



**Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Biológicas  
Departamento de Ecologia**

**EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> E N<sub>2</sub>O EM SOLOS SOB DIFERENTES  
CULTIVOS NA REGIÃO DO CERRADO**

**Êrika Barretto Fernandes**

**Orientadora: Profa. Dra. Mercedes M. da C. Bustamante**

**Tese de doutorado apresentada ao curso de Pós-graduação em Ecologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ecologia.**

**Brasília, 2008**

Trabalho realizado junto ao Departamento de Ecologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, sob a orientação da Professora Mercedes Bustamante.

Data da defesa: 29 de abril de 2008.

Banca examinadora:

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mercedes M. C. Bustamante  
(Universidade de Brasília)

---

Dr<sup>a</sup> Iêda de Carvalho Mendes  
(EMBRAPA-CPAC)

---

Dr. Bruno José Rodrigues Alves  
(EMBRAPA-CNPAB)

---

Prof. Dr. Eduardo de Sá Mendonça  
(Universidade de Viçosa)

---

Prof. Dr. Wenceslau J. Goedert  
(Universidade de Brasília)

## Conversa na Fazenda

Enquanto Beth servia o almoço à turma dos gases (aqueles de efeito estufa)... Seu Tião filosofava:

— Se sei que as asas das borboletas são formadas por escamas é porque algum abnegado pesquisador me disse.

A menina dos gases concorda:

— É verdade, pesquisadores são abnegados. Porque eu não pensei nisso antes!?

Seu Tião, com o incentivo de todos os momentos completa:

— Meninas continuem sempre a pesquisar.

A menina dos gases responde:

— Isso eu já não posso garantir. Os caminhos são muitos e eu não sei para onde os ventos vão soprar.

Então, o silêncio fez-se presente. Afinal de contas... O bolinho de mandioca da Beth não podia esfriar.

**Dedico:**

Aos meus pais (**Zezé e Walmir**) e minha irmã (**Consul**), que mesmo distante se fizeram presentes em cada momento desta conquista, com apoio incondicional e permanentes demonstrações de um amor impossível de ser traduzido em palavras.

Às minhas amadas avós (**Arlinda e Leusa**), grandes exemplos de coragem e determinação.

**Ofereço:**

À tia **Gloria, Tizú** (*in memoriam*), **Neyzinho** (*in memoriam*), **Fernando e Júnior**. Tios e primos que a vida me deu de presente e estiveram ao meu lado desde o primeiro passo rumo ao doutorado.

## **Agradecimentos**

Aos colegas do CEFET-BA/UE Barreiras, pelo apoio sempre. Aos muitos amigos da cidade de Barreiras-BA, especialmente Jô e Dino por fazerem parte dessa conquista.

À Orientadora Mercedes Bustamante, sempre disponível e muito paciente. Um exemplo de dedicação à causa, para mim será a “Mulher do Ano” de todos os anos.

À chefinha e grande amiga, Alessandra Kozovits, pelo apoio, incentivo e companheirismo sou eternamente grata.

Aos queridos mestres da UnB pelos conhecimentos transmitidos, em especial ao Professor Haridasan que trouxe consigo um pouco da Bhagavad-Gita para o Brasil.

À Henrique Cruvinel, meu namorado e minha maior conquista na UnB. Pessoa grandiosa que fez meus dias em Brasília mais quentes e absolutamente alternativos.

À família Cruvinel por terem me acolhido tão carinhosamente. Meu sogro (Henrique), minha sogra (Benita), tia Lili (*in memoriam*), cunhadas (Cristiane e Juliana), cunhados (Vaninho e João) e sobrinhas lindas (Ana Luíza e Ana Clara) vocês são os maiores presentes que recebi nesses últimos quatro anos.

À Dr. Armindia Carvalho (EMBRAPA-CPAC) pela amizade, incentivo com os equipamentos e as planilhas eletrônicas, e pela revisão deste trabalho.

Aos amigos que deixaram a minha caminhada mais leve, Sal, Regina, Cris Anjo, Joana, Kátia, Viví, Alex Cerrado, Meyr, Mariana Saraceno, Dulce, Leo França, Lú Paiva, Anatália, Tati e Maria Júlia, Cida e Theresa.

Aos prestativos funcionários do Departamento de Ecologia, Fabiana, Bruno, Iriode e Fábio, sempre prontos.

Aos amigos gringos Richard Zepp, Diana Garcia, Keith Kisselle e Roger Burke pelo incentivo na labuta com os gases e pelos momentos de lazer nas águas do Cerrado.

## **Reconhecimento**

Ao Sr. Sebastião Conrado grande incentivador da pesquisa que carinhosamente abriu as porteiras da Fazenda Dom Bosco para as meninas da ecologia.

Ao grupo SLC Agrícola (Fazenda Pamplona) e seus funcionários na pessoa do Agrônomo Cláudio Basso pelo apoio nas coletas realizadas na área do algodão.

Ao Projeto LBA/NASA (Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment/ National Aeronautics and Space Administration) pelo apoio técnico e financeiro.

Ao PIQDTec/MEC pela bolsa concedida.

Aos membros da banca examinadora pelas valiosas contribuições para este trabalho.

# EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> E N<sub>2</sub>O EM SOLOS SOB DIFERENTES CULTIVOS NA REGIÃO DO CERRADO

## RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar as emissões de CO<sub>2</sub>, NO e N<sub>2</sub>O em Latossolos sob diferentes sistemas de cultivo em plantio direto na região do Cerrado. Os resultados são apresentados em três capítulos. O **Capítulo 1** refere-se ao estudo dos efeitos de doses crescentes de fertilizante nitrogenado nos fluxos de gases traço ao longo do ciclo de cultivo de milho de sequeiro (nov.2004 a abr.2005). O experimento foi desenvolvido na Fazenda Dois J1 (município de Rio Verde, Goiás) em blocos ao acaso, com três repetições para testar dois níveis de nitrogênio (70 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>) contra tratamento controle (sem adição de N) e dois locais de coleta (linha e entrelinha de plantio). A adição de 20 kg de N ha<sup>-1</sup> na linha de plantio na forma de uréia um dia após o plantio não foi suficiente para alterar os valores de fluxo de N-NO. Vinte e oito dias após a emergência, a adição de 50 kg de N ha<sup>-1</sup> em cobertura na forma de uréia (tratamento N1), incrementou os fluxos de N-NO na linha (12,5 ± 9,4 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e entrelinha (3,2 ± 1,7 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) em relação ao controle (0,5 ± 0,2 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e a adição de 100 kg de N ha<sup>-1</sup> em cobertura na forma de uréia (tratamento N2) incrementou os fluxos de N-NO na linha (7,7 ± 4,3 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e entrelinha (4,4 ± 2,1 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) em relação ao controle (0,4 ± 0,3 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Os fluxos de N-N<sub>2</sub>O na linha aumentaram após a aplicação dos tratamentos N1 e N2 e variaram de 0,9 a 4,4 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, enquanto o valor médio no tratamento controle foi -1,7 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Não houve diferença significativa para os fluxos de óxidos de N entre os dois níveis de N e entre linhas e entrelinhas. A disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> explicou os fluxos de N-NO nos tratamentos N1 e N2, linha e entrelinha. Os fluxos de C-CO<sub>2</sub> não foram alterados com as fertilizações aplicadas e responderam positivamente à disponibilidade de água no solo. O **Capítulo 2** aborda três sistemas de produção em plantios comerciais: 1. Rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado (ago.2003 a fev.2004), 2. Soja em monocultivo de verão seguida de vegetação espontânea (nov.2003 a abr.2004), 3. Algodão não irrigado em monocultivo de verão cultivado sob palhada de *Brachiaria* (nov.2004 a ago.2005). Os estabelecimentos rurais avaliados estão situados no município de Cristalina, Goiás (Fazenda Dom Bosco para os sistemas 1 e 2, e Fazenda Pamplona para o sistema 3). Em cada sistema de cultivo foi estabelecida uma parcela (10 x 15 m) onde se procedeu à determinação dos fluxos de NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>, temperatura do solo, N mineral disponível, biomassa microbiana e espaço de poros preenchido por água, ao longo do ciclo das culturas avaliadas. Adicionalmente, foram abertas três trincheiras para determinação dos estoques de C e N do solo até 30 cm de profundidade. Nos cultivos de verão, a entrada de nitrogênio via fertilização elevou predominantemente os fluxos de N-NO em comparação a N-N<sub>2</sub>O. No milho a adição de 103,2 kg N ha<sup>-1</sup> elevou os fluxos para 3,9 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> e a adição de 18,4 kg N ha<sup>-1</sup> elevou para 8,8 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, no algodão a adição de 90 kg N ha<sup>-1</sup> elevou os fluxos para 39,3 ± 20,1 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (linha) e para 83,3 ± 11,9 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (entrelinha). No cultivo da soja os fluxos de N-NO foram semelhantes aos da área de cerrado nativo utilizada para comparação. No feijão irrigado, cultivado no inverno, a N-fertilização elevou tanto os fluxos de N-NO quanto os de N-N<sub>2</sub>O, após a adição de 81,0 kg N ha<sup>-1</sup> o fluxo de N-

NO foi  $5,0 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  e o de  $\text{N-N}_2\text{O}$  foi  $2,3 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , e após a adição de  $2,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  o fluxo de  $\text{N-NO}$  foi  $12,2 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  e o de  $\text{N-N}_2\text{O}$  foi  $10,6 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Fluxos de  $\text{N-N}_2\text{O}$  elevados foram medidos durante a senescência das plantas de feijão irrigado ( $1,7 \pm 1,2 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), soja ( $3,8 \pm 1,2 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) e algodão ( $1,6 \pm 2,7 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Os Fatores de Emissão de  $\text{N-NO}$  Induzida por fertilizantes foram 0,1% (milho), 0,2% (feijão irrigado) e 0,4% (algodão). Para o  $\text{N-N}_2\text{O}$  foram, 0,3% (milho), 0,2% (feijão irrigado) e 0,2% (algodão). Em relação à área nativa, a respiração do solo foi maior no cultivo do feijão irrigado (0,8 a  $1,8 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), menor no cultivo do algodão (0,2 a  $2,3 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e semelhante nos cultivos de soja e milho (0,5 a  $1,8 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). O **Capítulo 3** aborda o sistema de Integração Lavoura-Pecuária-ILP (nov.2003 a abr.2005), também na Fazenda Dom Bosco (município de Cristalina, Goiás). A ILP caracterizou-se pelo cultivo do feijão de sequeiro sobre palhada de *Panicum* (dez.2003 a mar.2004), seguido de sorgo para silagem em consórcio com *Panicum* (mar. a jun.2004), pousio (jul. a nov.2004) e pastagem de *Panicum* regenerada (nov.2004 a abr.2005). Em comparação com o cerrado nativo, fluxos de  $\text{N-NO}$  mais altos foram registrados após o plantio ( $8,9 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) e na senescência do feijão ( $5,7 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), após a fertilização do sorgo ( $8,6 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) e no crescimento da pastagem ( $8,2 \pm 7,1 \text{ N-NO ng cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) que também apresentou fluxos de  $\text{N-N}_2\text{O}$  altos ( $14,1 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Fluxos altos de  $\text{C-CO}_2$  foram mensurados após a fertilização do sorgo ( $1,6 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e durante o cultivo da pastagem ( $2,8 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ). Estimou-se uma perda de  $0,6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e de  $0,3 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  nos estoques de C do solo (0 a 30 cm) na área da soja em 31 anos sob cultivo e da rotação milho-feijão irrigado em 10 anos, respectivamente. Após 8 anos de implantação do sistema ILP, em uma área que esteve anteriormente sob cultivo convencional de soja (10 anos) e pastagem (13 anos) e, no algodão cultivado sob a palhada de *Brachiaria* após 27 anos não foram detectadas diferenças nos estoques de C e N do solo em relação à área de cerrado nativo. Os resultados indicam que sistemas de cultivo diversificados, a exemplo da ILP, favorecem a manutenção de C e N no solo. Tais sistemas colocam-se como uma alternativa para a recuperação de solos agrícolas degradados e para a sustentabilidade ambiental em áreas agrícolas já estabelecidas. No entanto, é necessária a adoção de práticas que melhorem a eficiência da fertilização nitrogenada e do uso de N pelas diferentes culturas, reduzindo as perdas de N na forma de NO e  $\text{N}_2\text{O}$ . Embora os Fatores de Emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  e de NO Induzida por fertilizantes calculados nesse estudo sejam inferiores aos estabelecidos pelo IPCC, há um aumento das emissões em áreas cultivadas em relação às áreas sob vegetação nativa de Cerrado que pode ser significativo quando se considera a extensão territorial voltada para produção agrícola no Cerrado.

**PALAVRAS-CHAVE:** uso da terra, Cerrado, emissão de  $\text{CO}_2$ , NO e  $\text{N}_2\text{O}$ , sistemas de cultivo, integração lavoura-pecuária, estoques de C e N.

# CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> AND N<sub>2</sub>O EMISSIONS FROM SOILS TO THE ATMOSPHERE UNDER DIFFERENT CROPPING SYSTEMS IN THE CERRADO REGION

## ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the CO<sub>2</sub>, NO, N<sub>2</sub>O emissions from Oxisols (Latossolos) under different no-till cropping systems in the Cerrado region (Central Brazil). The results are presented in three chapters. **Chapter 1** presents a study on the effects of increasing doses of nitrogen fertilizer on the fluxes of trace gases along the crop cycle of non-irrigated maize (Nov.2004 to Apr.2005). The experiment was carried out in the municipality of Rio Verde (Federal State of Goiás) (DoisJ1 Farm) in randomized blocks with three repetitions. Two levels of nitrogen were tested (70 and 120 kg N ha<sup>-1</sup>) comparing rows and between rows. Control treatment consisted of no addition of N fertilizer. The broadcasting fertilization with 50 kg N ha<sup>-1</sup> (as urea) (treatment N1) increased the NO-N fluxes in the rows ( $12.5 \pm 9.4$  ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) and between the rows ( $3.2 \pm 1.7$  ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) compared to control treatment ( $0.5 \pm 0.2$  ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). The broadcasting fertilization with 100 kg N ha<sup>-1</sup> (as urea) (treatment N2) increased the NO-N fluxes in the rows ( $7.7 \pm 4.3$  ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) and between the rows ( $4.4 \pm 2.1$  ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) compared to control treatment ( $0.4 \pm 0.3$  ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). N<sub>2</sub>O-N fluxes in the rows were increased after the N1 and N2 application and ranged from 0.9 to 4.4 ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> against -1.7 ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> in the control treatment. N oxides fluxes did not differ significantly between N1 and N2, and rows and between the rows. Availability of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N explained NO-N fluxes in N1 and N2 treatment, in the rows and between the rows. Fluxes of CO<sub>2</sub>-C fluxes were not influenced by N fertilization but responded positively to increasing soil humidity. **Chapter 2** presents a study comparing three cropping systems in commercial plantations: 1. maize-*Brachiaria*-irrigated bean rotation (Aug.2003 to Feb.2004), 2. soybean monoculture followed by natural fallow (Apr.2004 to Nov.2003), 3. Non irrigated cotton after *Brachiaria ruzizienses* (Aug.2005 to Nov.2004). The commercial plantations are located in the municipality of Cristalina (Federal State of Goiás, Brazil) (Dom Bosco Farm for systems 1 and 2, and Pamplona Farm for the system 3). One plot (10 x 15 m) was established in each cropping system for measurements of NO-N, N<sub>2</sub>O-N and CO<sub>2</sub>-C fluxes, air and soil temperature, inorganic-N availability, microbial biomass and soil water-filled pore space along crop cultivation periods. Additionally, three soil trenches from 0-30 cm depth were opened to determine the C and N soil stocks. In the summer crops, the fertilization with N induced predominantly NO-N fluxes compared to N<sub>2</sub>O-N fluxes. During maize cultivation, the addition of 103.2 kg N ha<sup>-1</sup> increased NO-N fluxes to 3.9 ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> and the addition of 18.4 kg N ha<sup>-1</sup> to 8.8 ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. During cotton cultivation, the addition of 90 kg N ha<sup>-1</sup> increased NO-N fluxes to  $39.3 \pm 20.1$  ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (in the rows) and to  $83.3 \pm 11.9$  ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (between the rows). During soybean cultivation, NO-N fluxes were similar to those from native cerrado area used for comparison. During cultivation of bean with irrigation (winter), N-fertilization increased both NO-N and N<sub>2</sub>O-N. After addition of 81.0 kg N ha<sup>-1</sup>, NO-N flux was 5.0 ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> and N<sub>2</sub>O-N was 2.3 ng N<sub>2</sub>O-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> and after the subsequent addition of 2.4 kg N ha<sup>-1</sup> fluxes were even higher (NO-N = 12.2 ng NO-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> and N<sub>2</sub>O-N = 10.6 ng N<sub>2</sub>O-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). High N<sub>2</sub>O-N fluxes were measured during the senescence of irrigated bean ( $1.7 \pm 1.2$  ng N<sub>2</sub>O-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), soybean ( $3.8 \pm 1.2$  ng N<sub>2</sub>O-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) and cotton ( $1.6 \pm 2.7$  ng N<sub>2</sub>O-N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Fertilizer-induced

emission factors (FEI) estimated in this study for NO-N were 0.1% (maize), 0.2% (irrigated beans) and 0.4% (cotton) while for N<sub>2</sub>O-N were 0.3% (maize), 0.2% (irrigated beans) and 0.2% (cotton). Comparing with an area under native cerrado vegetation, soil respiration was higher under cultivation of bean with irrigation (0.8 to 1.8  $\mu\text{mol CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), lower under cotton cultivation (0.2 to 2.3  $\mu\text{mol CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) and similar under soybean and maize cultivation (0.5 to 1.8  $\mu\text{mol CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). **Chapter 3** presents results regarding the pasture-crop integrated system (Nov.2003 to Apr.2005), located in the municipality of Cristalina, Goiás (Dom Bosco Farm). The pasture-crop integrated system is a sequence of the non irrigated bean cultivated under *Panicum* straw (Dez.2003 to mar.2004), sorghum-*Panicum* intercropping (Mar.2004 to Jun.2004), uncovered soil (Jul.2004 to Nov.2004) and pasture (Nov.2004 to Abr.2005). Comparing with an area under native cerrado vegetation, higher NO-N fluxes were measured after planting (8.9 ng NO-N  $\text{cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), during the senescence of bean (5.7 ng NO-N  $\text{cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), after sorghum fertilization (8.6 ng NO-N  $\text{cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) and under growing *Brachiaria* ( $8.2 \pm 7.1$  NO-N ng  $\text{cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). During *Brachiaria* cultivation higher N<sub>2</sub>O-N fluxes (14.1 ng N<sub>2</sub>O-N  $\text{cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) were also measured. Higher CO<sub>2</sub>-C fluxes were measured after sorghum fertilization (1.6  $\mu\text{mol CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) and again during *Brachiaria* cultivation (2,8  $\mu\text{mol CO}_2\text{-C m}^{-2}$ ). Estimated losses of C stocks were 0.6 Mg C  $\text{ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  after 31 years under soybean monoculture followed by natural fallow and 0.3 Mg C  $\text{ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  after 10 years under maize-*Brachiaria*-irrigated bean rotation. There no differences in soil C and N stocks between the area under native cerrado vegetation and after 27 years of cotton cultivated under *Brachiaria* straw and after 8 of pasture-crop integrated that was implemented after soybean under conventional system (10 years) and pasture (13 years). Rotation systems, as pasture-crop integrated system, are good options to recover degraded agricultural soils and to improved environmental sustainability in agricultural areas already established. However, there is a need to adopt practices that improve the efficiency of nitrogen fertilization and use of N by different crops to reduce N losses via NO and N<sub>2</sub>O emissions to the atmosphere. Although FEI from NO and N<sub>2</sub>O estimated in this study are lower than those established by the IPCC, emissions from cultivated areas compared to areas under native Cerrado vegetation can be of relevance when territorial extension dedicated to agricultural production in Cerrado is considered.

**KEY WORDS:** land use changes, savanna, soil emissions, cropping systems, C and N stocks, pasture-crop rotation

## SUMÁRIO

páginas

1. Introdução geral	01
2. Revisão bibliográfica	02
2.1 Ciclo global do nitrogênio e do carbono	02
2.1.1. Ciclo global do carbono (C)	02
2.1.2. Ciclo global do nitrogênio (N)	05
2.2. Mudanças climáticas e o aumento das emissões de CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O e NO	06
2.2.1. Mudanças climáticas	06
2.2.2. Contribuição do CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O e NO nas mudanças climáticas	07
2.2.3. Mecanismos de produção e emissão de CO <sub>2</sub> , NO e N <sub>2</sub> O em solos	08
2.2.4. Variação temporal e espacial na emissão de NO, N <sub>2</sub> O e CO <sub>2</sub>	10
2.3. Mudança no uso da terra em áreas de Cerrado	12
3. Referências Bibliográficas	14

### **CAPÍTULO 1. EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO NITROGENADA SOBRE OS FLUXOS DE N-NO, N-N<sub>2</sub>O E C-CO<sub>2</sub> EM LATOSSOLO CULTIVADO COM MILHO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO SOBRE PALHADA DE *Brachiaria ruzizienses*.**

1. Introdução	19
2. Objetivos e hipóteses	20
2.1. Objetivos	20
2.2. Hipóteses	20
3. Material e métodos	21
3.1. Área de estudo	21
3.2. Características edafo-climáticas	21
3.3. Histórico de uso do solo na área do experimento	23
3.4. Manejo da área no período de estudo	23
3.5. Delineamento experimental	25
3.6. Determinação dos fluxos de gases	25
3.6.1 Fluxos de N-NO	26
3.6.2. Fluxos de N-N <sub>2</sub> O	26
3.6.3. Fluxos de C-CO <sub>2</sub>	27
3.7. Determinação das temperaturas do solo (2,5 e 5,0 cm)	27
3.8. Coleta de solo	27
3.9. Determinação de nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) e amônio (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) disponíveis no solo	27

3.10. Determinação do carbono da biomassa microbiana	28
3.11. Determinação do Espaço Poroso Preenchido por Água (EPPA)	28
4. Análise estatística	29
5. Resultados	30
5.1. Variações de umidade e temperatura do solo	30
5.2. Variações no N-disponível e no C da biomassa microbiana do solo	32
5.3. Fluxos de N-NO e N-N <sub>2</sub> O	34
5.4. Fluxos de C-CO <sub>2</sub>	37
6. Discussão	38
6.1. Disponibilidade de N e fluxos de N-NO e N-N <sub>2</sub> O	38
6.2. Fluxos de CO <sub>2</sub>	42
7. Conclusões	43
8. Referências bibliográficas	44

**CAPÍTULO 2. EMISSÕES DE NO, N<sub>2</sub>O E CO<sub>2</sub> EM LATOSSOLO DE CERRADO SOB CULTIVO NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL.**

1. Introdução	47
2. Objetivos e hipóteses	49
2.1. Objetivos	49
2.2. Hipóteses	49
3. Material e Métodos	51
3.1. Áreas de estudo	51
3.1.1. Fazenda Dom Bosco	51
3.1.2. Fazenda Pamplona	53
3.1.3. Manejo das adubações nas Fazendas Dom Bosco e Pamplona	53
3.1.4. Áreas nativas de cerrado	55
3.2. Características edafo-climáticas	55
3.3. Delineamento observacional	58
3.4. Determinação dos fluxos de gases	59
3.4.1. Fluxos de N-NO	59
3.4.2. Fluxos de N-N <sub>2</sub> O	60
3.4.3. Fluxos de C-CO <sub>2</sub>	60
3.5. Determinação das temperaturas do solo (2,5 e 5,0 cm)	60
3.6. Coleta de solo	61
3.7. Determinação de nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) e amônio (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) disponíveis no solo	61

3.8. Determinação do carbono da biomassa microbiana	61
3.9. Determinação do Espaço Poroso Preenchido por Água (EPPA)	62
3.10. Estoque de C e N do solo	63
4. Análise estatística	64
5. Resultados	64
5.1. Fazenda Dom Bosco: rotação milho- <i>Brachiaria</i> -feijão irrigado e soja	64
5.1.1. Variações de umidade e temperatura do solo	64
5.1.2. Variações no N disponível e C da biomassa microbiana do solo	66
5.1.3. Fluxos de N-NO e N-N <sub>2</sub> O	68
5.1.4. Fluxos de C-CO <sub>2</sub>	71
5.2. Fazenda Pamplona: algodão	73
5.2.1. Variações de umidade e temperatura do solo	73
5.2.2. Variações no N disponível e C da biomassa microbiana do solo	75
5.2.3. Fluxos de N-NO e N-N <sub>2</sub> O	77
5.2.4. Fluxos de C- CO <sub>2</sub>	79
5.3. Estoques de C e N do solo: Fazenda Bom Bosco e Fazenda Pamplona	80
6. Discussão	81
6.1. Disponibilidade de N e fluxos de N-NO e N-N <sub>2</sub> O	81
6.2. Fluxos de C-CO <sub>2</sub>	83
6.3. Estoques de C e N no solo: Fazenda Dom Bosco e Fazenda Pamplona	85
6.4. Possibilidade de impactos regionais nas emissões de N-NO e N-N <sub>2</sub> O	87
6.5. Fator de Emissão Induzida por Fertilizante para N-NO e N-N <sub>2</sub> O	90
7. Conclusões	91
8. Referências bibliográficas	94

**CAPÍTULO 3. EMISSÕES DE NO, N<sub>2</sub>O E CO<sub>2</sub> EM LATOSSOLO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL.**

1. Introdução	99
2. Objetivos e hipóteses	102
2.1. Objetivos	102
2.2. Hipóteses	102
3. Material e métodos	103
3.1. Área de estudo	103
3.2. Características edafo-climáticas	103
3.3. Sistema de integração lavoura-pecuária (ILP)	104
3.4. Manejo das culturas na ILP	105

3.5. Delineamento observacional	106
3.6. Determinação dos fluxos de gases	107
3.6.1. Fluxos de N-NO	107
3.6.2. Fluxos de N-N <sub>2</sub> O	107
3.6.3. Fluxos de C-CO <sub>2</sub>	108
3.7. Determinação das temperaturas do solo (2,5 e 5,0 cm)	108
3.8. Coleta de solo	108
3.9. Determinação de nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) e amônio (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) disponíveis no solo	109
3.10. Determinação do carbono da biomassa microbiana	109
3.11. Determinação do Espaço Poroso Preenchido por Água (EPPA)	110
3.12. Estoques de C e N do solo	110
4. Análise estatística	111
5. Resultados	112
5.1. Variações de umidade e temperatura do solo	112
5.2. Variações no N disponível e no C da biomassa microbiana do solo	115
5.3. Fluxos de N-NO e N-N <sub>2</sub> O	118
5.4. Fluxos de C-CO <sub>2</sub>	122
5.5. Estoque de C e N do solo	123
6. Discussão	124
6.1. Disponibilidade de N e fluxos de N-NO e N-N <sub>2</sub> O	124
6.2. Fluxos de C-CO <sub>2</sub>	127
6.3. Possíveis impactos regionais nas emissões de N-NO e N-N <sub>2</sub> O	128
7. Conclusões	131
8. Referências bibliográficas	133
4. Considerações finais	137

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A partir do início dos anos 70, com os programas do Governo Federal que propuseram a intensificação da produção de alimentos através da ampliação da fronteira agrícola, pela incorporação de novas áreas de Cerrado ao processo produtivo e pelo aumento da produtividade pela incorporação de tecnologias, a Região Centro-Oeste vem se projetado no cenário econômico nacional e contribuído para a colocação do Brasil em importantes posições no *ranking* internacional de produção e produtividade de grãos.

No entanto, o avanço da fronteira agrícola na região Centro-Oeste do Brasil tem incorporado extensas áreas, originalmente sob vegetação de cerrado, a sistemas de cultivos intensivos de alta produtividade e grande requerimento de insumos químicos (fertilizantes e defensivos agrícolas), mecanização e irrigação.

A substituição da vegetação nativa do Cerrado por extensas áreas de pastagens e culturas agrícolas como milho, soja, feijão, e mais recentemente, o algodão, num modelo de produção industrial, está associada não somente às mudanças visíveis na paisagem da região, mas também a alterações no funcionamento do ecossistema em diferentes escalas, desde sua estrutura físico-química e microbiológica até a interface de trocas de matéria e energia entre solo e atmosfera. As alterações locais no funcionamento do ecossistema podem estar associadas a um aumento na emissão de gases do solo para a atmosfera, especialmente NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>, com possíveis conseqüências ambientais e econômicas negativas em nível local e global.

Para o estabelecimento de sistemas agrícolas sustentáveis, faz-se necessário um maior entendimento dos fatores e mecanismos que regulam o funcionamento dos agroecossistemas. Assim, os resultados obtidos neste trabalho deverão contribuir com importantes informações para o estabelecimento de políticas agrícolas ambientalmente viáveis, bem como com o refinamento do inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa provenientes do setor agrícola.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Ciclo global do carbono e do nitrogênio**

Os ciclos biogeoquímicos, a exemplo do ciclo do C e do N, representam o caminho pelo qual a matéria se movimenta no ambiente, e podem ser descritos em diferentes escalas de tempo e espaço.

A dinâmica dos ecossistemas depende da interação entre os ciclos biogeoquímicos, os quais podem ser modificados pelas atividades humanas. As mudanças no uso da terra, por exemplo, alteram profundamente os processos biogeoquímicos do solo, com reflexos no estoque de carbono, disponibilidade de nitrogênio e emissão de gases para a atmosfera (Lima et al., 2001). Dessa forma, para reduzir o impacto das atividades humanas sobre o meio é necessário um entendimento da dinâmica global, regional e local de cada ciclo individualmente e das relações entre eles (Canadell et al., 2000).

#### **2.1.1. Ciclo global do carbono (C)**

Em escala de tempo de milhões de anos o ciclo do C é controlado por fatores geológicos e em escalas de tempo menor pela taxa fotossintética e interface superfície-atmosfera.

A atmosfera é o menor dos estoques de C, mas é também o mais dinâmico e participa da química da atmosfera na forma de compostos importantes para o balanço global de energia. O C presente na atmosfera na forma de CO<sub>2</sub> é removido através da fotossíntese e retorna através da respiração. Assim, os processos metabólicos dos organismos constituem a engrenagem que orienta o ciclo do C.

A modelagem de ecossistemas terrestres tem mostrado que a heterogeneidade espacial da vegetação e dos constituintes climáticos, bem como do histórico de distúrbios, são importantes fatores para o balanço global de C, com implicações nas variações anual e interanual das fontes e drenos de C, especialmente em florestas tropicais. Tian et al. (1998) esclarecem que as variações interanuais de temperatura fazem com que a Amazônia se comporte alguns anos como dreno e outros como fonte de C. Nos anos em que ocorreu *El Niño* (1987 e

1992), as temperaturas foram mais altas e o clima mais seco, e a Amazônia contribuiu como fonte de C, e em outros anos (1981 e 1993) como dreno.

O C está presente nos oceanos como carbono orgânico dissolvido, carbono inorgânico dissolvido e carbono orgânico particulado, os quais fazem parte da constituição dos organismos. A maior parte é de formas de carbono inorgânico (98 %), especialmente bicarbonatos (90 %). O CO<sub>2</sub> livre nas águas dos oceanos é utilizado pelos produtores primários. A água da superfície dos oceanos possui cerca de 1000 Pg de C, quantidade similar às encontradas na atmosfera.

A capacidade dos oceanos em retirar C da atmosfera é regulada pela interface água-atmosfera, e é dependente da velocidade do vento, temperatura e concentração de CO<sub>2</sub> na superfície da água do mar, taxa fotossintética e pH (Schlesinger, 1997). A superfície das águas dos mares (75 a 200 m de profundidade) corresponde a um estoque relativamente pequeno (3 % de todo C contido nas águas dos mares) e a troca com as camadas mais profundas é muito lenta porque a água da superfície é mais quente, menos salina e menos densa. O transporte de C em profundidade ocorre na forma de detritos orgânicos e carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), que ficam acumulados por centenas e milhares de anos e retornam a superfície através de ressurgência.

A biosfera terrestre representa um largo reservatório de C. Em escala global, a biomassa vegetal fixa cerca de  $120 \times 10^{15}$  g C ano<sup>-1</sup> (Schlesinger, 1997). No entanto, é no solo que está o maior reservatório de C dos ecossistemas terrestres com 1.300 a 1.500 Gt de C no primeiro metro (Post et al., 1982; Schlesinger, 1997), sendo que estes valores podem ser ainda maiores em função da contribuição dos estoques de C no segundo e terceiro metro do perfil, em alguns tipos de solos (Abdala et al., 1998; Jobbágy e Jackson, 2000).

O C contido em rochas e sedimentos representa 99 % de todo C do planeta (10<sup>7</sup> Pg). Naturalmente os fatores que governam a ciclagem destes estoques estão associados a processos geológicos, como o intemperismo de rochas, movimentos das placas continentais e vulcanismo. Atualmente, as atividades antrópicas, em especial a queima de combustíveis fósseis, têm liberado cerca de 5,5 bilhões de toneladas de C-CO<sub>2</sub> por ano na atmosfera da fração contida em estoques de C de ciclagem muito lenta para compartimentos de ciclagem rápida, aumentando a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (Vitousek, 1997). Os modelos de transporte atmosférico têm mostrado uma distribuição geográfica das emissões de CO<sub>2</sub>, com

valores mais altos sendo registrados no hemisfério norte, confirmando a maior contribuição dos países industrializados para o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. Embora não compense as emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> e demais gases de efeito estufa, as mudanças no uso da terra, a “fertilização” com CO<sub>2</sub>, o uso de fertilizantes nitrogenados e os efeitos climáticos, têm contribuído para uma maior fixação de C em ecossistemas terrestres distribuídos no hemisfério norte (Chapin et al., 2002).

Análises de isótopos estáveis de C têm mostrado que durante 400.000 anos as variações na entrada de energia solar (luz e temperatura) e órbita da Terra têm provocado variações cíclicas na concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico. As variações estão associadas ao ciclo glacial-interglacial, onde se observa redução na concentração durante os períodos glaciais e aumento nos interglaciais (Houghton, 1997). No entanto, tais mudanças não podem ser explicadas apenas como consequência das variações na entrada de energia solar. As mudanças observadas na biosfera, resultantes de alterações atmosféricas durante o período glacial, devem ter ocorrido também em função do transporte atmosférico horizontal de ferro, fósforo e sílica de continentes menos vegetados, o que provavelmente incrementou a produtividade primária em oceanos de altas latitudes e a fixação e o transporte do CO<sub>2</sub> em profundidade. É possível que tenha havido também estoque de C em ecossistemas terrestres costeiros e no *permafrost* de altas latitudes (Chapin et al., 2002). Durante os períodos glaciais, os campos, desertos, tundra e a cobertura de gelo foram fontes de C. De acordo com Townsend et al. (2006), atualmente a Terra está se aproximando do final de um período de aquecimento, que se iniciou há 20.000 anos e provocou aumento de aproximadamente 8 °C nas temperaturas globais. Nas próximas décadas, tal aquecimento natural de temperatura, deve ser somado ao aquecimento proveniente do efeito estufa.

Ao analisar o balanço global, observa-se que as atividades antrópicas liberam 5,1-7,5 x 10<sup>9</sup> ton de C na atmosfera a cada ano, mas o aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico explica apenas 60 % deste valor. Considerando que o maior sumidouro de CO<sub>2</sub> atmosférico, os oceanos, absorvem apenas 1,8-2,5 x 10<sup>9</sup> ton do C liberados pelas atividades antrópicas, uma questão precisa ser respondida: Quais processos estariam contribuindo para este “desbalanço”? (Schlesinger, 1997). Canadell et al. (2000) explicam que modelos recentes têm sugerido que o “desaparecimento” de parte do C atmosférico pode ser resultado do incremento na produtividade primária

observada como resposta a “fertilização com CO<sub>2</sub>”, que aumenta a taxa fotossintética fazendo com que a biomassa vegetal seqüestre parte do CO<sub>2</sub> antropogênico. No entanto, os autores chamam a atenção para o fato de que o seqüestro de C atmosférico pela biomassa vegetal deverá ser controlado por condições ambientais limitantes, a exemplo da deficiência de nitrogênio e fósforo.

### **2.1.2. Ciclo global do nitrogênio (N)**

A disponibilidade de nitrogênio no ambiente controla o funcionamento de ecossistemas locais e da biogeoquímica global (Schlesinger, 1997). A maior parte do N se encontra na atmosfera, no qual ocupa cerca de 78 % do seu volume. Os estoques de nitrogênio orgânico no solo e na biota terrestre são insignificantes quando comparados ao estoque da atmosfera. Pequenas quantidades de N são encontradas também nos oceanos, rochas e sedimentos (Chapin et al., 2002).

O N atmosférico se encontra na forma de N<sub>2</sub>, indisponível para a maioria dos organismos. A principal via pela qual o N<sub>2</sub> é transformado em formas biologicamente disponíveis é através da fixação por bactérias de vida livre ou em associação simbiótica com raízes de plantas. A quantidade de N fixada biologicamente por ecossistemas terrestres anualmente no globo é de  $140 \times 10^{12}$  g, enquanto os ecossistemas marinhos fixam  $15 \times 10^{12}$  g (Chapin et al., 2002).

O N imobilizado na biomassa participa da composição dos tecidos vegetais e retorna para o solo, na forma inorgânica, como produto da decomposição da serapilheira, ficando disponível para os organismos. O processo da mineralização da matéria orgânica envolve a perda gasosa de N do solo para a atmosfera na forma de óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), amônia (NH<sub>3</sub>) e N<sub>2</sub>. Outras formas de perda de N em solos ocorrem através da lixiviação, especialmente quando o N encontra-se na forma de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Antes da interferência mais efetiva do homem no ciclo do N, de 90 a 130 milhões de toneladas de N eram fixados biologicamente a cada ano. No último século, as atividades humanas têm duplicado as quantidades de N ciclado entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera. Enquanto a queima de combustíveis fósseis libera para a atmosfera quantidades de N superiores a 20 Tg a cada ano, a fixação de N<sub>2</sub> atmosférico em fertilizantes aumentou de 10 Tg ano<sup>-1</sup> em 1950 para 80 Tg

ano<sup>-1</sup> em 1990, sendo esperado para o ano 2030 uma fixação maior que 135 Tg ano<sup>-1</sup> (Vitousek et al., 1997).

Como conseqüências da alteração no ciclo do N é possível observar: aumento na concentração global de NO e N<sub>2</sub>O em decorrência da fertilização de solos (Skiba et al., 1993; Davidson et al., 1993; Hall et al., 1996; Russow et al., 2000); intensificação nos eventos de chuva ácida e *smog* fotoquímico; aumento na produtividade e nos estoques de C em regiões onde N é limitante; favorecimento de invasão biológica e redução da diversidade; perdas por lixiviação; eutrofização de corpos d'água.

## **2.2. Mudanças climáticas e o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e NO**

### **2.2.1. Mudanças climáticas**

O clima global sempre variou naturalmente no passado, sobretudo durante os recorrentes períodos glaciais, provavelmente como resposta a explosões vulcânicas (Houghton, 1997). No entanto, resultados de pesquisas e simulações mais recentes têm apresentado evidências de que as atividades antrópicas estão aumentando as emissões de gases estufa num nível que pode provocar mudanças irreversíveis no clima, imprimindo novos padrões no regime de ventos, chuvas e circulação dos oceanos (Vitousek et al., 1997).

De acordo com o IPCC (2007), as concentrações dos gases de efeito estufa estão aumentando rapidamente desde a Revolução Industrial. Acredita-se que a temperatura atual da superfície da Terra esteja  $0,6 \pm 0,2$  °C maior do que no período pré-industrial. Além disso, os cenários estabelecidos pelo IPCC apontam para um aumento entre 1,4 e 5,8 °C até o ano 2100. Além disso, Hansen et al. (1999), mostram que a amplitude de variação de temperatura não é igual ao longo de toda a superfície da Terra.

As alterações climáticas, provocadas pelo aumento no aquecimento global, são consideradas uma das mais sérias ameaças à sustentabilidade do meio ambiente, à saúde, ao bem-estar e à economia. Segundo Houghton (1997), o aumento na concentração de gases de efeito estufa e o aquecimento global deverá provocar, entre tantos efeitos: - alteração nos padrões de vegetação; - aumento no nível dos oceanos; - redução nos estoques de água fresca; - impactos na agricultura.

Aliado às conseqüências do aumento das temperaturas globais, deve-se considerar também os efeitos diretos do enriquecimento do CO<sub>2</sub> atmosférico sobre a biosfera. O CO<sub>2</sub> é um nutriente para os organismos foto-autotróficos, que podem incrementar suas taxas fotossintéticas e fixar maiores quantidades de carbono, aumentando a produtividade dos ecossistemas (Tian et al, 1999) e alterando a composição florística nos ecossistemas (Jones et al. 1998), e a diversidade microbiológica em solos (Hungate et al., 2000).

Nesse contexto, é importante considerar que a magnitude e as taxas das mudanças é que vão determinar a sensibilidade, adaptabilidade e vulnerabilidade dos sistemas (Houghton, 1997). Vitousek et al. (1997) pontuaram que as taxas e escalas em que tais mudanças estão ocorrendo são maiores do que as que ocorreram historicamente, numa velocidade que não nos permite entendê-las suficientemente e que os sistemas não conseguem se adaptar.

### **2.2.2. Contribuição do CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e NO nas mudanças climáticas**

Historicamente, atenção prioritária tem sido dedicada ao CO<sub>2</sub>, uma vez que o volume de suas emissões para a atmosfera representa algo entorno de 70 % do total das emissões. No entanto, o N<sub>2</sub>O, emitido para a atmosfera em menor quantidade (6 % do total), pode ser mais relevante em função do seu tempo de residência e reatividade. Outros gases, a exemplo do NO, possuem ação indireta e também devem ser cuidadosamente estudados.

A concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico (280 ppm), que era mais ou menos estável até os anos de 1800, aumentou para 362 ppm após a Revolução Industrial. As estimativas do IPCC (2007) indicam ainda que, se não houver mudanças profundas no comportamento da humanidade, a concentração de CO<sub>2</sub> continuará aumentando 0,4 % a cada ano, chegando até 700 ppm em 2100.

A principal causa da liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera é a queima de combustíveis fósseis (Townsend et al., 2006). Outras fontes de CO<sub>2</sub> são as mudanças no uso do solo e a decomposição dos resíduos (Houghton, 1997). Mesmo que todas as fontes de CO<sub>2</sub> sejam cessadas, as conseqüências decorrentes do enriquecimento da atmosfera por CO<sub>2</sub> continuarão ocorrendo por um período não menor que o do seu tempo de residência que varia entre 50 e 200 anos.

O  $N_2O$  é um gás que contribui para o efeito estufa e participa diretamente da destruição da camada de ozônio na estratosfera. A atmosfera concentra aproximadamente 0,3 ppm de  $N_2O$ , com um enriquecimento de 0,25 % a cada ano. Atualmente a concentração é 13 vezes maior que a encontrada no período pré-industrial. Embora a concentração do  $N_2O$  na atmosfera seja bem menor que a do  $CO_2$  sua importância é considerável em função do potencial de aquecimento ser cerca de 298 vezes maior num cenário de 100 anos (IPCC, 2007) e o seu tempo de residência ser de 120 anos (Houghton, 1997). As fontes principais são as indústrias químicas, o desmatamento e as práticas agrícolas (Hadi et al., 2000; Hou et al, 2000). No entanto, Prasad e Zipf (2000), demonstraram em laboratório a produção de  $N_2O$  a partir de moléculas de  $O_3$  altamente excitadas e consideraram o inventário do IPCC para fonte e dreno de  $N_2O$  equivocado porque a metodologia utilizada não contabilizou a produção atmosférica e por isso superestimou as emissões antropogênicas e biogênicas.

O NO é um precursor para a produção fotoquímica do ozônio troposférico, um gás de efeito estufa e maior componente do *smog* (Chapin et al., 2002). Uma vez que não conseguem atingir as camadas superiores da atmosfera, a presença do NO na estratosfera ocorre em função da oxidação do  $N_2O$ . É na estratosfera que o NO reage com o  $O_3$ , reduzindo sua concentração e a absorção dos raios ultravioletas (Prather, 1998; Davidson et al., 2001). Os solos cultivados contribuem com 41 % das emissões globais de NO (Yienger e Levy, 1995) e os picos de emissões ocorrem em decorrência da adição de fertilizantes nitrogenados (Hall et al., 1996; Skiba et al., 1997; Hou et al, 2000).

### **2.2.3. Mecanismos de produção e emissão de $CO_2$ , NO e $N_2O$ em solos**

O fluxo de  $CO_2$ , NO e  $N_2O$  do solo para a atmosfera depende da razão entre produção e consumo, a da difusão do gás no solo. A produção e emissão de  $CO_2$ , NO e  $N_2O$  em solos de áreas nativas e cultivados, é resultado da atividade microbiológica de decomposição e mineralização da matéria orgânica, e depende de fatores ambientais favoráveis, tais como temperatura e disponibilidade de água, e do uso da terra.

O processo de decomposição da matéria orgânica do solo influencia diretamente os ciclos de carbono e nitrogênio, por alterar a dinâmica desses

elementos, podendo estar relacionados a perdas de gases de carbono (dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>) e nitrogênio (óxido nítrico - NO e óxido nitroso - N<sub>2</sub>O), do solo para a atmosfera.

A decomposição e formação da matéria orgânica do solo e sua transformação em húmus são processos que compreendem *mineralização* e *imobilização*. A mineralização é a conversão de um elemento de formas orgânicas em inorgânicas. A celulose, hemicelulose e proteínas, por exemplo, são utilizadas pela população microbiana do solo, sendo parte decomposta e parte incorporada à biomassa microbiana. A imobilização, contrária à mineralização, é a conversão de formas inorgânicas em orgânicas, via absorção pelos microrganismos e plantas com posterior incorporação na biomassa (Varga e Hungria, 1997).

A emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera ocorre como consequência da atividade respiratória de microrganismos e raízes, sendo que a magnitude da perda depende das condições ambientais. O conteúdo de C orgânico pode ser especialmente importante para solos cultivados onde as práticas aplicadas alteram a dinâmica da matéria orgânica, muitas vezes imprimindo perdas irreversíveis (Silva et al., 1994).

Os gases de nitrogênio (NO, N<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>) são produtos dos processos microbiológicos de nitrificação e denitrificação. O modelo "*hole in the pipe*", concebido por Firestone e Davidson (2000), considera que a produção microbiana e emissão de NO, N<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub> é proporcional a quantidade de nitrogênio disponível no sistema, enquanto que a razão entre NO, N<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub> é regulada por diferentes fatores que controlam a difusão dos gases para fora do sistema. A nitrificação, oxidação do amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) em nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), e a denitrificação, redução do nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e do nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) em N<sub>2</sub>, podem ocorrer simultaneamente, sendo a razão entre os dois processos dependente do grau de saturação de água do solo (Hall et al., 1996; Passianoto et al., 2004). NO é formado principalmente durante a nitrificação, especialmente em solos com boa aeração e disponibilidade de nitrogênio na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. N<sub>2</sub>O é formado principalmente por denitrificação do NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, sendo largamente produzido sob condições anaeróbias (Skiba et al., 1993; Davidson et al., 1993; Hall et al., 1996; Russow et al., 2000). Dessa forma, os solos de textura arenosa favorecem a nitrificação e os de textura argilosa a denitrificação (Johansson e Sanhueza, 1988; Davidson et al., 1993; Hall et al., 1996). Hall et al. (1996), esclarecem que os fatores de regulação dos processos de nitrificação e

denitrificação no solo mais importantes são a disponibilidade de amônio, nitrato e nitrito, oxigênio (controlada pelo conteúdo de água do solo), carbono, pH, temperatura e atividade enzimática.

As práticas agrícolas (conversão de áreas nativas, fertilização, irrigação e manejo do solo, por exemplo) alteram os estoques, taxas de ciclagem e fluxos de C e N do solo, podendo incrementar as perdas desses elementos do solo para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>, NO e N<sub>2</sub>O, com balanços anuais relevantes. A fim de se reduzir tais perdas é essencial conhecer os processos e fatores ambientais que regulam as emissões de CO<sub>2</sub>, NO e N<sub>2</sub>O provenientes dos diferentes sistemas de produção agrícola.

#### **2.2.4. Variação temporal e espacial na emissão de NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>**

Em ecossistemas agrícolas a produção e emissão de NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> varia no tempo e no espaço em decorrência de alterações nos processos e fatores que orientam a dinâmica do C e do N no solo. A heterogeneidade temporal ocorre em função da resposta fenológica da planta, sazonalidade e práticas agrícolas. A heterogeneidade espacial, no plano horizontal (linha e entrelinha de plantio) e no vertical (na profundidade do solo), é determinada pelas características edáficas, práticas agrícolas, efeito rizosférico, diferenças topográficas e variações de temperatura e umidade.

As dinâmicas do C e do N no solo dependem da interação entre plantas e microrganismos. Na rizosfera o C está intimamente relacionado ao N durante os processos de mineralização e imobilização (Mary et al., 1996).

Uma importante fonte de C para os microrganismos do solo são as moléculas orgânicas de baixo peso molecular liberadas pelas raízes das plantas na rizosfera (Kuzyakov et al., 2003). A dinâmica das populações de bactérias no solo é influenciada pela rizodeposição, que varia entre espécies e é dependente do estágio fenológico e de fatores capazes de modificar a fisiologia das plantas (Davet, 2001). No rizoplano as populações de bactérias são de 2 a 10 vezes maiores, num gradiente correlacionado positivamente à concentração de C lábil, que se estende de 0 a 5 mm a partir da superfície das raízes (Chen et al., 2002).

Nos modelos simulados por Raynaud et al. (2006) a biomassa de amonificadoras nos cenários considerando a exudação foi cerca de 100 vezes maior do que nos cenários sem exudação, sendo a biomassa de amonificadoras proporcional à proximidade das raízes. Ao contrário, as populações de nitrificadoras foram mais baixas nos cenários com exudados, provavelmente em função da competição com amonificadoras. Assim, o modelo simulou a maior taxa de nitrificação e concentração de nitrato no cenário com ausência de plantas.

O aumento da biomassa microbiana no rizoplane incrementa a decomposição da matéria orgânica e a demanda de N mineral próximo às raízes (Clarholm, 1985; Dijkstra et al., 1987), com aumento na taxa de mineralização do N (Nannipieri et al., 1983) e liberação de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  no sistema (Raynaud et al., 2006), o que pode naturalmente induzir a uma maior emissão de gases traço na linha que na entrelinha de plantio.

No entanto, a heterogeneidade temporal pode ser mais importante na determinação da estrutura e atividade das comunidades de bactérias do que a heterogeneidade espacial (Philippot et al. 2006) como resposta a fatores ambientais tais como umidade e temperatura do solo (Buckley e Schmidt, 2003; Smalla et al., 2001) e após fertilização química e adubação orgânica (Wolsing e Prieme, 2004).

Outro fator que deve ser considerado na heterogeneidade temporal e espacial é a respiração do solo. Segundo Baggs (2006), a respiração do solo é a soma dos componentes, *respiração autotrófica* das raízes que inclui também a respiração dos microrganismos heterotróficos presentes na rizosfera e *respiração heterotrófica* dos microrganismos presentes na região não rizosférica. Xu et al. (2001) assumem que a respiração heterotrófica é espacialmente homogênea e que as diferenças espaciais dependem exclusivamente do componente autotrófico. No entanto, a variabilidade espacial no conteúdo de C orgânico do solo (Raich e Nadelhoffer, 1989) e N mineral (Rodeghiero e Cescatti, 2006) pode privilegiar a respiração heterotrófica. Para Saiz et al. (2006) a importância relativa dos componentes autotrófico e heterotrófico para a respiração do solo pode variar no tempo.

De modo geral, a respiração do solo é maior na rizosfera. Além do  $\text{CO}_2$ , também são encontrados próximos às raízes das plantas acetaldeído, etanol, flavanóides, ácido fórmico e outros gases traço, que estimulam o crescimento das populações de microrganismos na rizosfera (Davet, 2001). Assim, há uma correlação

positiva entre fluxo de CO<sub>2</sub> no solo e biomassa de raiz (Bond-Lamberty et al., 2004; Rodeghiero e Cescatti, 2006).

O incremento no conteúdo de N do solo após fertilização pode induzir a redução da atividade de raiz por diminuir a taxa de respiração autotrófica por unidade de biomassa (Rodeghiero e Cescatti, 2006). Isso porque, plantas crescidas em solos sem limitação de recursos, especialmente N, investem prioritariamente na parte aérea (Aerts e Chapin, 2000) e em raízes de diâmetro maior que 15 mm (Maier e Kress, 2000; Haynes e Gower, 1995), ou ainda, pode induzir a mortalidade de raízes com diâmetro inferior a 2 mm as quais contribuem significativamente para a respiração do solo (Pregitzer et al., 1995). Em estudos de medição de fluxos de gases com o uso de câmaras, a exemplo do trabalho ora apresentado, outro fator que pode estar relacionado com a heterogeneidade do solo é o possível aumento da mortalidade de raízes depois da instalação das câmaras. Keller et al. (2000), sugerem que a mortalidade de raízes com consequência da instalação das bases pode ser um importante precursor de óxidos de nitrogênio e solos de zonas tropicais úmidas.

A maioria dos estudos que elucidam os processos e fatores que orientam a heterogeneidade temporal e espacial foi realizada em solos temperados. Assim há carência de estudos em solos tropicais, especialmente os cultivados. Nos ecossistemas agrícolas a importância de um melhor entendimento da heterogeneidade temporal e espacial, em especial da contribuição relativa da linha e da entrelinha de plantio na emissão de gases traço é ainda maior na medida em que existe uma forte tendência ao aumento na produtividade das culturas em função do acréscimo na densidade de plantas na linha de plantio e da redução no espaçamento entrelinhas.

### **2.3. Mudança no uso da terra em áreas de Cerrado**

A conversão de áreas nativas de Cerrado em agrícolas tem aumentado significativamente nos últimos 35 anos. Estima-se que mais da metade dos 2 milhões de quilômetros quadrados, originalmente ocupados por vegetação de cerrado, tenha sido transformada em pastagens, campos de cultivo, assentamentos urbanos e áreas degradadas. O mapeamento semidetalhado do uso da terra do

Bioma Cerrado, definido por Sano et al. (2008) a partir da segmentação de imagens do satélite Landsat, mostra que aproximadamente 39,5% do Cerrado apresentaram algum tipo de uso da terra e que as pastagens cultivadas (26,5%) e as culturas agrícolas (10,5%) foram as classes predominantes. Atualmente, as pastagens cultivadas com gramíneas africanas e campos cultivados cobrem respectivamente uma área de 500.000 e 100.000 km<sup>2</sup>, enquanto que as áreas nativas de cerrado não ultrapassam 33.000 km<sup>2</sup> (Klink e Machado, 2005).

O atual modelo de produção agrícola estabelecido em solos de cerrado caracteriza-se pela utilização de cultivares de alta produtividade, uso intensivo de insumos químicos (fertilizantes e defensivos) e mecanização, resultando em crescimento econômico e incremento da produção. No entanto, os resultados são alcançados graças ao enorme desperdício de recursos naturais, em destaque o estoque de C no solo, nutrientes, água e energia, bem como alterações nas propriedades físicas e químicas do solo, que podem ser responsáveis por um aumento nos fluxos de gases traço do solo para a atmosfera. A magnitude dos prejuízos advindos do modelo está associada ao manejo empregado às culturas; maior ou menor grau de revolvimento do solo, adição de resíduos orgânicos, utilização de elevadas doses de fertilizantes, irrigação, entre outros.

A partir dos anos 90 houve um aumento gradativo de áreas destinadas a sistemas de cultivo mais conservacionistas que utilizam práticas como o plantio direto, rotação de culturas, uso de inoculantes e integração lavoura-pecuária.

No sistema de plantio direto as culturas são estabelecidas mobilizando-se o solo exclusivamente na linha de semeadura e mantendo-se os resíduos vegetais das culturas anteriores na superfície do mesmo, sem que haja incorporação. O plantio direto pode aumentar ou manter a matéria orgânica do solo, diminuir a erosão e aumentar o aproveitamento de nutrientes, reduzindo a vulnerabilidade ambiental dos agroecossistemas.

Estudos realizados em diferentes tipos de solos, condições ambientais e de manejo comprovaram que as atividades agrícolas podem contribuir na emissão de gases traço do solo para a atmosfera (Akiyama et al., 2000; Hadi et al., 2000, Davidson et al., 2001; Passianoto et al., 2004). No entanto, os estudos relacionados às emissões de gases traço, especialmente CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e N<sub>2</sub>O, em solos de cerrado sob cultivo são ainda incipientes.

O conhecimento da dinâmica de produção e emissão de gases traço nos agroecossistemas poderá contribuir para o estabelecimento de sistemas conservacionistas nas áreas de fronteiras agrícolas dos cerrados brasileiros, reduzindo as emissões e incrementando a sustentabilidade das atividades agropecuárias.

Vale ressaltar ainda que, se a agricultura, ao passo que contribui para o aquecimento global, também se apresenta como uma atividade altamente vulnerável às mudanças climáticas, especialmente nas regiões tropicais e sub-tropicais onde há predominância de atividades econômicas ligadas ao setor agrícola, deve desde já adotar medidas para conter o avanço das mudanças globais, tais como: estabelecimento de atividades agropastoris em áreas já desmatadas; utilização de práticas conservacionistas; uso de cultivares de baixo requerimento de fertilizantes; incentivo a sistemas integrados; reabilitação de áreas degradadas e de baixa produtividade.

### 3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdala, G. C.; Caldas, L. S.; Haridasan, M.; Eiten, G. Above and belowground organic matter and root:shoot ration in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*. v. 2, n. 1, p. 11-23, 1998.

Aerts, R; Chapin, F. S. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Adv. Ecol Res*. v. 30, p. 1-67, 2000.

Akiyama, H.; Tsuruta, H.; Watanabe, T. N<sub>2</sub>O and NO emissions from soils after the applicatio of different chemical fertilizers. *Chemosphere – Global Change Science*. v. 2, p. 313-320. 2000.

Baggs, E. M. Partitioning the components of soil respiration: a research challenge. *Plant Soil*. v. 284, p. 1-5, 2006.

Bond-Lamberty, B.; Wang, C.; Gower, S. T. A global relationship between the heterotrophic and autotrophic components of soil respiration? *Global Chang Biol*. v. 10, p. 1756-1766, 2004.

Buckley, D. H.; Shmidt, T. M. Diversity and dynamics of microbial communities in soils from agro-ecosystems. *Env. Microbiol*. v. 5, p. 441-452, 2003.

Canadell, J. G.; Mooney, H. A.; Baldocchi, D. D.; Berry, J. A.; Ehleringer, J. R.; Field, C. B.; Gower, S. T.; Hollinger, D. Y.; Hunt, J. E.; Jackson, R.B.; Runnig, S. W.; Shaver, G. R.; Steffen, W.; Trumbore, S. E.; Valentini, R.; Bond, Y. Carbon

metabolism of the terrestrial biosphere: a multitechnique approach for improved understanding. *Ecosystems*. v. 3, p. 115-130. 2000.

Chapin F. S.; Mooney, H. A.; Chapin, M. C.; Matson, P. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer. 2002.

Chen, C. R.; Condon, L. M.; Davis, M. R.; Sherlock, R. R. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* d. don.). *Soil Biol Biochem*. v. 34, n. 4, p. 487-499, 2002.

Clarholm, M. Possible roles for roots, bacteria, protozoa and fungi in supplying nitrogen to plants. *Ecol Interact Soil*. v. 4, p. 355-365, 1985.

Davet, P. *Microbial Ecology of the Soil and Plant Growth*. Science Publishers, Inc. Enfield, USA. 392 p. 2001.

Davidson, E. A.; Matson, P. M.; Vitousek, R.; Riley, R.; Dunkin, K; Garcia-Mendez, G.; Maass, J. M. Processes regulating soil emissions of NO and N<sub>2</sub>O in a seasonally dry tropical forest. *Ecology*. v. 74, p. 130-139, 1993.

Davidson, E. A.; Bustamante, M. M. C.; Pinto, A. S. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils of native and exotic ecosystems of the Amazon and Cerrado regions of Brazil. *The Scientific World*. v. 1, p. 312-319, 2001.

Dijkstra, A. F.; Govaert, J. M.; Scholten, G. H. N.; van Elsas, J. D. A soil chamber for studying the bacterial distribution in the vicinity of roots. *Soil Biol Biochem*. v. 19, n. 3, p. 351-352, 1987.

Firestone, M. K.; Davidson, E. A. Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. *Geophysical Research*. v. 105, p. 17693-17698, 2000.

Hadi, A.; Inubushi, K.; Purnomo, F. R.; Yamakawa, K.; Tsuruta, H. Effect of land-use change on nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emission from tropical peatlands. *Chemosphere – Global Change Science*. v. 2, p. 347-358, 2000.

Hall, S. J.; Matson, P. A.; Roth, P. M. NO<sub>x</sub> emissions from soil: implications for air quality modeling in agricultural regions. *Annu.Rev. Energy Environmental*. v. 21, p. 311-46, 1996.

Hansen, J.; Ruedy, R.; Glascoe, J.; Sato, M. GISS analysis of surface temperature change. *Journal of Geophysical Research*. n. 104, p. 30997-31022, 1999.

Haynes, B. E.; Gower, S. T. Belowground carbon allocation in unfertilized and red pine plantations in northern Wisconsin. *Tree Physiol*. v. 15, p. 317-325, 1995.

Hou, A.; Akiyama, H.; Nakajima, Y.; Sudo, S.; Tsuruta, H. Effects of urea form and soil moisture on N<sub>2</sub>O and NO emissions from Japanese Andosols. *Chemosphere – Global Change Science*. n. 2, p.321-327, 2000.

Houghton, J. *Global Warming*. Cambridge University Press, 2a. Ed, 242 p., 1997.

Hungate, B. A.; Jaeger III, C. H.; Gamara, G.; Chapin III, F. S.; Field, C.B. Soil microbiota in two annual grasslands: responses to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Oecologia*. n. 124, p. 589-598, 2000.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC AR4 – Fourth Assessment Report, Climate Change 2007: The Scientific Basis. Valencia, 2007.

Jobbágy, E. G.; Jackson, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*. v. 10, n. 2, p. 423-436, 2000.

Johansson, C.; Sanhueza, E. Emission of NO from savanna soils during rainy season. *Journal of Geophysical Research*. v. 93, p. 193-214, 1988.

Jones, T. H.; Thompson, L. J.; Lawton, J. H.; Bezemer, T. M.; Bardgett, R. D.; Blackburn, T. M.; Bruce, K. D.; Cannon, P. F.; Hall, G. S.; Hartley, S. E.; Howson, G.; Jones, C. G.; Kampichler, C.; Kandeler, E.; Ritchie D. A. Impacts of rising atmospheric carbon dioxide on Model Terrestrial Ecosystems. *Science*. v. 280, n. 5362, p. 441-443, 1998.

Keller, M.; Weitz, A. M.; Bryan, B.; Rivera, M. M.; Silver, W. L. Soil-atmosphere nitrogen oxide fluxes: effects of root disturbance. *Journal of geophysical research*. v.105, NO, D14, p. 17.693-17.698, 2000.

Klink, C. A.; Machado, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*. v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

Kuzyakov, Y.; Raskatov, A.; Kaupenjohann, M. Turnover and distribution of root exudates of *Zea mays*. *Plant Soil*. v. 254, n. 2, p. 317-327, 2003.

Lima, M. A. Emissão de gases de efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*. v. 3, p. 38-43, 2000.

Maier, C. A.; Kress, L. W. Soil CO<sub>2</sub> evolution and root respiration in 11-year-old loblolly pine (*Pinus taeda*) plantations as affected by moisture and nutrient availability. *Can. J. For. Res.* v. 30, p. 347-359, 2000.

Mary, B.; Recous, S.; Darwis, D.; Robin, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant Soil*. v. 181, p. 71-82, 1996.

Nannipieri, P.; Muccini, L. Ciard, C. Microbial biomass and enzyme activities: production and persistence. *Soil Biol Biochem*. v. 15, n. 6, p. 679-685, 1983.

Passianoto, C. C.; Ahrens, T.; Feigl, B; Steudler, A.; Melillo, J. M.; do Carmo, J. B. Diurnal changes in nitric oxide emissions from conventional tillage and pasture sites in the Amazon Basin: influence of soil temperature. *Plant and soil*. n. 258, p. 21-29, 2004.

- Philipipot, L.; Kuffner, M.; Chèneby, D.; Depret, G.; Laguerre, G.; Martin-Laurent, F. Genetic structure and activity of the nitrate-reducers community in the rhizosphere of different cultivars of maize. *Plant Soil*. v. 287, p. 177-186, 2006.
- Post, W. M.; Emanuel, W. R.; Zinke, P. J.; Stangenberger, A. G. Soil carbon pools and world life zone. *Nature*. n. 298, p. 156-159, 1982.
- Prasad, S. S.; Zipf, E. C. Atmospheric production of nitrous oxide from excited ozone and its significance. *Chemosphere – Global Change Science*. n. 2, p. 235-245, 2000.
- Prather, J. M. Time scales in atmospheric chemistry: coupled perturbations to N<sub>2</sub>O, NO<sub>y</sub> and O<sub>3</sub>. *Science*. v. 279, p. 1339-1341, 1998.
- Pregitzer, K. S.; Zar D. R.; Curtis, P. S.; Kubiske, M. E.; Teeri, J. A.; Vogel, C. S. Atmospheric CO<sub>2</sub>, soil nitrogen and turnover of fine roots. *New Phytol*. v. 129, p. 579-585, 1995.
- Raich, J. W.; Nadelhoffer, K. J. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: Global trends. *Ecology*. v. 70, n. 5, p. 1346-1354, 1989.
- Raynaud, X.; Lata, J-C.; Leadley, P. W. Soil microbial loop and nutrient uptake by plants: a test using a coupled C:N model of plant-microbial interactions. *Plant Soil*. v. 287, p. 95-116, 2006.
- Rodeghiero, M.; Cescatti, A. Indirect partitioning of soil respiration in a series of evergreen forest ecosystems. *Plant and Soil*. v. 284, p. 7-22, 2006.
- Russow, R.; Sich, I.; Neue, H.-U. The formation of the trace gases NO and N<sub>2</sub>O in soils by the coupled processes of nitrification and denitrification: results of kinetic <sup>15</sup>N tracer investigations. *Chemosphere – Global Change Science*. n. 2, p. 359-366, 2000.
- Saiz, G.; Grenn, C.; Butterbach-Bahl, K.; Kiese, R.; Avitabile, V.; Farrell, E. Seasonal and spatial variability of soil respiration in four Sitka spruce stands. *Plant Soil*. v. 287, p. 161-176, 2006.
- Schlesinger, W. H. 1997. *Biogeochemistry an analysis of global change*. Academic Press, 2a. Ed. 565 p.
- Silva, J. E.; Lemainski, J.; Resck, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do Oeste Baiano. *Revista brasileira de ciências do solo*. v. 18, n. 3, p.541-547, 1994.
- Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L.; Ferreira, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa agropecuária brasileira*. Notas Científicas. v. 43, n.1, p.153-156, 2008.
- Skiba, U.; Smith, K. A.; Fowler, D. Nitrification and denitrification as sources of nitric oxide and nitrous oxide in sandy loam soil. *Soil Biology and Biochemistry*. n. 25, p. 1527-1536, 1993.

Skiba, U.; Fowler, D.; Smith, K. A. Nitric oxide emissions from agricultural soils in temperate and tropical climates: sources, controls and mitigation options. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. n. 48, p. 139-153, 1997.

Smalla, K.; Wieland, G.; Buchner, A.; Zock, A.; Parzy, J.; Kaiser, S.; Roskot, N.; Heuer, H.; Berg, G. Bulk and rhizosphere soil bacterial communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis: plant dependent enrichment and seasonal shifts revealed. *Appl. Environ. Microbiol.* v. 67, p. 4742-4751, 2001.

Tian, H.; Melillo, J. M.; Kicklighter, D. W.; McGuire, A. D.; Helfrich III, J. V. K. The sensitivity of terrestrial carbon storage to historical climate variability and atmospheric CO<sub>2</sub> in the United States. *Tellus*. n. 51B, p. 414-452, 1999.

Tian, H.; Melillo, J. M.; Kicklighter, D. W.; McGuire, A. D.; Helfrich III, J. V. K.; Moore III, B.; Vörösmarty, C. J. Effect of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems. *Nature*. v. 396. p. 664-667, 1998.

Towsend, C. R.; Begon, M.; Harper, J. L. 2006. *Fundamento em ecologia*. Ed. Artmed, 2<sup>a</sup>. ed. 592 p.

Vargas, M. A. T.; Hungria, M. 1997. *Biologia dos solos dos cerrados*. EMBRAPA-CPAC/Planaltina-DF, 243 p.

Vitousek, P. M.; Mooney, H. A.; Lubchenco, J.; Melillo, J. Human domination of Earth's Ecosystems. *Science*. n. 277, p. 494-499, 1997.

Yienger, J. J.; Levy II, H. Empirical model of the global soil-biogenic NO<sub>x</sub> emissions. *Journal of Geophysical Research*. n. 100, p. 11447-11464, 1995.

Wolsing, M. e Prieme, A. Observation of high seasonal variation in community structure of denitrifying bacteria in arable soil receiving artificial fertilizer and cattle manure by determining T-RFLP of nir gene fragments. *FEMS Microb. Ecol.* v. 48, p. 261-271, 2004.

Xu, M.; De Biase, T. A.; Qi, Y.; Goldstein, A.; Liu, Z. Ecosystem respiration in a young ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada Mountains, California. *Tree Physiology*. v. 21, p. 309-318, 2001.

### **EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO NITROGENADA SOBRE OS FLUXOS DE N-NO, N-N<sub>2</sub>O E C-CO<sub>2</sub> EM LATOSSOLO CULTIVADO COM MILHO EM PLANTIO DIRETO SOBRE PALHADA DE *Brachiaria ruziziensis*.**

#### **1. INTRODUÇÃO**

As mudanças no uso da terra em áreas nativas de Cerrado têm aumentado significativamente nos últimos 35 anos. Estima-se que mais da metade dos 2 milhões de quilômetros quadrados, originalmente ocupados por vegetação de Cerrado, tenha sido transformada em áreas agrícolas e degradadas (Klink e Machado, 2005). O modelo de produção agrícola estabelecido em solos de Cerrado caracteriza-se pela utilização de cultivares de alta produtividade, uso intensivo de insumos químicos (fertilizantes e defensivos) e mecanização. No entanto, esse modelo pode provocar alterações nas propriedades físicas e químicas do solo e, como consequência, o aumento nos fluxos de gases traço do solo para a atmosfera.

A aplicação de fertilizantes, especialmente os nitrogenados, é uma prática requerida para a maioria das culturas instaladas em áreas de Cerrado, isso porque os solos são, em geral, de baixa fertilidade (Lilienfein et al., 2003). O milho é um dos cultivos de maior requerimento e a recomendação de adubação nitrogenada varia de região para região. Segundo Souza et al. (2003), a recomendação de adubação em cobertura para o milho é de 50 a 90 kg N ha<sup>-1</sup> em cultivos de sequeiro e de 120 a 150 kg N ha<sup>-1</sup> em cultivos irrigados, aplicados na semeadura e em cobertura.

O efeito da fertilização nitrogenada nas emissões de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> já foi demonstrado por diversos autores, a grande maioria em condições temperadas (Hellebrand et al., 2003; Webb et al., 2004). No entanto, há carência de estudos para elucidação do efeito de fertilizantes nitrogenados em solos tropicais, especialmente aqueles originalmente sob vegetação de Cerrado. Tais estudos devem considerar, além da quantidade adicionada, a fonte de nitrogênio aplicada (uréia, nitrato, amônia), a forma de aplicação do fertilizante (fertirrigação, superfície ou incorporado), o local de aplicação do fertilizante (linha ou entrelinha de plantio) e as práticas adotadas para o manejo do solo. Carvalho et al. (2006) determinaram

incrementos nos fluxos de N-NO em solo de cerrado sob cultivo de milho após a aplicação de uréia .

Os estudos experimentais e os estudos observacionais são importantes instrumentos para a elucidação dos mecanismos e dos fatores responsáveis pela produção e emissão de gases traço em agroecossistemas tropicais.

## 2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

### 2.1. Objetivo:

1. Avaliar o efeito de duas doses de nitrogênio na forma de uréia em cobertura e as possíveis diferenças com relação à linha e entrelinha de plantio sobre os fluxos de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> em solos cultivados com milho (*Zea mays* L.) em plantio direto sobre palhada de *Brachiaria ruziziensis*.

### 2.2. Hipóteses:

*Com relação aos efeitos da adubação nitrogenada e dos locais (linha e entrelinha de plantio) sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio foram levantadas as seguintes hipóteses:*

**Hipótese 1.** A fertilização nitrogenada aplicada no sulco durante o plantio promove o aumento dos fluxos de óxidos de nitrogênio (N-NO e N-N<sub>2</sub>O), sendo os fluxos mensurados na linha de plantio maiores que os fluxos mensurados na entrelinha.

**Hipótese 2.** A fertilização nitrogenada aplicada em cobertura, 28 DAE, eleva os fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O, sendo a magnitude dos fluxos proporcionais às quantidades de nitrogênio adicionadas e maior na linha de plantio em relação à entrelinha.

**Hipótese 3.** Ao longo do período de cultivo, as condições de umidade, temperatura, concentração de carbono da biomassa microbiana e N mineral do solo determinam variações nos fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O do solo para a atmosfera.

*Com relação aos efeitos da adubação nitrogenada e dos locais (linha e entrelinha de plantio) sobre os fluxos de C-CO<sub>2</sub> foi levantada a seguinte hipótese:*

**Hipótese 4.** A aplicação de nitrogênio via fertilização promove o aumento na respiração do solo e incrementa os valores de fluxo de C-CO<sub>2</sub>, sendo o efeito mais pronunciado na linha do que na entrelinha de plantio.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área de estudo**

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Dois J1 que está localizada no município de Rio Verde (17°47'52" de Latitude Sul, 50°55'40" de Longitude Oeste), Estado de Goiás a 640 km de Brasília-DF. Segundo o censo agropecuário do IBGE em 1995/1996, o município de Rio Verde compreende uma área total de 714.522 ha, dos quais 389.128 de pastagens, 213.154 de lavoura e 112.240 de vegetação nativa.

Atualmente, o município de Rio Verde tem se destacado no cenário agropecuário nacional com índices recordes de produção e produtividade. No ano de 2006 representou o 9º maior PIB (Produto Interno Bruto) do país no setor agropecuário. No estado de Goiás, o município de Rio Verde, é o maior produtor de grãos.

#### **3.2. Características edafo-climáticas**

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 1999), o solo na área onde o experimento foi desenvolvido é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com pH ligeiramente ácido, baixa capacidade de troca catiônica e bem drenado (Tabela 1.1).

Maltas (2007) trabalhou na mesma área onde este experimento foi desenvolvido e observou que o incremento de carbono orgânico e N no solo, na camada de 0 a 30 cm, é de 1,82 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 102 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A taxa de mineralização do N é de 2,4 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que corresponde a um suprimento extra de N no solo em torno de 25 kg em 10 anos e representa 20 % da fertilização

recomendada para o milho ( $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) na região.

Tabela 1.1. Propriedades químicas, granulométricas e hidrodinâmicas do Latossolo Vermelho (0 a 20 cm de profundidade) na área onde as parcelas experimentais foram instaladas. Ano agrícola 2004-2005, Rio Verde-GO.

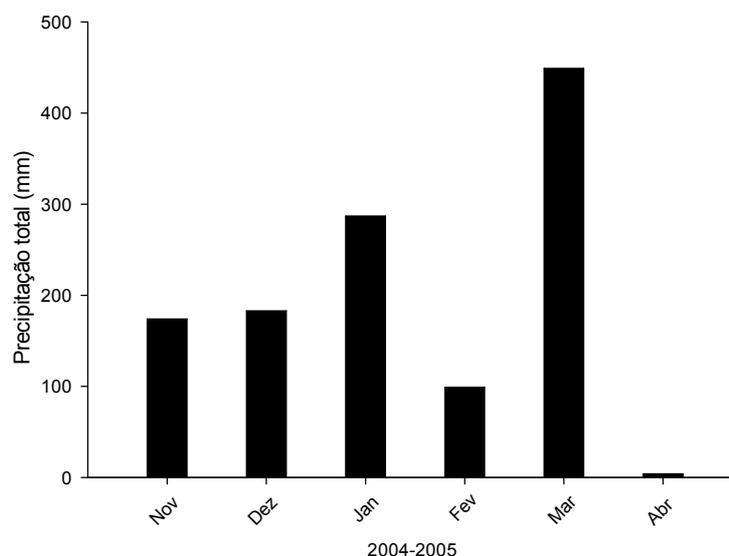
Propriedades químicas	Média $\pm$ ep
pH em água	5,8 $\pm$ 0,8
Al trocável ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,012 $\pm$ 0,01
Ca + Mg trocável ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,037 $\pm$ 0,03
K trocável ( $\text{meq L}^{-1}$ )	5,9 $\pm$ 0,2
Mn trocável ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,9 $\pm$ 0,6
P-Olsen disponível ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	16 $\pm$ 10
CTC ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,45 $\pm$ 0,5
Carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ )	26,7 $\pm$ 0,2
N total ( $\text{g kg}^{-1}$ )	1,89 $\pm$ 0,03
Densidade aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1,20 $\pm$ 0,03
Argila (%)	49,7 $\pm$ 6,5
Silte (%)	9,4 $\pm$ 4,0
Areia (%)	40,9 $\pm$ 4,3
Capacidade de campo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )	0,35 $\pm$ 0,0
Ponto de murcha ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )	0,20 $\pm$ 0,0

ep = erro padrão da média

Fonte: Maltas (2007).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Tropical Estacional (Aw), com sazonalidade bem definida, verões úmidos e invernos secos. A temperatura do ar média no período de estudo foi de  $24,4 \text{ }^\circ\text{C}$ , com mínima de  $15,3$  e máxima de  $34,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . A umidade relativa do ar no mesmo período variou entre 51,3 e 91%, com média de 79,6%.

A distribuição da precipitação pluviométrica no período de estudo (novembro de 2004 a abril de 2005) está apresentada na Figura 1.1.



**Figura 1.1.** Precipitação mensal acumulada durante o período de estudo na Fazenda Dois J1 (novembro de 2004 a abril de 2005).

### 3.3. Histórico de uso do solo na área do experimento

As áreas agrícolas da Fazenda Dois J1 foram estabelecidas em 1975 após remoção da cobertura vegetal de Cerrado sentido restrito. Até o início dos anos 90 a área onde se encontravam as parcelas estudadas foi utilizada para o cultivo convencional de soja em monocultura, com aração e gradagem anuais. Em seguida estabeleceu-se o plantio direto sobre palhada, com movimentação do solo apenas na linha de cultivo e manutenção dos resíduos da cultura sobre o solo. Anualmente, na estação chuvosa, cultiva-se milho ou soja, como cultivos principais, sobre a palhada dessecada de *Brachiaria ruziziensis*, e na safrinha cultiva-se milheto (*Pennisetum* sp.).

### 3.4. Manejo da área no período de estudo

O experimento foi desenvolvido no período de novembro de 2004 a abril de 2005, numa área submetida ao cultivo de milho (*Zea mays* L.) em plantio direto no sistema de sequeiro sobre a palhada de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*).

A *Brachiaria* foi semeada em março de 2004, antes do final da estação chuvosa, no sistema de plantio direto sem aplicação de fertilizantes, e dessecada no

final de outubro de 2004 com um herbicida de pós-emergência não seletivo cujo princípio ativo é o glifosato (Roundup transorb).

Utilizou-se uma cultivar de milho de ciclo intermediário (120 dias), cv. 30K75 da Pioneer. O espaçamento utilizado na semeadura foi de 0,8 m na entrelinha de plantio, com densidade de 63.000 sementes ha<sup>-1</sup>. Concomitante à semeadura do milho, foi aplicada uma fertilização de base na linha de plantio com 80 kg P ha<sup>-1</sup> na forma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 80 kg K ha<sup>-1</sup> na forma de K<sub>2</sub>O. A fertilização nitrogenada com uréia em cobertura (28 dias após a emergência) e a colheita foram feitas manualmente. A Tabela 1.2 apresenta as datas das mensurações dos gases e coletas de solo, o período correspondente e fases da cultura do milho, no experimento com fertilização nitrogenada.

**Tabela 1.2.** Experimento com fertilização nitrogenada em cultivo de milho (plantio em 09/11/04 e colheita em 20/04/05): datas das coletas, período correspondente, características ambientais e fase da cultura.

Datas das coletas	Período correspondente	Fase da cultura	Características
10/11/2004	1 dia após o plantio com fertilização no sulco (uréia) Tratamentos / kg N ha <sup>-1</sup> : N0 = 0 N1 = 20 N2 = 20	Pré-emergência	Início da estação chuvosa. Solo coberto com palhada de <i>Brachiaria ruziziensis</i>
13/12/2004	4 dias após a fertilização em cobertura (uréia) Tratamentos / kg N ha <sup>-1</sup> : N0 = 0 N1 = 50 N2 = 100	28 DAE	Plantas de milho em crescimento vegetativo
25/02/2005	Desenvolvimento da cultura	Plantas de milho totalmente desenvolvidas iniciando a senescência	Enchimento dos grãos
29/04/2005	9 dias após a colheita	Plantas de milho em pé, com folhas totalmente secas. Presença de ervas daninhas e <i>Brachiaria</i>	Pós-colheita

DAE = dias após a emergência

Para evitar o efeito do tratamento aplicado em uma parcela sobre outra parcela os blocos foram estabelecidos em uma área de topografia plana. Além disso, utilizaram-se plantas de milho, em espaçamento adensado, como bordadura.

Para o controle de plantas daninhas foi realizada uma aplicação de herbicida de pré-emergência (atrazina) e uma composição de dois herbicidas seletivos de pós-emergência um mês após o plantio (nicosulfuron e ácido 2,4 diclorofenoxiacético). O controle de *Spodoptera frugiperda* foi realizado com uma aplicação de inseticida (lufenuron) 20 dias após o plantio.

Em virtude das dificuldades operacionais decorrentes da distância entre a Universidade de Brasília e a Fazenda Dois J1, não foi possível padronizar o período de coleta após a aplicação do fertilizante. Assim, a primeira coleta foi realizada um dia após o plantio com fertilização no sulco e a segunda coleta foi realizada quatro dias após a fertilização em cobertura.

### **3.5. Delineamento experimental**

O delineamento experimental utilizado constou de blocos ao acaso, em três repetições, com parcelas divididas. Nas parcelas (5 x 20 m) testaram-se três níveis de nitrogênio (N0 = sem fertilização nitrogenada, N1= 70 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na forma de uréia e N2 = 120 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na forma de uréia) e nas sub-parcelas (5 x 10 m) foram testados dois locais de coleta de gases (linha e entrelinha de plantio). As coletas ocorreram em 4 datas durante o desenvolvimento do milho, em função das práticas aplicadas ou fase da cultura.

Os tratamentos foram definidos em função da fertilidade do solo e do requerimento nutricional para a cultura do milho. Assim, o tratamento N0 correspondeu ao controle, o N1 a uma dosagem de N supostamente limitante para plantas de milho e o N2 a dosagem de N recomendada aos produtores da região para o cultivo de milho.

### **3.6. Determinação dos fluxos de gases**

As medidas de NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> foram realizadas pelo acúmulo do gás em câmaras de PVC, inseridas no solo numa profundidade de 1 a 2 cm, 30 minutos antes das determinações. As câmaras possuíam formato cilíndrico, com 24,2 cm de

diâmetro e 20 cm de altura, volume total de 8,3 L e uma abertura superior que permitia a manutenção da pressão no seu interior durante a coleta dos gases.

As datas das amostragens foram definidas em função das práticas aplicadas (plantio com fertilização no sulco, fertilização em cobertura e colheita) e do estágio de desenvolvimento da cultura (enchimento dos grãos). Não foi possível padronizar o tempo da coleta após a aplicação da prática por dificuldades operacionais decorrentes da distância entre a Fazenda Dois J1 e o Laboratório de Ecologia da Universidade de Brasília. Assim, as coletas foram realizadas um dia após o plantio com fertilização no sulco, quatro dias após a fertilização em cobertura e nove dias após a colheita.

Em todas as coletas, as amostragens foram realizadas entre 11 horas e 14 horas.

### **3.6.1 Fluxos de N-NO**

Os fluxos de NO dentro das câmaras foram medidos em campo, durante cinco minutos, com auxílio de um analisador NOxBox – Scintrex LMA-3, associado a um *datalogger*. Os valores de fluxos foram mensurados através de uma reação de quimiluminescência entre o gás e um reagente químico (luminol). A reação química libera fótons proporcionalmente a concentração de NO<sub>2</sub> liberado do solo, por isso é necessário fazer a oxidação do NO à NO<sub>2</sub>, forçando a passagem da amostra de ar por uma coluna de óxido de cromo (CrO<sub>3</sub>). Como o detector do aparelho é sensível a baixas concentrações de NO utilizou-se a equação descrita em Pinto et al. (2002). O fluxo de NO do solo foi calculado com base na relação linear entre tempo e concentração do gás dentro da câmara.

### **3.6.2. Fluxos de N-N<sub>2</sub>O**

Para a determinação dos fluxos de N<sub>2</sub>O, aproximadamente 35 mL de amostras de ar foram coletados nos tempos 0, 10, 20 e 30 minutos após o fechamento da câmara de PVC, em seringas de náilon (60 mL) adaptadas com válvula de segurança para evitar perda e contaminação das amostras. Em laboratório as amostras de ar foram analisadas por cromatografia gasosa (Shimadzu GC-14A) com detector por captura de elétrons (ECD), no máximo 1 dia após a

coleta. Os fluxos foram calculados pela regressão linear das concentrações do gás nos tempos observados.

### **3.6.3. Fluxos de C-CO<sub>2</sub>**

As medidas dos fluxos de CO<sub>2</sub> foram realizadas em campo com um analisador de gás infravermelho (IRGA - Li-Cor 6200) que detecta a concentração do gás a cada segundo por um período de 3 minutos. Os valores de fluxos foram calculados por regressão linear entre o tempo e a concentração do gás.

### **3.7. Determinação das temperaturas do solo (2,5 e 5,0 cm)**

Paralelamente à determinação dos fluxos de gases, com auxílio de termopares, foram tomadas as temperaturas do interior das câmaras e do solo nas profundidades de 2,5 e 5,0 cm.

### **3.8. Coleta de solo**

Após a mensuração dos fluxos de gases, amostras de solos para determinação das concentrações de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), carbono da biomassa microbiana, conteúdo gravimétrico de água, espaço de poros preenchido por água e pH, foram coletadas de dentro das câmaras com tubos de PVC com 5 cm de diâmetro enterrados no solo até 5 cm de profundidade.

Em campo, as amostras destinadas à determinação do conteúdo gravimétrico de água e do espaço de poros preenchido por água eram acondicionadas em latas de alumínio vedadas, enquanto que as destinadas à determinação do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, carbono da biomassa microbiana e pH eram acondicionadas em sacos plásticos e imediatamente refrigeradas, permanecendo desta forma até o momento das análises.

### **3.9. Determinação de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) disponíveis no solo**

A extração de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nas amostras de solo foi realizada tomando-se 2,0 g de solo fresco, adicionando-se 25 ml de KCl 2,0 M e procedendo-se

agitação por 1 hora. Após *over night*, realizou-se filtração do sobrenadante em filtro de filtração lenta.

A determinação das concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$  foi realizada por espectrofotometria. As leituras de  $\text{N-NO}_3^-$  foram efetuadas através da passagem direta de luz ultravioleta pelo extrato nos comprimentos de onda: 218, 228, 254 e 280 nm (Meier, 1991). As leituras de  $\text{N-NH}_4^+$  foram efetuadas de acordo com o método de Nessler, no comprimento de onda 425 nm.

### **3.10. Determinação do carbono da biomassa microbiana**

Para a determinação do C da biomassa microbiana utilizou-se o método da fumigação-incubação, proposto por Jenkinson e Powlson (1976). O método estima a biomassa microbiana pela diferença nas taxas de liberação do  $\text{C-CO}_2$  entre amostras de solo fumigadas e não fumigadas com clorofórmio.

Depois de peneiradas em malha de 2 mm, realizava-se o ajuste do conteúdo de água das amostras para 100% da capacidade de campo (45% do conteúdo gravimétrico de água). Em seguida, as amostras eram acondicionadas por sete dias, quando então metade foi submetida à fumigação com clorofórmio livre de álcool e a outra metade mantida sem fumigação. Após fumigação, todas as amostras foram incubadas por 10 dias em frascos de vidro hermeticamente fechados contendo 10 mL de KOH 0,3 N. A quantidade de  $\text{C-CO}_2$  liberada das amostras (fumigadas e não fumigadas) era capturada pelo KOH e determinada através de titulação com HCl 0,1M, utilizando-se fenoftaleína como indicador.

Para o cálculo do C da biomassa microbiana utilizou-se uma constante  $K_c=0,41$  (Anderson e Domsch, 1978), a qual considera que 41% do C da biomassa microbiana foi mineralizado durante o período de incubação.

### **3.11. Determinação do Espaço de Poros Preenchido por Água (EPPA)**

Nas amostras de solo, o teor gravimétrico de água foi determinado pela diferença entre o peso fresco e o peso seco do solo, após ter permanecido em estufa a 105° C até peso constante.

Os valores dos teores gravimétricos de água foram convertidos em EPPA (%) através da fórmula descrita por Linn & Doran (1984):

$EPPA \% = (\theta_g \times da \times 100 \%)/[1-(da/dp)]$ , onde:

$\theta_g$  = teor gravimétrico de água na amostra de solo

$da$  = densidade aparente do solo ( $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ )

$dp$  = densidade de partículas ( $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ )

#### 4. Análise estatística

Os dados foram analisados estatisticamente com auxílio do programa SPSS versão 13.0 para Windows, admitindo-se  $P < 0,05$ .

Verificou-se a normalidade dos dados através do teste Kolmogorov-Smirnov. Após testar a esfericidade dos dados, os efeitos dos níveis de nitrogênio (N0, N1, N2), dos locais de coleta (linha e entrelinha de plantio) e das fases de cultivo do milho nos parâmetros avaliados foram testados como medidas repetidas no espaço e no tempo (Split-split-plot).

As médias dos fluxos de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub>, temperatura do solo nas profundidades 2,5 e 5,0 cm, espaço de poros preenchido por água, carbono da biomassa microbiana e nitrogênio mineral disponível foram comparadas nos tratamentos N0, N1 e N2, nos locais de coleta (linha e entrelinha de plantio) e entre as fases da cultura (1 dia após o plantio + 1ª fertilização nitrogenada, 4 dias após a 2ª fertilização nitrogenada, enchimento dos grãos e 9 dias após a colheita). Para as comparações, os dados com distribuição normal foram submetidos à ANOVA e, em seguida, ao teste de Tukey e aqueles que não possuíam distribuição normal foram submetidos à comparação múltipla não paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis e para determinar as diferenças utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney.

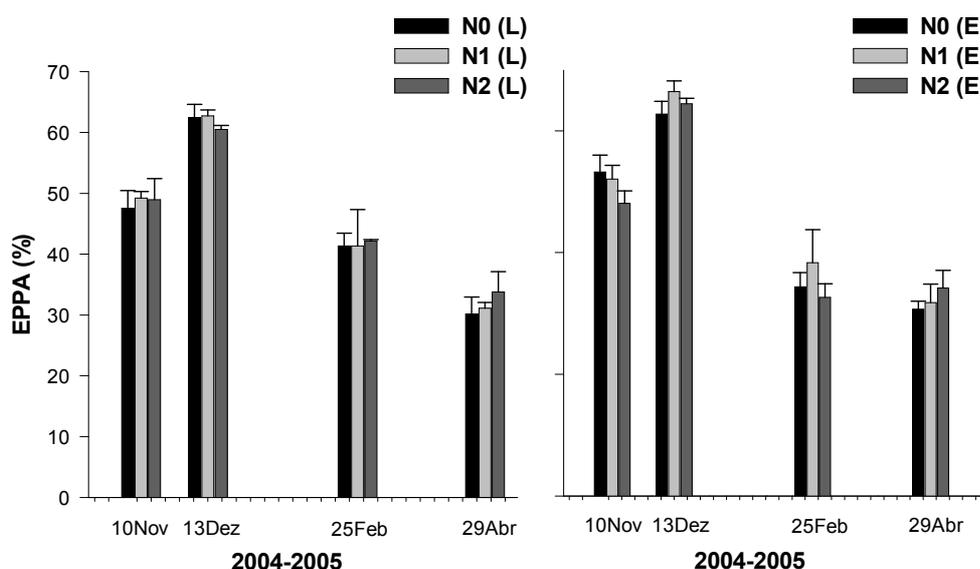
Os fluxos de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub>, foram relacionados às variáveis explicativas (temperatura do solo nas profundidades 2,5 e 5,0 cm, espaço de poros preenchido por água, carbono da biomassa microbiana, teor de NO<sub>3</sub> e NH<sub>4</sub>) através dos modelos lineares de regressão múltipla, testando-se a magnitude da influência das variáveis explicativas pelo procedimento *stepwise*. Para evitar a colinearidade na análise de regressão, utilizou-se apenas uma variável para cada parâmetro

estudado (temperatura, umidade e teor de N disponível), em todas as combinações possíveis.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Variações de umidade e temperatura do solo

Os valores de EPPA, na profundidade de 0 a 5 cm, em cada mês, não variaram nas parcelas submetidas aos diferentes tratamentos (N0, N1 e N2). A precipitação acumulada em cada mês no decorrer do período de cultivo do milho teve importante efeito na percentagem de EPPA, com o maior valor (66,7%) registrado em dezembro e os menores (32,6 e 30,1%) registrados em fevereiro e abril, respectivamente (Figura 1.2).

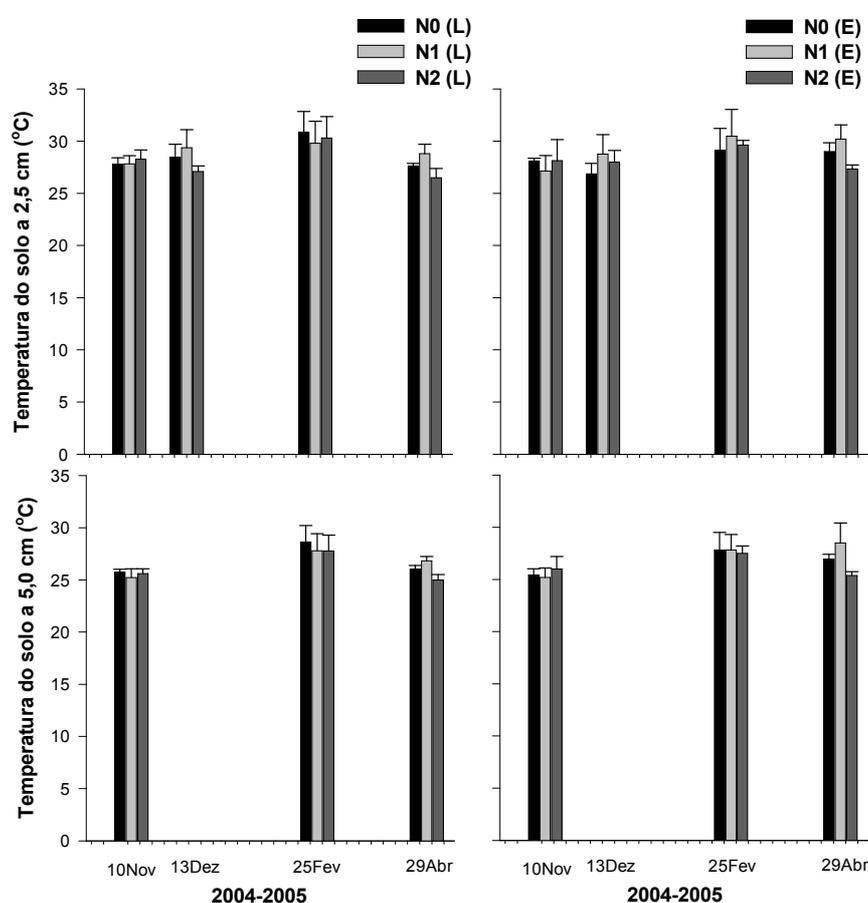


**Figura 1.2.** Espaço de Poros Preenchido por Água (EPPA %) nas fases de cultivo do milho, em função da fertilização nitrogenada aplicada, N0 (sem fertilização), N1 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 50 kg de N ha<sup>-1</sup> 22 DAE) e N2 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 100 kg de N ha<sup>-1</sup> 22 DAE), e dos locais de coleta, linha (L) e entrelinha de plantio (E). Média ± erro, n=3.

Para todas as parcelas, os valores de EPPA registrados na coleta de dezembro foram estatisticamente superiores àqueles registrados nas coletas de

fevereiro e abril. Os valores de EPPA registrados em dezembro também foram estatisticamente superiores àqueles registrados em novembro nas parcelas N0(L), N2(L) e N2(E). Os valores de EPPA registrados em novembro foram estatisticamente superiores aos registrados em fevereiro nas parcelas N0(E) e N2(E) e aos registrados em abril para todas as parcelas.

As temperaturas do solo nas profundidades de 2,5 e 5,0 cm não variaram significativamente entre as parcelas dos tratamentos aplicados no modelo experimental em cada data de coleta, nem ao longo do período de cultivo do milho (Figura 1.3).



**Figura 1.3.** Temperaturas do solo nas profundidades de 2,5 e 5,0 cm (°C) nas fases de cultivo do milho, em função da fertilização nitrogenada aplicada, N0 (sem fertilização), N1 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 50 kg de N ha<sup>-1</sup> 22 DAE) e N2 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 100 kg de N ha<sup>-1</sup> 22 DAE), e dos locais de coleta, linha (L) e entrelinha de plantio (E). Média ± erro, n=3.

As temperaturas mais elevadas foram registradas em fevereiro, cuja temperatura média a 2,5 cm de profundidade foi 30 °C e a 5,0 cm foi 27,9 °C. As mais baixas foram registradas em novembro, cuja temperatura média a 2,5 cm foi 27,9 °C e a 5,0 cm foi 25,5 °C. Entre as duas profundidades avaliadas, temperaturas mais elevadas foram registradas a 2,5 cm de profundidade (média de 28,6 °C), enquanto que na profundidade de 5,0 cm as temperaturas foram de 1,3 a 2,7 °C menores.

## 5.2. Variações no N-disponível e no C da biomassa microbiana do solo

Analisando-se o efeito dos tratamentos com fertilização nitrogenada (N0, N1, N2) sobre a disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo em cada fase do cultivo do milho (Figura 4), observou-se que quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura os valores de  $\text{N-NO}_3^-$  dos tratamentos N1(L e E) e N2(L e E) foram até cinco vezes superiores aos mensurados nos tratamentos N0 (L e E), enquanto que nas demais fases da cultura os valores de  $\text{N-NO}_3^-$  não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos N0, N1 e N2 (Figura 1.4).

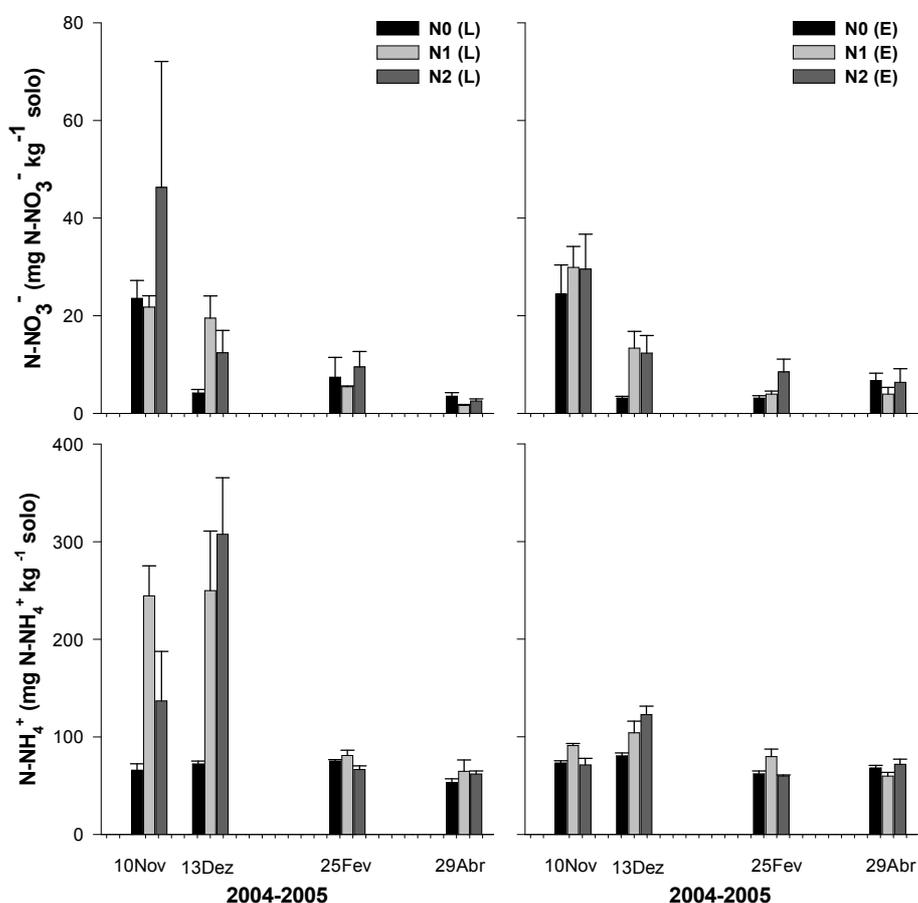
Não foi observado efeito do local de coleta (linha e entrelinha de plantio) nos teores de  $\text{N-NO}_3^-$  disponíveis no solo em nenhum dos tratamentos com fertilização nitrogenada utilizados no modelo experimental.

Em todos os tratamentos analisados, as concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  foram reduzidas ao longo do período de cultivo do milho. Na coleta realizada um dia após o plantio com fertilização nitrogenada no sulco os valores de  $\text{N-NO}_3^-$  das amostras de solo, em todos os tratamentos, variaram entre 21,8 e 29,9  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  de solo e foram reduzidos significativamente para valores que variaram entre 2,5 e 6,7  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  de solo após a colheita.

Para os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  o efeito dos tratamentos (N0, N1, N2) foi claramente observado um dia após o plantio com fertilização nitrogenada no sulco e quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura, onde os valores de  $\text{N-NH}_4^+$  nas parcelas N1(L) e N2(L) foram incrementados cerca de quatro vezes quando comparados aos mensurados na parcela N0(L), Figura 1.4.

Com relação ao efeito do local de coleta, registraram-se valores de  $\text{N-NH}_4^+$  cerca de duas vezes e meia maiores nas amostras de solo coletadas na linha de plantio, nas parcelas N1 (um dia após o plantio com fertilização nitrogenada no sulco

e quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura) e N2 (quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura e na fase de enchimento dos grãos).



**Figura 1.4.** Teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> solo) e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo) nas fases de cultivo do milho, em função da fertilização nitrogenada aplicada, N0 (sem fertilização), N1 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 50 kg de N ha<sup>-1</sup> 28 DAE) e N2 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 100 kg de N ha<sup>-1</sup> 28 DAE), e dos locais de coleta, linha (L) e entrelinha de plantio (E). Média ± erro, n=3.

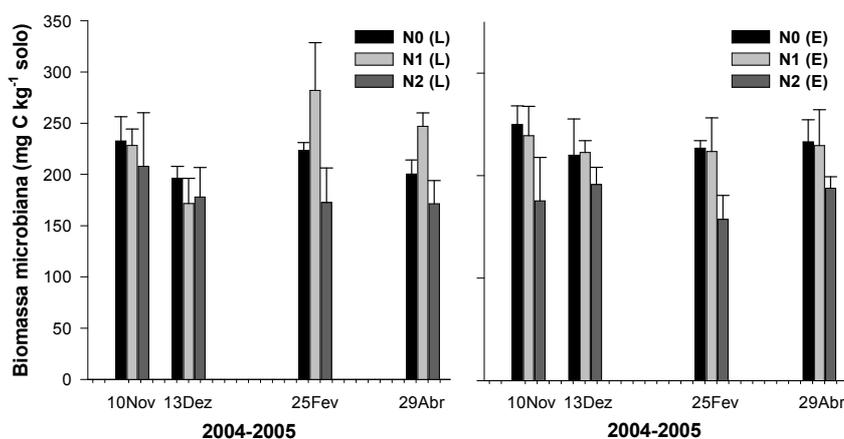
As concentrações de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dos tratamentos N0(L e E) variaram entre 53,3 e 75,2 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> de solo no decorrer do período de cultivo do milho. Observou-se incremento significativo de até cinco vezes nos valores N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> das amostras de solo coletadas nas parcelas N1(L) e N2(L) um dia após o plantio com fertilização nitrogenada no sulco (244,4 e 136,9 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> de solo) e quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura (249,9 e 307,5 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> de solo) quando comparados aos mensurados nas mesmas parcelas nas fases de enchimento dos

grãos (80,9 e 66,6 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> de solo) e nove dias após a colheita (64,8 e 61,9 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> de solo).

Na parcela N1(E) os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> não variaram significativamente nas três primeiras fases de cultivo, apresentando redução significativa de até aproximadamente 57 % 9 dias após a colheita (51,7 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> de solo). Na parcela N2(E) os valores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mensurados quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura (122,7 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> de solo) foram cerca de duas vezes superiores aos mensurados nas demais fases da cultura.

No decorrer do período de cultivo do milho os valores médios de carbono da biomassa microbiana, em todos os tratamentos avaliados, variaram entre 157,4 e 282,1 mg C kg<sup>-1</sup> de solo (Figura 1.5).

Os valores de carbono da biomassa microbiana não diferiram estatisticamente ao longo do período de cultivo do milho em um mesmo tratamento, entre os tratamentos, nem entre os locais de coleta (linha e entrelinha de plantio).

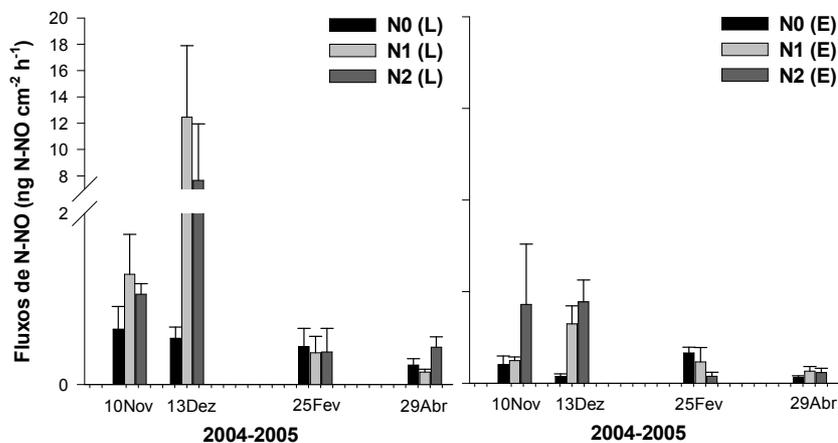


**Figura 1.5.** Carbono da Biomassa Microbiana (mg C kg<sup>-1</sup> solo) nas fases de cultivo do milho, em função da fertilização nitrogenada aplicada, N0 (sem fertilização), N1 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 50 kg de N ha<sup>-1</sup> 28 DAE) e N2 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 100 kg de N ha<sup>-1</sup> 28 DAE), e dos locais de coleta, linha (L) e entrelinha de plantio (E). Média ± erro, n=3.

### 5.3. Fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O

A Figura 1.6 apresenta a distribuição dos fluxos de N-NO ao longo do período de cultivo do milho em função da fertilização nitrogenada aplicada (N0, N1 e N2) e

dos locais de coleta (linha e entrelinha). Os fluxos de N-NO registrados nas parcelas N0(L) e N0(E) mantiveram-se baixos no decorrer do período de cultivo do milho, com valores médios variando de 0,23 a 1,65 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>.



**Figura 1.6.** Fluxos de N-NO (ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) nas fases de cultivo do milho, em função da fertilização nitrogenada aplicada, N0 (sem fertilização), N1 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 50 kg de N ha<sup>-1</sup> 28 DAE) e N2 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 100 kg de N ha<sup>-1</sup> 28 DAE), e dos locais de coleta (linha e entrelinha de plantio). Média ± erro, n=3

Observaram-se picos de fluxos de N-NO nos tratamentos N1(L e E) e N2(L e E), quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura, que foram significativamente superiores aqueles registrados nas parcelas N0(L e E). Analisando-se o efeito do local de coleta (L e E) registraram-se fluxos de N-NO com grande variabilidade e mais altos nas linhas das parcelas que receberam as doses de nitrogênio N1 e N2. Quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura os valores dos fluxos de N-NO medidos nas parcelas N1(L) foram 12,5 ± 9,4 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, nas parcelas N1(E) foram 3,2 ± 1,7 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, N2(L) foram 7,4 ± 4,3 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> e nas parcelas N2(E) foram 4,4 ± 2,1 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Na mesma data de coleta nas parcelas N0(L e E) os valores de fluxos medidos foram 0,5 ± 0,2 e 0,4 ± 0,3 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente.

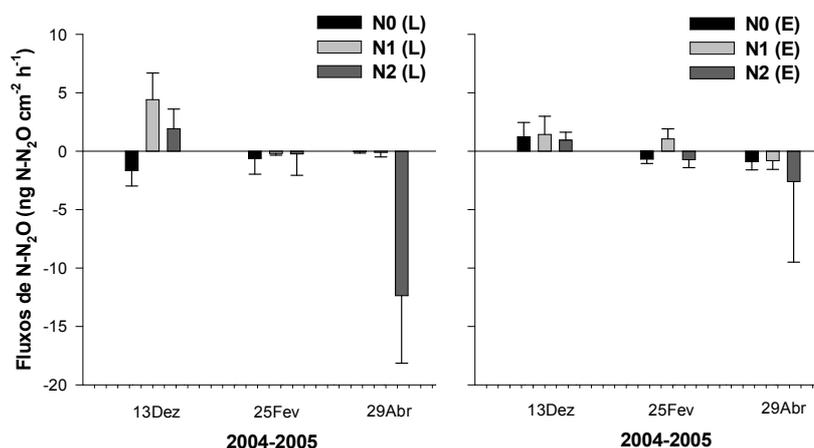
De modo geral, nas demais fases da cultura (um dia após o plantio com fertilização nitrogenada no sulco, enchimento dos grãos e nove dias após a colheita) os valores de fluxo de NO nas parcelas N1(L) e N1(E) e N2(L) e N2(E) foram semelhantes aos mensurados nas parcelas N0(L) e N0(E), com exceção dos fluxos

mensurados no tratamento N2(E), um dia após o plantio com fertilização nitrogenada no sulco ( $4,3 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), que foram semelhantes aos mensurados quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura no mesmo tratamento ( $4,4 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ).

A disponibilidade de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo (0 a 5 cm), explicou a variação nos fluxos de N-NO ao longo do período de cultivo do milho em 75,7% no tratamento N1(L) ( $P = 0,004$  e  $F = 13,42$ ), em 72,6% no N1(E) ( $P = 0,008$  e  $F = 11,12$ ), em 62,4% no N2(L) ( $P = 0,030$  e  $F = 6,37$ ) e em 66,5% no tratamento N2(E) ( $P = 0,018$  e  $F = 7,9$ ). Enquanto que as emissões de N-NO nas parcelas submetidas aos tratamentos N0(L) e N0(E) não foram explicadas pelas variáveis testadas (EPPA, carbono da biomassa microbiana, temperatura e disponibilidade de nitrogênio).

Em função de problemas técnicos ocorridos com o cromatógrafo, os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  um dia após o plantio com fertilização nitrogenada no sulco não foram medidos.

Na coleta realizada quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura (dezembro), observou-se uma tendência a fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  superiores nas parcelas N0(E), N1(L e E) e N2(L e E), cujos valores médios variaram entre 0,9 e  $4,4 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , enquanto que na mesma coleta a média dos valores de fluxos de  $\text{N-N}_2\text{O}$  registrados no tratamento N0(L) foi de  $-1,7 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (Figura 1.7).

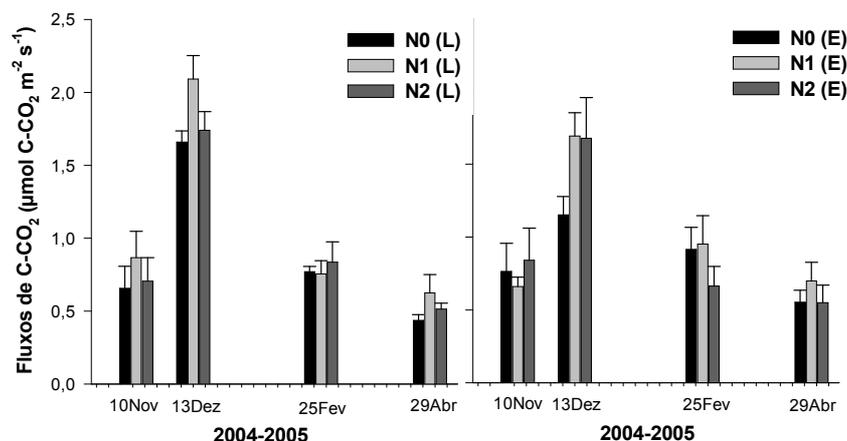


**Figura 1.7.** Distribuição dos fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  ( $\text{ng cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) nas fases de cultivo do milho, em função da fertilização nitrogenada aplicada, N0 (sem fertilização), N1 ( $20 \text{ kg de N ha}^{-1}$  no plantio +  $50 \text{ kg de N ha}^{-1}$  28 DAE) e N2 ( $20 \text{ kg de N ha}^{-1}$  no plantio +  $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$  28 DAE), e dos locais de coleta, linha (L) e entrelinha de plantio (E). Média  $\pm$  erro,  $n=3$ .

De modo geral, os fluxos de N-N<sub>2</sub>O mensurados nas fases de enchimento dos grãos e nove dias após a colheita, em todos os tratamentos, estiveram abaixo do limite de detecção do equipamento (0,6 ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Em todas as coletas registraram-se fluxos de N-N<sub>2</sub>O negativos que podem estar associados ao consumo do gás.

#### 5.4. Fluxos de C-CO<sub>2</sub>

Os fluxos de C-CO<sub>2</sub> não diferiram entre os tratamentos em cada fase da cultura. Com relação ao local de coleta (Linha e Entrelinha), observou-se efeito significativo (P = 0,036) apenas no tratamento N0, na coleta realizada em dezembro de 2004, com valores de fluxo de C-CO<sub>2</sub> maiores na linha (1,7 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e menores na entrelinha (1,2 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), Figura 1.8.



**Figura 1.8.** Distribuição dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> (μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) nas fases de cultivo do milho, em função da fertilização nitrogenada aplicada, N0 (sem fertilização), N1 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 50 kg de N ha<sup>-1</sup> 28 DAE) e N2 (20 kg de N ha<sup>-1</sup> no plantio + 100 kg de N ha<sup>-1</sup> 28 DAE), e dos locais de coleta, linha (L) e entrelinha de plantio (E). Média ± erro, n=3.

De modo geral, os fluxos de C-CO<sub>2</sub> (μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) mensurados em dezembro de 2004, nos tratamentos N1, N2 e controle, foram marcadamente

superiores aos mensurados nas demais fases do desenvolvimento da cultura do milho, sendo os valores incrementados em até quatro vezes (Tabela 1.3).

**Tabela 1.3.** Valores de fluxo de C-CO<sub>2</sub> mensurados nas parcelas experimentais ao longo do período de cultivo do milho. Média ± desvio padrão, n = 3.

Datas das coletas	Tratamentos					
	N0 (L)	N0 (E)	N1 (L)	N1 (E)	N2 (L)	N2 (E)
<b>10/11/04</b>	0,7 ± 0,2 (b)	0,8 ± 0,2 (a)	0,9 ± 0,2 (b)	0,7 ± 0,1 (b)	0,7 ± 0,2 (b)	0,8 ± 0,2 (ab)
<b>13/12/04</b>	1,7 ± 0,1 (a)	1,2 ± 0,1 (a)	2,1 ± 0,2 (a)	1,7 ± 0,2 (a)	1,7 ± 0,1 (a)	1,7 ± 0,3 (a)
<b>25/02/05</b>	0,8 ± 0,0 (b)	0,9 ± 0,2 (a)	0,8 ± 0,1 (b)	1,0 ± 0,2 (ab)	0,8 ± 0,1 (b)	0,7 ± 0,1 (ab)
<b>29/04/05</b>	0,4 ± 0,0 (bc)	0,6 ± 0,1 (a)	0,6 ± 0,1 (b)	0,7 ± 0,1 (b)	0,5 ± 0,0 (b)	0,5 ± 0,1 (b)

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si, Tukey HSD (P < 0,05).

Utilizando-se os modelos de regressão múltipla com *stepwise*, a variável EPPA, na profundidade de 0 a 5 cm, explicou a variação nos fluxos de C-CO<sub>2</sub> no decorrer do período de cultivo do milho em 74% no tratamento N0(L) (P = 0,000 e F = 27,8), em 76% no N1(L) (P = 0,000 e F = 31,70), em 46% no N1(E) (P = 0,030 e F = 6,92), em 44% no N2(L) (P = 0,002 e F = 17,98), e em 55% no tratamento N2(E) (P = 0,009 e F = 11,04). Enquanto que os fluxos de C-CO<sub>2</sub> mensurados na parcela N0(E) durante o período de estudo não foram explicados por nenhuma das variáveis de solo analisadas, umidade, temperatura e disponibilidade de nitrogênio.

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1. Disponibilidade de N e fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O

Em todos os tratamentos e fases de cultivo do milho, mesmo após as fertilizações, os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do solo na profundidade de 0 a 5 cm foram marcadamente superiores aos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Em geral, os Latossolos na região do Cerrado apresentam baixa disponibilidade de N e baixas taxas de nitrificação (Nardoto e Bustamante, 2003), resultando em predomínio de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e só raramente a produção de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> excede a demanda dos microrganismos e raízes. De acordo com Dynia e Camargo (1999), na camada superficial do solo (0 a 5 cm) há um

predomínio de carga líquida negativa em função do maior acúmulo de matéria orgânica, e sob precipitação pluviométrica ou irrigação há um aumento na perda de  $\text{N-NO}_3^-$  por lixiviação em função de sua alta solubilidade em água. Decorridas três ou quatro semanas após a fertilização, o conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  das camadas superficiais do solo declina rapidamente acumulando nas camadas inferiores (Chikowo et al., 2004). Dessa forma, na profundidade de solo (0 a 5 cm) estudada neste trabalho a forma de nitrogênio amoniacal predominou, com picos definidos após fertilização química com N, e a forma nítrica foi reduzida em todos os tratamentos após o plantio e ao longo do período de cultivo.

Nesse estudo, em todos os tratamentos, os maiores valores de  $\text{N-NO}_3^-$  foram determinados um dia após o plantio com fertilização no sulco e provavelmente ocorreram como resultado da mineralização da palhada de *Brachiaria* dessecada 25 dias antes do plantio do milho. No decorrer do período de cultivo do milho, a maior demanda das plantas e a redução no volume da palhada, provavelmente induziu a uma diminuição do N proveniente da mineralização da matéria orgânica e a valores de  $\text{N-NO}_3^-$  gradativamente menores.

Na coleta de dados realizada um dia após o plantio com fertilização nitrogenada no sulco, o acréscimo de nitrogênio no solo via fertilização na linha de plantio com uréia nos tratamentos N1 e N2 ( $20 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) não refletiu em incremento nos fluxos de N-NO mesmo com condições favoráveis de EPPA, cujo valor médio foi 49,9 %. No entanto, as concentrações de  $\text{N-NH}_4^+$  registradas na linha de plantio das parcelas submetidas aos tratamentos N1 e N2 foram maiores em relação à entrelinha nos mesmos tratamentos e também em relação às parcelas controle.

Os picos de emissão de N-NO e N-N<sub>2</sub>O mensurados nos tratamentos N1(L e E) e N2(L e E), na coleta de dezembro, realizada quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura, estão relacionados a condições favoráveis de EPPA (média = 63,23%) associada a maior disponibilidade de N inorgânico ( $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ ) no solo em decorrência da aplicação de uréia em cobertura,  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  no tratamento N1 e  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  no N2. Os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$  das amostras de solos coletadas nas parcelas N1(L e E) e N2(L e E), quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura, foram maiores que os medidos nas amostras coletadas na parcela N0(L e E). A disponibilidade de  $\text{N-NH}_4^+$  explicou em grande parte os fluxos de N-NO nos tratamentos N1(L e E) e N2(L e E). Davidson et al. (1993), esclarecem que a faixa de EPPA entre 55% e 65%, aproximadamente,

favorece a produção e difusão tanto de NO quanto de N<sub>2</sub>O, sendo a proporção entre eles determinada por outros fatores ambientais. No entanto, os estudos realizados por Chikowo et al. (2004), em solos arenosos cultivados com milho no Zimbábue, concluíram que as emissões de N-N<sub>2</sub>O foram correlacionadas com a disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> da camada superior ( $R^2 = 0,62$ ) e não com EPPA.

Os resultados de fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O encontrados nesse trabalho estão de acordo com pesquisas desenvolvidas em diversas condições ambientais e tipos de solos que tem demonstrado o efeito da fertilização nitrogenada sobre os fluxos de N-NO (Skiba et al, 1993; Skiba et al, 1997; Hou et al., 2000; Carvalho et al., 2006) e N-N<sub>2</sub>O (Hellebrand et al., 2003; Chikowo et al., 2004).

Outro fator que deve ser considerado na emissão de N-NO e N-N<sub>2</sub>O é a forma química na qual o N é adicionado ao solo via fertilização. A uréia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado pelos agricultores do Centro-Oeste do Brasil por ser uma fonte de N barata em relação à outras. O N orgânico da uréia é mineralizado rapidamente em horas ou poucos dias dependendo das condições de umidade do solo e da atmosfera. Veldkamp e Keller (1997), avaliaram 23 estudos sobre emissão de NO após fertilização nitrogenada, em condição de clima temperado, e concluíram que os maiores fluxos de N-NO foram registrados após fertilização com uréia, mais que as formas contendo nitrato e amônio.

Na coleta realizada quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura, os maiores fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O foram medidos na linha de plantio das parcelas N1 e N2, e provavelmente estão relacionados à forma como o fertilizante é adicionado ao solo. Para a cultura do milho, a recomendação agrônômica é que nas fertilizações em cobertura o fertilizante seja adicionado de forma localizada em uma linha paralela à linha de plantio, e, assim foi realizado no presente experimento.

Embora Veldkamp e Keller (1997), tenham concluído que a emissão de N-NO é linearmente proporcional a quantidade de fertilizante nitrogenado aplicada ( $R^2 = 0,64$ ), no presente estudo não foram apresentadas diferenças entre os fluxos de NO e N<sub>2</sub>O mensurados quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura nos tratamentos N1 (50 kg N ha<sup>-1</sup>) e N2 (100 kg N ha<sup>-1</sup>), nos dois tratamentos alocados nas subparcelas (linha e entrelinha de plantio). Condições de saturação do sistema após aplicação suplementar de N via fertilização são explicadas por Erickson et al. (2001 e 2002), que associam as altas taxas de nitrificação e as perdas de N à saturação do ecossistema em relação a esse nutriente. É possível que outros fatores

tenham limitado as populações de bactérias nitrificadoras mesmo no ambiente com alto suprimento de N.

Em fevereiro, durante a fase de enchimento dos grãos, e em abril, nove dias após a colheita, os valores reduzidos de fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O são uma resposta a baixa disponibilidade de N mineral no solo que, quando não limita a atividade biológica, é suficiente apenas para suprir a demanda das plantas de milho na fase de enchimento dos grãos e das populações de microrganismos, com elevada taxa de imobilização. Embora as percentagens de EPPA registradas nas coletas de fevereiro e abril (39,8% e 32,0%, respectivamente) estivessem dentro da faixa descrita por Davidson et al. (2000) para a produção de N-NO, se colocavam como fator limitante para a produção de N-N<sub>2</sub>O por restringirem a formação de sítios de anaerobiose.

Não foram registrados aumentos nos fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O no final do ciclo de cultivo do milho, 9 dias após a colheita, mas observou-se uma tendência a maior concentração de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas amostras de solos coletadas na linha de plantio em todos os tratamentos (N0, N1 e N2). É possível que a senescência das raízes das plantas de milho tenha contribuído para o incremento de N na forma de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na linha de plantio. Durante a mineralização de compostos orgânicos nitrogenados uma parte do N é liberada no meio na forma de amônia, que solubiliza em água formando íons amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ou, em condições de aerobiose, é microbiologicamente oxidada até nitrato pelo processo de nitrificação (Vargas e Hungria, 1997).

Estudos indicam que os fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O podem estar correlacionados com a temperatura, por favorecer a atividade microbiana em uma faixa intermediária (Hellebrand et al., 2003; Passianoto et al., 2004), enquanto que a biomassa microbiana tem sido apontada como importante mediador de processos fundamentais e parâmetro para avaliação de alterações nos estoques de C e N em solos nativos e agrícolas (Vargas e Scholles, 2000; Matsuoka et al., 2003). No entanto, as variáveis de temperatura do solo e do ar no interior da câmara, e o conteúdo de carbono da biomassa microbiana, avaliadas nesse trabalho, variaram pouco no decorrer do período de cultivo do milho, por isso não explicaram o comportamento dos fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O em nenhuma das possíveis combinações analisadas nos modelos de regressão múltipla.

## 6.2. Fluxos de CO<sub>2</sub>

Ao longo do período de cultivo do milho, o comportamento da respiração do solo, determinada pela atividade de raízes e de microrganismos (Cattani et al., 2002), foi definido principalmente pela variável explicativa EPPA. No entanto, outros fatores como temperatura e disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo têm sido identificados como controladores dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera (Carvalho, 2005).

Condições favoráveis de EPPA determinaram incremento nos fluxos de C-CO<sub>2</sub> mensurados na coleta de dezembro, 4 dias após a 2<sup>a</sup> fertilização nitrogenada, tanto nos tratamentos N1 (L e E) e N2(L e E) quanto no tratamento N0(L), que foram marcadamente superiores aos mensurados nas demais fases da cultura. Na referida coleta, a maior atividade respiratória das raízes das plantas de milho 28 DAE pode ter favorecido a emissão de fluxos de C-CO<sub>2</sub> maiores na linha de plantio, inclusive nas parcelas que não receberam adição de N via fertilização, refletindo predominantemente o componente autotrófico da respiração do solo. Apenas nas parcelas do tratamento N0(E) os fluxos de C-CO<sub>2</sub> mensurados quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura não diferiram estatisticamente entre as demais fases da cultura e provavelmente refletiu predominantemente o componente heterotrófico da respiração do solo.

Além das condições favoráveis de EPPA, outro fator que provavelmente determinou o incremento nos fluxos de C-CO<sub>2</sub>, nos tratamentos N1(L e E) e N2(L e E), quatro dias após a fertilização nitrogenada em cobertura foi a maior disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo. É provável que a maior disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo tenha estimulado a absorção de N após período de limitação e, como conseqüência, incrementado a atividade respiratória das raízes e da biota do solo. Carvalho (2005), destaca que a disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> explicou 66 % dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> em solos de cerrado cultivados com milho associado a mucuna-cinza com incorporação dos resíduos.

Nas coletas de novembro, fevereiro e abril, que correspondem as fases de um dia após o plantio com fertilização nitrogenada no sulco, enchimento dos grãos e nove dias após a colheita, foram registrados fluxos baixos de C-CO<sub>2</sub> (0,4 a 1,0 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), comparáveis aos registrados durante a estação seca em áreas sob vegetação nativa de cerrado (Pinto et al., 2002; Varella et al., 2004). Os fluxos de C-CO<sub>2</sub> mensurados em novembro ocorreram como produto da atividade microbiológica

de decomposição da palhada e não da atividade respiratória de raízes, já que a medida foi realizada um dia após o plantio. Nas coletas de fevereiro e abril a emissão dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> provavelmente foi limitada pela baixa disponibilidade de N no solo.

## 7. CONCLUSÕES

*Quanto aos efeitos da adubação nitrogenada, dos locais (linha e entrelinha de plantio) e das variáveis ambientais sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio no cultivo experimental de milho, conclui-se:*

1. A adição de 20 kg de N ha<sup>-1</sup>, na forma de uréia, na linha de plantio do milho, não foi suficiente para incrementar os fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O em relação ao controle, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio.
2. A adição de 50 e 100 kg N ha<sup>-1</sup> no solo via fertilização em cobertura com uréia, 28 DAE, incrementou os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e induziu os picos de emissão nos fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O, especialmente na linha de cultivo. No entanto, ao contrário do previsto, os picos de emissão não foram proporcionais às doses de nitrogênio adicionadas.
3. Ao longo do período de cultivo do milho, a disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> explicou os fluxos de N-NO nos tratamentos N1(linha e entrelinha) e N2(linha e entrelinha). Enquanto que, as variáveis analisadas não explicaram os fluxos de N-N<sub>2</sub>O em nenhum dos tratamentos testados.

*Com relação aos efeitos da adubação nitrogenada, dos locais (linha e entrelinha de plantio) e das variáveis ambientais sobre os fluxos CO<sub>2</sub> no cultivo experimental de milho, conclui-se:*

4. A adição de uréia, 20 kg de N ha<sup>-1</sup> na linha de plantio e de 50 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup> em cobertura, não foi suficiente para incrementar a respiração do solo, nem na linha e nem na entrelinha de plantio.

5. Os maiores fluxos de C-CO<sub>2</sub>, mensurados em dezembro, 28 DAE, tanto nas parcelas controle quanto nas que receberam os tratamentos N1 e N2 (50 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup>), ocorreram principalmente como resposta à condição favorável de EPPA. Os maiores fluxos de C-CO<sub>2</sub> mensurados nos tratamentos N1 e N2 foram determinados também pela maior disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, J. P.; Domsch, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 10, p. 215-221. 1978.

Carvalho, A. Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição de resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases. *Tese de Doutorado*. Brasília-DF. 199 p., 2005.

Carvalho, A. M. de; Bustamente, M. M. C.; Kozovits, A. R.; Miranda, L. N. de; Vivaldi, L. J.; Sousa, D. M. de. Emissão de óxidos de nitrogênio associada à aplicação de uréia sob plantio convencional e direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 41, n. 4, p. 679-685, 2006.

Cattani, J. H.; Davidson, E. A.; Nepstad, D. C.; Verchot, L. V.; Alckerman, I. L. Unexpected results of a pilot throughfall exclusion experiment on soil emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and NO in eastern Amazonia. *Biology Fertility Soils*. v. 36, p. 102-108, 2002.

Chikowo, R.; Mapfumo, P.; Nyamugafata, P.; Giller, K. E. Mineral N dynamics, leaching and nitrous oxide losses under maize following two-year improved fallows on a sandy loam soils in Zimbabwe. *Plant and Soil*. v.259, p. 315-330, 2004.

Davidson, E. A.; Keller, M.; Erickson, H. E.; Verchot, L. V.; Valdcamp, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. *BioScience*. v. 50, n. 8, p.667-680, 2000.

Davidson, E. A.; Matson, P. M.; Vitousek, R.; Riley, R.; Dunkin, K; Garcia-Mendez, G.; Maass, J. M. Processes regulating soil emissions of NO and N<sub>2</sub>O in a seasonally dry tropical forest. *Ecology*. v. 74, p. 130-139,1993.

Dynia, J. F.; Camargo, O. A. Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 34, n. 1, p. 141-144, 1999.

Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 412 p., 1999.

Erickson, H. E.; Keller, M.; Davidson, E. A. Nitrogen oxide fluxes and nitrogen cycling during postagricultural succession and forest fertilization in the humid tropics. *Ecosystems*. v. 4, 67-84, 2001.

Erickson, H. E.; Davidson, E. A.; Keller, M. Former land-user and tree species affect nitrogen oxide emissions from a tropical dry forest. *Oecologia*. v. 130, 297-308, 2002.

Hellebrand, H. J.; Kern, J.; Scholz, V. Long-term studies on greenhouse gas fluxes during cultivation of energy crops on sandy soils. *Atmospheric Environment*. v. 37, p. 1635-1644, 2003.

Hou, A.; Akiyama, H.; Nakajima, Y.; Sudo, S.; Tsuruta, H. Effects of urea forma and soil moisture on N<sub>2</sub>O and No emissions from Japanese Andosols. *Chemosphere – Global Change Science*. v. 2, p. 321-327, 2000.

Jenkinson, D. S.; Powlson, D. S. The effects of Biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 8, n. 3, p.209-213, 1976.

Klink, C. A.; Machado, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*. v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

Lilienfein, J.; Wilcke, W.; Vilela, L.; Ayarza, S. Do C. L.; Zech, W. Soil fertility under native cerrado and pasture in the Brazilian savanna. *Soil Science Society American Journal*. v. 67, p. 1195-1205, 2003.

Linn, D. M.; Doran, J. W. Effects of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal*. v. 48, p. 1267-1272, 1984.

Maltas, A. Analyse par experimentation et modelisation de la dynamique de l'azote dans les systemes sous semis direct avec couverture vegetale des cerrados bresiliens. *Tese de Doutorado*. Montpellier-Fr. 223 p., 2007.

Matsuoka, M.; Mendes, I. C.; Loureiro, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. v. 27, p. 425-433, 2003.

Meier, M. Nitratbestimmung in Boden-proden (N-min-Methode). *Labor Praxis* – abril:244-247 p., 1991.

Nardoto, G. B.; Bustamante, M. M. C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 38, p. 955-962, 2003.

Passianoto, C. C.; Ahrens, T.; Feigl, B; Steudler, A.; Melillo, J. M.; do Carmo, J. B. Diurnal changes in nitric oxide emissions from conventional tillage and pasture sites

in the Amazon Basin: influence of soil temperature. *Plant and soil*. n. 258, p. 21-29, 2004.

Pinto, A. S.; Bustamante, M. M. C.; Kisselle, K.; Burke, R.; Zepp, R.; Viana, L. T.; Varella, R. F.; Molina, M. Soil emissions of N<sub>2</sub>O, NO and CO<sub>2</sub> in Brazilian savannas: effects of vegetation type, seasonality, and prescribe fire. *Journal of geophysical research*. v. 107, n. D20, p. 57-1/9, 2002.

Skiba, U.; Smith, K. A.; Fowler, D. Nitrification and denitrification as sources of nitric oxide and nitrous oxide in sandy loam soil. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 25, p. 1527-1536, 1993.

Skiba, U.; Fowler, D.; Smith, K. A. Nitric oxide emissions from agricultural soils in temperate and tropical climates: sources, controls and mitigation options. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. v. 48, p. 139-153, 1997.

Souza, L. C. F.; Gonçalves, M. C.; Sobrinho, T. A.; Fedatto, E.; Zanon, G. D.; Hasegawa, E. K. B. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade de milho em plantio direto irrigado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. v. 2, p. 55-62, 2003.

Veldkamp, E.; Keller, M. Fertilizer-induced nitric oxide emissions from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. v. 48, p. 69-77, 1997.

Varella, R. F.; Bustamante, M. M. C.; Pinto, A. S.; Kisselle, K. W.; Santos, R. V.; Burke, R. A.; Zepp, R. G.; Viana, L. T. Soil fluxes of CO<sub>2</sub>, CO, NO, and N<sub>2</sub>O from an old pasture and from native savanna in Brazil. *Ecological Society of America*. v. 14, n. 4, p. s221-s231, 2004.

Vargas, L. K.; Scholles, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. v. 24, p. 35-42, 2000.

Vargas, M. A. T.; Hungria, M. *Biologia dos solos dos cerrados*. EMBRAPA-CPAC/Planaltina-DF, 243 p., 1997.

Webb, J.; Ellis, S.; Harrison, R.; Thorman, R. Measurement of N fluxes and soil N in two arable soils in the UK. *Plant and Soil*. v. 260, p. 253-270, 2004.

### EMISSÕES DE NO, N<sub>2</sub>O E CO<sub>2</sub> EM LATOSSOLO DE CERRADO SOB CULTIVO NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL.

#### 1. INTRODUÇÃO

Os Cerrados do Brasil Central foram foco da expansão agrícola intensa desde os anos 1970. Atualmente, cerca de 60% do Cerrado nativo foi convertido para uso agrícola (Klink & Machado, 2005). Embora a pecuária ainda seja o principal uso da terra na região, a expansão da agricultura tem ocorrido continuamente, especialmente o cultivo da soja e do milho. Nos últimos anos, essa expansão foi parcialmente motivada pelo rápido desenvolvimento da indústria dos biocombustíveis e crescente demanda dos países emergentes que conduziu ao aumento de preços das commodities.

O Brasil produz 20% da soja do mundo e o Cerrado é a principal região produtora. Este processo foi possível devido ao relevo suave da região, que favoreceu agricultura mecanizada, e ao desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições de solos e clima. No caso da soja, o nitrogênio é obtido a partir de fixação biológica do N<sub>2</sub> (FBN), o que a torna economicamente vantajosa (Alves et al., 2003). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho. A produtividade das lavouras de milho vem aumentando sistematicamente (de 1,9 em 1990 para 3,3 t ha<sup>-1</sup> em 2004) com a utilização de variedades híbridas melhoradas e alto consumo de insumos especialmente fertilizantes nitrogenados. O feijão não é um produto relevante para a exportação, mas é a principal fonte de proteínas para a classe da população brasileira menos privilegiada. Embora Vargas et al., (2000) tenham demonstrado que para algumas cultivares de feijão a FBN é eficiente, refletindo em ganhos de produtividade, os agricultores da região de Cristalina-GO, onde o presente estudo foi desenvolvido, optam pela fertilização nitrogenada por observarem que os tipos de feijão utilizados por eles, a exemplo do Preto, não possuem produtividade satisfatória com a FBN. A área cultivada com algodão na região do Cerrado aumentou duas vezes na última década (de 3.395 ha em 1996-

1997 para 6.939 ha em 2006-2007). Atualmente ocupa a quarta posição em área cultivada, só perdendo para a soja, o milho e o feijão. A produção do algodão em pluma passou de 568.000 toneladas em 1996-1997 para 2.233.000 toneladas em 2004-2005 e a produtividade de 1.230 para 3.147 kg ha<sup>-1</sup> (www.conab.gov.br).

A rápida expansão da agricultura na região do Cerrado foi acompanhada por desmatamento, uso intensivo de fertilizantes, irrigação e outras práticas de manejo relacionadas à alterações substanciais nos ciclos biogeoquímicos. Práticas agrícolas têm sido conhecidas por afetar as taxas de emissão de gases traço do solo para a atmosfera (Jambert et al., 1997; Sitaula et al., 2000; Akiyama et al., 2000; Giacomini et al., 2006) e alguns deles têm importantes efeitos sobre a atmosfera. NO é um componente do *smog* fotoquímico, e na troposfera participa de reações fotoquímicas que produzem ozônio, um gás de efeito de estufa (Crutzen, 1979). Na troposfera N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> são gases de efeito de estufa. Na estratosfera, a fotólise do N<sub>2</sub>O é a fonte primária de NO, e também participa das reações de destruição da camada de ozônio. NO e N<sub>2</sub>O são formados através dos processos microbiológicos de nitrificação e (Davidson et al., 1993; Davidson et al., 2000). As emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera a partir de solo ocorrem como consequência da atividade respiratória dos microrganismos e das raízes. A produção e emissão de NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> do solo são resultado da mineralização da matéria orgânica e dependem de fatores ambientais favoráveis, como disponibilidade de N inorgânico, temperatura, umidade do solo e uso da terra (Hall et al., 1996). Em solos cultivados, a produção e emissão de NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> depende também da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados (Carvalho, 2005).

Apesar da intensa mudança no uso da terra na região, existe pouca informação sobre as emissões de gases traço em solos de Cerrado cultivados. Carvalho et al. (2006) encontraram maiores fluxos de NO imediatamente, e três dias depois da adubação nitrogenada e irrigação em cultivo de milho sob preparo convencional e em plantio direto, mas os fluxos de N<sub>2</sub>O foram baixos, próximos ao limite de detecção do equipamento. Baixos fluxos de N<sub>2</sub>O foram mensurados depois da adubação nitrogenada em um solo de cerrado submetido à rotação arroz-*Brachiaria*-soja-*Crotalaria* em sistema de cultivo convencional e em plantio direto por Metay et al. (2007).

## 2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

### 2.1. Objetivos:

1. Avaliar como os diferentes sistemas de cultivo em plantio direto (milho consorciado com *Brachiaria* seguido de feijão irrigado, soja seguido vegetação espontânea e pousio, e algodão sob palhada de *Brachiaria*) afetam as emissões de gases traço (NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>) do solo para a atmosfera, tendo como referência as emissões em um Latossolo sob vegetação de cerrado sentido restrito;
2. Determinar as relações entre os fluxos de NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>, e a umidade do solo, disponibilidade de nitrogênio inorgânico, carbono da biomassa microbiana e temperatura do solo (a 2,5 e 5,0 cm de profundidade), em cada sistema;
3. Avaliar a influência da variação espacial (linha e entrelinha de plantio) nas emissões de NO e CO<sub>2</sub> em Latossolo cultivado com algodão;
4. Estimar a emissão regional de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> e determinar o Fator de Emissão induzida por Fertilizantes Nitrogenados para NO e N<sub>2</sub>O em cada um dos cultivos, milho, feijão irrigado, soja e algodão.

### 2.2. Hipóteses:

*Com relação ao efeito da fertilização nitrogenada no cultivo de milho e de algodão, e da ausência de fertilização no cultivo da soja, sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio foram levantadas as seguintes hipóteses:*

**Hipótese 1.** A entrada de nitrogênio no solo via fertilização associada à ocorrência de chuva durante os cultivos do milho e do algodão eleva os fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O em relação à área nativa, enquanto a ausência de fertilizações nitrogenadas durante o ciclo de cultivo da soja inoculada determina baixos fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O com valores semelhantes aos mensurados em áreas nativas de cerrado.

**Hipótese 2.** Na área do algodão, a disposição localizada dos fertilizantes nitrogenados na linha de cultivo (durante o plantio) ou paralela a ela (durante as fertilizações em cobertura) induz a fluxos de N-NO, sendo os fluxos medidos na linha relativamente maiores que os medidos na entrelinha de plantio.

*Com relação aos efeitos da associação da fertilização nitrogenada e da irrigação durante o período de cultivo do feijão sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio foi levantada a seguinte hipótese:*

**Hipótese 3.** No cultivo do feijão irrigado, a manutenção da umidade do solo na capacidade de campo associada à fertilização nitrogenada determina fluxos de N-NO e, sobretudo, N-N<sub>2</sub>O mais altos.

*Com relação aos efeitos do desenvolvimento das culturas sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio foi levantada a seguinte hipótese:*

**Hipótese 4.** No final dos ciclos das diferentes culturas o aumento na disponibilidade de nitrogênio no solo, decorrente da senescência das raízes e dos nódulos de fixação biológica de nitrogênio, estimula os fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O.

*Com relação aos efeitos da fertilização nitrogenada e das variáveis ambientais sobre os fluxos de C-CO<sub>2</sub> nos cultivos sem irrigação (milho, soja e algodão), foi formulada a seguinte hipótese:*

**Hipótese 5.** O aumento na atividade respiratória de raízes e microrganismos do solo, como consequência da entrada de nutrientes via fertilização, incrementa os fluxos de C-CO<sub>2</sub> nos cultivos sem irrigação (milho, soja e algodão).

*Com relação aos efeitos da fertilização nitrogenada associada à irrigação sobre os fluxos de C-CO<sub>2</sub> no cultivo do feijão irrigado, foi formulada a seguinte hipótese:*

**Hipótese 6.** No cultivo do feijão, a fertilização nitrogenada associada à irrigação induz o incremento dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> em relação ao cerrado.

Com relação ao efeito da linha e entrelinha de plantio e das variáveis ambientais sobre os fluxos de C-CO<sub>2</sub>, foi formulada a seguinte hipótese:

**Hipótese 7.** No cultivo do algodão, fluxos de C-CO<sub>2</sub> relativamente maiores são medidos na linha em relação à entrelinha de plantio como resposta a maior atividade biológica na zona próxima as raízes.

Com relação aos efeitos dos diferentes sistemas de cultivo e históricos de uso do solo sobre os estoques de C e N total no solo foi levantada a seguinte hipótese:

**Hipótese 8.** Em Latossolos sob as condições climáticas do Brasil Central, a substituição da vegetação nativa de Cerrado por sistemas agrícolas sem cultivos de inverno e por sistemas de rotação com culturas irrigadas no inverno induz a perdas no estoque de C e N da camada de 0 a 30 cm.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Áreas de estudo e sistemas de cultivo**

O estudo foi realizado entre agosto de 2003 e agosto de 2005 em duas fazendas comerciais: Fazenda Dom Bosco e Fazenda Pamplona. As Fazendas estão localizadas no município de Cristalina-GO a 826 m altitude.

##### **3.1.1. Fazenda Dom Bosco**

A área total da Fazenda Dom Bosco é 2.999,4 ha, dos quais 201,0 ha estão sob pivô central, 504,0 ha são utilizados para culturas de verão, 1.182,0 ha para pastagem, 28,46 ha para reflorestamento com Pinus e 620 ha são cerrado nativo (Área de Preservação Permanente e Reserva Legal), sendo o restante da área ocupada com benfeitorias. Na Fazenda Dom Bosco o estudo foi realizado em dois sistemas de cultivo sob plantio direto: 1) Milho (*Zea mays* cv. 30k75) consorciado com *Brachiaria brizantha* para produção de palhada seguidos de feijão irrigado (*Phaseolus vulgaris* cv. Negro); 2) Soja (*Glycine max* cv. P98C81 Pioneer) seguido de vegetação espontânea e pousio (sem cobertura vegetal no inverno).

### **Sistema de rotação milho sequeiro-*Brachiaria*-feijão irrigado:**

No sistema de rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado, o milho foi cultivado predominantemente durante a estação chuvosa e o feijão irrigado cultivado durante a estação seca no mesmo ano agrícola. A área de 75 hectares ocupada pelo pivô central foi aberta em 1988 com a derrubada e queima do cerrado para instalação de pastagem. O sistema de rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado sob pivô foi instalado em 1998, após dez anos de cultivo de *Brachiaria* sp.. Antes da instalação da cultura do milho, em setembro de 2003, a *Brachiaria* foi plantada e após alcançar a altura de aproximadamente 1,5 m foi submetida a um breve pastejo para redução do volume e em seguida dessecada com um herbicida de pós-emergência não seletivo cujo princípio ativo é o glifosato (Roundup transorb) para formar palhada para cobertura do solo. No final do ciclo do milho, quando as plantas começaram a secar, a *Brachiaria* cultivada anteriormente rebrotou e após a colheita do milho, em fevereiro de 2004, a *Brachiaria* foi novamente submetida a um breve pastejo para redução do volume e, antes do plantio do feijão irrigado, junho de 2004 foi dessecada com um herbicida de pós-emergência não seletivo cujo princípio ativo é o glifosato (Roundup transorb) para formar palhada. O feijão foi colhido em outubro de 2004. Durante o cultivo do feijão irrigado o intervalo de rega foi de trinta horas e em cada rega eram adicionados seis milímetros de água.

### **Sistema soja-vegetação espontânea-pousio:**

O sistema soja seguido de vegetação espontânea e pousio ocupa uma área de 207 hectares na Fazenda Dom Bosco e foi introduzido em 1977 após a remoção do cerrado nativo usando derrubada com correntão e queima. Em dezembro de 2003 as sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* e plantadas. A colheita ocorreu em abril de 2004. Na área sob cultivo de soja o solo ficou praticamente descoberto de maio a novembro de 2003 devido à rápida decomposição dos resíduos da cultura da soja. As medidas dos fluxos de gases e as coletas de solos foram realizadas no período de setembro de 2003 a abril de 2004.

### **3.1.2. Fazenda Pamplona**

A área total da Fazenda Pamplona é de 14.085,2 ha, dos quais 11.407,7 ha são cultivados e 2.677,5 ha são cerrado nativo. Em 2004-2005, 3.764 ha foram cultivados com algodão para a produção de fibra, cuja produtividade foi alta (cerca de 4,5 t ha<sup>-1</sup>).

#### **Sistema de rotação algodão sobre a palhada de *Brachiaria*-soja (ambos de sequeiro):**

Na Fazenda Pamplona, a área utilizada para esse estudo tem 721 ha e foi aberta em 1980 após a remoção do cerrado nativo usando correntão e queima. Desde então a área é utilizada no sistema de rotação algodão-soja ambos de sequeiro, cultivados em sistema de plantio direto, em anos alternados. No entanto, neste estudo a mensuração dos gases e a coleta de solo abrangeu apenas o período de cultivo com algodão.

O algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* cv. ITA 90-Pioneer) foi cultivado sobre a palhada de *Brachiaria ruziziensis* no período de novembro de 2004 a agosto de 2005. A semeadura da *B. ruziziensis* foi aérea e 20 dias antes da plantação de algodão foi dessecada com herbicida cujo o princípio ativo foi o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (U46DFluid 868/720 CS). No início da floração (março de 2005) foram realizadas duas aplicações de regulador de crescimento cujo princípio ativo foi o cloreto de mepiquat (50 Pix CS) com o objetivo de uniformizar a altura das plantas para favorecer a colheita e melhorar a qualidade das fibras. Com 70% de abertura dos capulhos (maio de 2005) foi feita uma aplicação de desfolhante de contato cujo princípio ativo foi o Carfentrazone-ethyl (Aurora 400 EC).

No ano agrícola anterior a área foi cultivada com soja (novembro de 2003 a abril de 2004) seguida por vegetação espontânea e pousio durante o inverno (maio a outubro de 2004).

### **3.1.3. Manejo das adubações nas Fazendas Dom Bosco e Pamplona:**

O manejo da adubação nas áreas cultivadas das Fazendas Dom Bosco e Pamplona foi representativo da agricultura na região Centro-Oeste. De modo geral,

para a soja apenas uma aplicação de N é realizada em conjunto com a adição de P na linha do plantio, conhecida como adubação de arranque. Para as outras culturas, além da fertilização na linha do plantio, durante o crescimento das culturas são feitas uma (feijão) ou duas (milho e algodão) fertilizações nitrogenadas em cobertura. No presente estudo, duas coberturas com uréia foram realizadas durante o cultivo do feijão irrigado. A segunda cobertura realizada em agosto de 2004 objetivou recuperar as plantas danificadas por causa das baixas temperaturas registradas logo após a primeira adubação. Na área da rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado são adicionados 258 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto na área da soja são adicionados 21,2 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e no algodão 150 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 2.1.).

**Tabela 2.1.** Fertilizações nitrogenadas aplicadas durante o ciclo das culturas nas Fazendas Dom Bosco e Pamplona.

Áreas de estudo (plantio – colheita)	Datas das Aplicações de N	Datas das coletas após fertilização	Período da cultura	N aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	Fonte de N e formas de aplicação
<b>Fazenda Dom Bosco</b>					
<b>Milho</b> (05/09/03 - 17/02/04)	05/09/03	08/09/03	Plantio	33,7	MAP*** (na linha)
	29/09/03	01/10/03	16 DAE*	103,2	Uréia (em cobertura)
	13/10/03	15/10/03	30 DAE*	18,4	Uréia (em cobertura)
<b>Feijão irrigado</b> (11/06/04 – 19/10/04)	18/06/04	19/06/04	Plantio	19,3	MAP*** (na linha)
	21/07/04	23/06/04	33 DAE*	81,0	Uréia (em cobertura)
	04/08/04	06/08/04	47 DAE*	2,4**	Uréia (em cobertura)
<b>Soja</b> (05/12/03 – 24/04/04)	05/12/03	06/12/03	Plantio	21,2	MAP*** (na linha)
<b>Fazenda Pamplona</b>					
<b>Algodão</b> (27/11/04 – 30/07/05)	27/11/04	29/11/04	Plantio	24,0	DAP**** (na linha)
	23/12/04	23/12/04	15 DAE*	36,0	Sulfato de amônio (cobertura)
	25/01/05	28/01/05	45 DAE*	90,0	Uréia (em cobertura)

\* DAE = dias após a emergência

\*\* Fertilização aplicada para recuperar as plantas de feijão prejudicadas pelas baixas temperaturas

\*\*\* MAP = fosfato mono-amônico

\*\*\*\* DAP = fosfato di-amônico

Em virtude das dificuldades operacionais decorrentes da distância entre a Universidade de Brasília e as Fazendas Dom Bosco e Pamplona, não foi possível padronizar o período de coleta após a aplicação do fertilizante. Assim, as coletas foram realizadas um, dois ou três dias após o plantio com fertilização no sulco e quatro horas, um, dois, três ou cinco dias após a fertilização em cobertura.

#### **3.1.4. Áreas nativas de cerrado**

Para efeito de comparação com os sistemas de cultivo estudado, duas áreas de cerrado sentido restrito, classificadas de acordo com Ribeiro e Walter (1998), uma na Fazenda Dom Bosco e outra na Pamplona, foram selecionadas considerando-se a semelhança com o tipo de solo das áreas cultivadas a serem comparadas, e a proximidade a elas, tomando-se cuidado em definir áreas de referência provavelmente livres da interferência das fertilizações aplicadas nas áreas cultivadas adjacentes.

No cerrado da Fazenda Dom Bosco as medições foram realizadas no período de agosto de 2003 a outubro de 2004. Esta área tinha sido protegida do fogo desde 1974 e queimou acidentalmente em outubro de 2004, antes da última coleta. No cerrado da Fazenda Pamplona as medições foram tomadas no período de novembro de 2004 a agosto de 2005. Esta área tinha sido protegida do fogo desde 1994 e queimou acidentalmente em novembro de 2004, antes da primeira coleta.

### **3.2. Características edafo-climáticas**

No Sistema Brasileiro de Taxonomia de Solos (Embrapa 1999) os solos nas duas Fazendas são classificados como Latossolo Vermelho. Os solos cultivados das Fazendas Dom Bosco e Pamplona são ácidos (pH de 5,1 para 5,9), enquanto os solos sob vegetação nativa são muito ácidos (pH de 4,2 a 4,4). A capacidade de troca catiônica (CTC) variou de 8,5 cmolc/dm<sup>3</sup> com uma saturação de bases de 74,3% na área da rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado (Fazenda Dom Bosco) para 10,4 cmolc/dm<sup>3</sup> com uma saturação por bases de 57,7% na área do algodão (Fazenda Pamplona). Os solos sob vegetação nativa, nas duas Fazendas, apresentaram CTC de 9,0 cmolc/dm<sup>3</sup> com uma saturação de bases de 11%.

As densidades aparentes e as porosidades na camada de 0 a 5 cm dos solos submetidos aos diferentes sistemas de cultivo em plantio direto e também nos solos sob vegetação nativa de cerrado das Fazendas Dom Bosco e Pamplona estão apresentadas na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2.** Densidade aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e porosidade total (%) na profundidade de 0 a 5 cm em três Latosolos submetidos a diferentes sistemas de cultivo em plantio direto e dois Latosolos sob vegetação nativa, nas Fazendas Dom Bosco e Pamplona (Cristalina-GO). Médias  $\pm$  erro padrão, n = 20.

Áreas de estudo	Densidade aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Porosidade (%)
<b>Fazenda Dom Bosco</b>		
Cerrado	0,80 $\pm$ 0,05	69,80 $\pm$ 0,19
Rotação milho- <i>Brachiaria</i> -feijão irrigado	0,76 $\pm$ 0,08	71,28 $\pm$ 0,32
Soja-vegetação espontânea-pousio	0,77 $\pm$ 0,05	71,02 $\pm$ 0,22
<b>Fazenda Pamplona</b>		
Cerrado	0,64 $\pm$ 0,07	75,75 $\pm$ 0,27
Algodão sobre <i>Brachiaria</i> -soja	0,76 $\pm$ 0,07	71,48 $\pm$ 0,28

Amostras do solo (0-5 cm) para a determinação da textura foram coletadas em 20 pontos distribuídos aleatoriamente. O teor de argila do solo é alto na área da rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado (48,8%) e muito alto na área da soja (72,2%), no cerrado da Fazenda Dom Bosco (67,8%) e na Fazenda Pamplona, na área do algodão (67,6%) e no cerrado (75,9%). Apesar do elevado teor de argila, todas as áreas apresentam boa drenagem.

A Tabela 2.3 apresenta os teores de areia, silte e argila na camada de 0 a 5 cm dos solos submetidos aos diferentes sistemas de cultivo em plantio direto e também nos solos sob vegetação nativa de cerrado das Fazendas Dom Bosco e Pamplona.

**Tabela 2.3.** Propriedades texturais (médias  $\pm$  erro padrão, n = 20) na profundidade de 0 a 5 cm, em três Latosolos submetidos a diferentes sistemas de cultivo em Plantio direto e dois sob vegetação nativa de cerrado, nas Fazendas Dom Bosco e Pamplona (Cristalina-GO). Médias  $\pm$  erro padrão, n = 20.

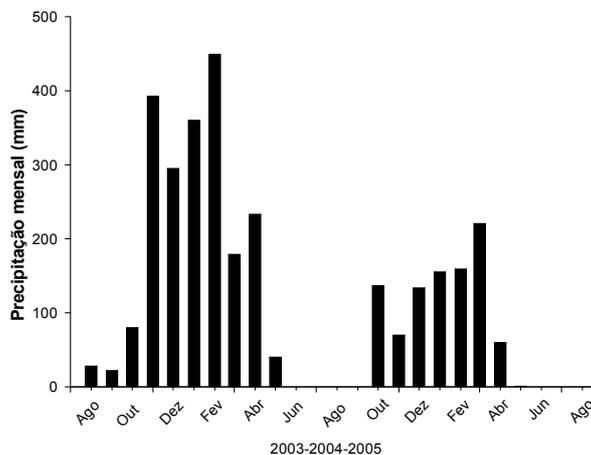
<b>Áreas de estudo</b>	<b>Areia (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila (%)</b>
<b>Fazenda Dom Bosco</b>			
Cerrado	11,9 $\pm$ 0,50	20,26 $\pm$ 0,90	67,79 $\pm$ 0,93
Rotação milho- <i>Brachiaria</i> -feijão irrigado	22,7 $\pm$ 0,98	28,52 $\pm$ 0,62	48,76 $\pm$ 0,92
Soja-vegetação espontânea-pousio	6,35 $\pm$ 0,24	21,41 $\pm$ 1,09	72,24 $\pm$ 1,12
<b>Fazenda Pamplona</b>			
Cerrado	3,70 $\pm$ 0,18	20,45 $\pm$ 0,48	75,85 $\pm$ 0,43
Algodão sobre <i>Brachiaria</i> -soja	5,25 $\pm$ 0,24	27,15 $\pm$ 0,97	67,60 $\pm$ 1,05

O clima é tropical (Aw Köppen), com duas estações bem definidas: seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril), durante a qual 90% da precipitação anual ocorre.

Na Fazenda Dom Bosco os dados de precipitação foram fornecidos diariamente por uma estação pluviométrica localizada na própria Fazenda, enquanto na Fazenda Pamplona os dados de precipitação foram fornecidos quinzenalmente por uma estação pluviométrica também localizada na própria Fazenda. O total de precipitação entre agosto de 2003 a agosto de 2004 foi de 2.078 mm e entre setembro de 2004 a agosto de 2005 foi 1.555 mm distribuídos conforme mostrado na Figura 2.1.

Picos na precipitação foram observados em novembro de 2003 (392,5 mm), dezembro de 2003 (295,0 mm), janeiro de 2004 (360,0 mm) e fevereiro de 2004 (449,0 mm). Em março de 2004 e abril de 2004 a precipitação diminuiu para 179,0 mm e 233,0 mm, respectivamente. A chuva foi bastante reduzida em maio de 2004 (40 mm), coerente com a transição da estação úmida para a seca. De junho de 2004 a setembro de 2004 a precipitação foi zero e em outubro de 2004 a precipitação foi de 136,5 mm, coerente com a transição da estação seca para chuvosa. Durante a

estação chuvosa em 2004-2005 a precipitação mensal foi menor e os picos variaram de 133,5 mm (dezembro de 2004) a 220 mm (março de 2005).



**Figura 2.1.** Precipitação mensal durante o período de estudo na Fazenda Dom Bosco (agosto de 2003 a outubro de 2004) e na Fazenda Pamplona (novembro de 2004 a agosto de 2005), Cristalina-GO.

### 3.3. Delineamento observacional

Em cada área foi selecionada uma parcela de 10 x 15 m para amostragem dos gases traço e coleta de solos. Nas áreas da rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado, soja e algodão, os fluxos de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> foram medidos antes e após o plantio, depois das fertilizações nitrogenadas, durante o crescimento da cultura, e antes e depois da colheita. Na área da soja uma medida também foi tomada durante o pousio (estação seca).

Em cada parcela, os fluxos de N-NO e C-CO<sub>2</sub> foram coletados em três pontos na linha e três pontos na entrelinha de plantio, enquanto os fluxos de N-N<sub>2</sub>O foram coletados em dois pontos na linha e dois pontos na entrelinha de plantio. Nas áreas sob cultivo da Fazenda Dom Bosco consideraram-se seis repetições para os fluxos de N-NO e C-CO<sub>2</sub>, sem distinguir o local de coleta, porque linha e entrelinha não apresentaram diferenças. Na Fazenda Pamplona, os fluxos de N-NO e C-CO<sub>2</sub> medidos na linha e na entrelinha foram diferentes e por isso consideraram-se três

repetições em cada local de coleta. Tanto na Fazenda Dom Bosco quanto na Pamplona, os fluxos de  $N_2O$  medidos na linha não diferiram dos medidos na entrelinha, assim foram coletadas quatro repetições não considerando os locais linha e entrelinha de plantio. Nas áreas de cerrado das duas Fazendas foram coletadas seis repetição de N-NO e C-CO<sub>2</sub> e quatro de N-N<sub>2</sub>O.

Nos cerrados nativos as medidas foram tomadas mensalmente, com exceção dos meses de novembro de 2003 e julho de 2004 devido a problemas técnicos, que também impediram as medições dos fluxos de N-N<sub>2</sub>O em outubro de 2004 (Fazenda Dom Bosco) e novembro de 2004 (Fazenda Pamplona).

Durante as amostragens, nas áreas nativas das Fazendas Dom Bosco e Pamplona as câmaras eram distribuídas de forma aleatória, assim algumas foram alocadas em local com cobertura de espécies lenhosas e outras em local sem cobertura de espécies lenhosas. Adotou-se este procedimento com o objetivo de mensurar as emissões de gases provenientes do sistema, considerando a heterogeneidade do ambiente.

### **3.4. Determinação dos fluxos de gases**

As medidas de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> foram realizadas pelo acúmulo do gás em câmaras de PVC, inseridas no solo numa profundidade de 1 a 2 cm, 30 minutos antes das determinações. As câmaras possuíam formato cilíndrico, com 24,2 cm de diâmetro e 20 cm de altura, volume total de 8,3 L e uma abertura superior que permitia a manutenção da pressão no seu interior durante a coleta dos gases. Os fluxos de N-NO e C-CO<sub>2</sub> foram medidos utilizando a técnica da câmara dinâmica e os fluxos de N-N<sub>2</sub>O foram medidos com a técnica da câmara estática (Matson et al., 1990).

#### **3.4.1. Fluxos de N-NO**

Os fluxos de N-NO dentro das câmaras foram medidos em campo, durante cinco minutos, com auxílio de uma analisador NoxBox – Scintrex LMA-3, associado a um *datalogger*. Os valores de fluxos foram mensurados através de uma reação de quimiluminescência entre o gás e um reagente químico (luminol). A reação química libera fótons proporcionalmente à concentração de NO<sub>2</sub> liberado do solo, por isso foi

necessário fazer a oxidação do NO à NO<sub>2</sub>, forçando a passagem da amostra de ar por uma coluna de óxido de cromo (CrO<sub>3</sub>). Como o detector do aparelho é sensível a baixas concentrações de NO utilizou-se a equação descrita em Pinto et al. (2002). O fluxo de NO do solo foi calculado com base na relação linear entre tempo e concentração do gás dentro da câmara. O instrumento foi calibrado duas vezes por dia, antes e depois das amostragens.

#### **3.4.2. Fluxos de N-N<sub>2</sub>O**

Para a determinação dos fluxos de N-N<sub>2</sub>O, aproximadamente 35 mL de amostras de ar foram coletados nos tempos 0, 10, 20 e 30 minutos após o fechamento da câmara de PVC, em seringas de polipropileno (60 mL) adaptadas com válvula de segurança para evitar perda e contaminação das amostras. Em laboratório as amostras de ar foram analisadas por cromatografia gasosa (Shimadzu GC-14A) com detector por captura de elétrons (63Ni), no máximo 1 dia após a coleta. Os fluxos foram calculados pela regressão linear das concentrações do gás nos tempos observados. O limite de detecção do equipamento (0,6 ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) definida por Verchot et al. (1999), foi considerado neste estudo, porque foram utilizados sistema e métodos semelhantes.

#### **3.4.3. Fluxos de C-CO<sub>2</sub>**

As medidas dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> foram realizadas em campo com um analisador de gás infravermelho e sistema de dados (IRGA - Li-Cor 6200) que detecta a concentração do gás a cada segundo por um período de três minutos. Os valores de fluxos foram calculados por regressão linear entre o tempo e a concentração do gás.

#### **3.5. Determinação das temperaturas do solo (2,5 e 5,0 cm)**

Paralelamente à determinação dos fluxos de gases, com auxílio de termopares, foram tomadas as temperaturas do solo nas profundidades de 2,5 e 5,0 cm.

### 3.6. Coleta de solo

Após a mensuração dos fluxos de gases, amostras de solos para determinação das concentrações de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) e amônio (N-NH<sub>4</sub>), carbono da biomassa microbiana, conteúdo gravimétrico de água, espaço de poros preenchido por água e pH, foram coletadas de dentro das câmaras com tubos de PVC com 5 cm de diâmetro enterrados no solo até 5 cm de profundidade.

Em campo, as amostras destinadas à determinação do conteúdo gravimétrico de água e do espaço de poros preenchido por água eram acondicionadas em latas de alumínio vedadas, enquanto que as destinadas à determinação do N-NO<sub>3</sub> e N-NH<sub>4</sub>, carbono da biomassa microbiana e pH eram acondicionadas em sacos plásticos e imediatamente refrigeradas, permanecendo desta forma até o momento das análises.

### 3.7. Determinação de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) disponíveis no solo

A extração dos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nas amostras de solos foi realizada em 2,0 g de solo fresco, adicionando-se 25 ml de KCl 2,0 M, procedendo-se agitação por 1 hora e filtração em filtro de filtração lenta após *over night*.

A determinação das concentrações de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foi realizada por espectrofotometria. As leituras de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram efetuadas através da passagem direta de luz ultravioleta pelo extrato nos comprimentos de onda: 218, 228, 254 e 280 nm (Meier, 1991). As leituras de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram efetuadas de acordo com o método de nessler, no comprimento de onda 425 nm.

### 3.8. Determinação do carbono da biomassa microbiana

Para a determinação do C da biomassa microbiana utilizou-se o método da fumigação-incubação, proposto por Jenkinson & Powlson (1976). O método estima a biomassa microbiana pela diferença nas taxas de liberação do C-CO<sub>2</sub> entre amostras de solo fumigadas e não fumigadas com clorfórmio.

Após peneiradas em malha de 2 mm, realizava-se o ajuste do conteúdo de água das amostras para 100% da capacidade de campo (45% do conteúdo

gravimétrico de água). Em seguida, as amostras eram acondicionadas por sete dias, quando então, metade das amostras, eram submetidas à fumigação com clorofórmio livre de álcool e a outra metade mantida sem fumigação. Após fumigação, todas as amostras foram incubadas por 10 dias em frascos de vidro hermeticamente fechados contendo 10 mL de KOH 0,3N. A quantidade de C-CO<sub>2</sub> liberada das amostras (fumigadas e não fumigadas) era capturada pelo KOH e determinada através de titulação com HCl 0,1M, utilizando-se fenolftaleína como indicador.

Para o cálculo do C da biomassa microbiana utilizou-se uma constante K<sub>c</sub>=0,41 (Anderson e Domsch, 1978), a qual considera que 41% do C da biomassa microbiana foi mineralizado durante o período de incubação.

### 3.9. Determinação do Espaço de Poros Preenchido por Água (EPPA)

Nas amostras de solos, o teor gravimétrico de água foi determinado pela diferença entre o peso fresco e o peso seco do solo, após ter permanecido em estufa a 105° C até peso constante. Os valores dos teores gravimétricos de água foram convertidos em EPPA (%) através da fórmula descrita por Linn & Doran (1984):

EPPA % =  $(\theta_g \times d_a \times 100 \%) / [1 - (d_a/d_p)]$ , onde:

$\theta_g$  = teor gravimétrico de água na amostra de solo

$d_a$  = densidade aparente do solo

$d_p$  = densidade de partículas (2,65 g cm<sup>-3</sup>)

A densidade aparente do solo na camada de 0 a 5 cm variou entre as áreas estudadas: rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado ( $d_a = 0,76$  g cm<sup>-3</sup>), soja ( $d_a = 0,77$  g cm<sup>-3</sup>), cerrado da Fazenda Dom Bosco ( $d_a = 0,80$  g cm<sup>-3</sup>), algodão ( $d_a = 0,76$  g cm<sup>-3</sup>), cerrado da Fazenda Pamplona ( $d_a = 0,64$  g cm<sup>-3</sup>).

### 3.10. Estoque de C e N do solo

Para a determinação dos estoques de C e N do solo foram abertas três trincheiras alocadas aleatoriamente nas áreas de estudo, onde procedeu-se a coleta de amostras de solo nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.

Os teores de matéria orgânica e nitrogênio total em cada camada foram determinados pelo Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Vegetal da Campo Centro de Análises Agrícolas que detém classificação de qualidade “A” na avaliação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solo e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) através do ensaio de proficiência para laboratório de análise de solos para fins agrícolas, bem como na avaliação da EMBRAPA/Centro de Pesquisa de Solos através do seu Programa de Controle de Qualidade em Laboratórios de Fertilidade.

A determinação da matéria orgânica do solo foi realizada pelo método da oxidação via úmida pelo dicromato de potássio em meio ácido e determinado por titulação volumétrica na presença de indicador. Considerou-se que a matéria orgânica contém 58 % de C. Dessa forma, os valores de matéria orgânica foram convertidos em C orgânico dividindo-se pelo fator 1,72.

A determinação do N total nas amostras de solo foi realizada utilizando-se o método micro Kjeldahl com digestão ácida seguida de destilação e determinação do N presente no solo por titulação colorimétrica.

Os estoques de C e N foram calculados a partir das concentrações de C e N, e densidade aparente do solo. As amostras de solo para determinação das densidades aparente em cada uma das camadas foram coletadas com anel volumétrico e em seguida secas a 105 °C até peso constante.

Considerou-se que a densidade aparente poderia ter sido alterada após a conversão do cerrado em sistemas agrícolas e que erros na estimativa do estoque de C e N poderiam ocorrer quando a amostragem é baseada em uma profundidade fixa, sendo necessário ajustar as massas de solos cultivados, tendo como referência a massa de um solo nativo (Davidson and Ackerman, 1993; Veldkamp, 1994; Neill et al., 1997). Nesse estudo, foi necessário proceder a correção da massa do solo apenas na área submetida ao sistema de rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado, pois os valores de densidade aparente diferiram significativamente em relação ao solo sob vegetação nativa de cerrado.

#### **4. Análise estatística**

Os dados foram analisados estatisticamente com auxílio do programa SPSS versão 13.0 para Windows, admitindo-se  $P = 0,05$ .

Testou-se a normalidade dos dados através do teste Kolmogorov-Smirnov. Existindo normalidade, os dados foram submetidos ao teste de Tukey. Quando a distribuição dos dados diferiu significativamente da distribuição normal, os dados foram submetidos à comparação múltipla não paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis e para determinar as diferenças utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney.

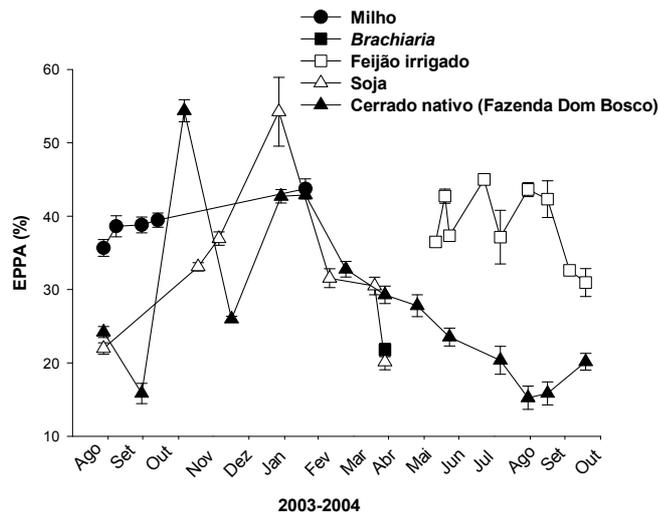
Os fluxos de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub>, foram relacionados às variáveis explicativas (temperatura do solo nas profundidades 2,5 e 5,0 cm, espaço de poros preenchido por água, carbono da biomassa microbiana, teor de N-NO<sub>3</sub><sup>+</sup> e de N-NH<sub>4</sub><sup>-</sup>) através dos modelos lineares de regressão múltipla, testando-se a magnitude da influência das variáveis explicativas pelo procedimento *stepwise*. Para evitar a colinearidade na análise de regressão, utilizou-se apenas uma variável para cada parâmetro estudado (temperatura, umidade e teor de N disponível), em todas as combinações possíveis.

### **5. RESULTADOS**

#### **5.1. Fazenda Dom Bosco: rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado e soja**

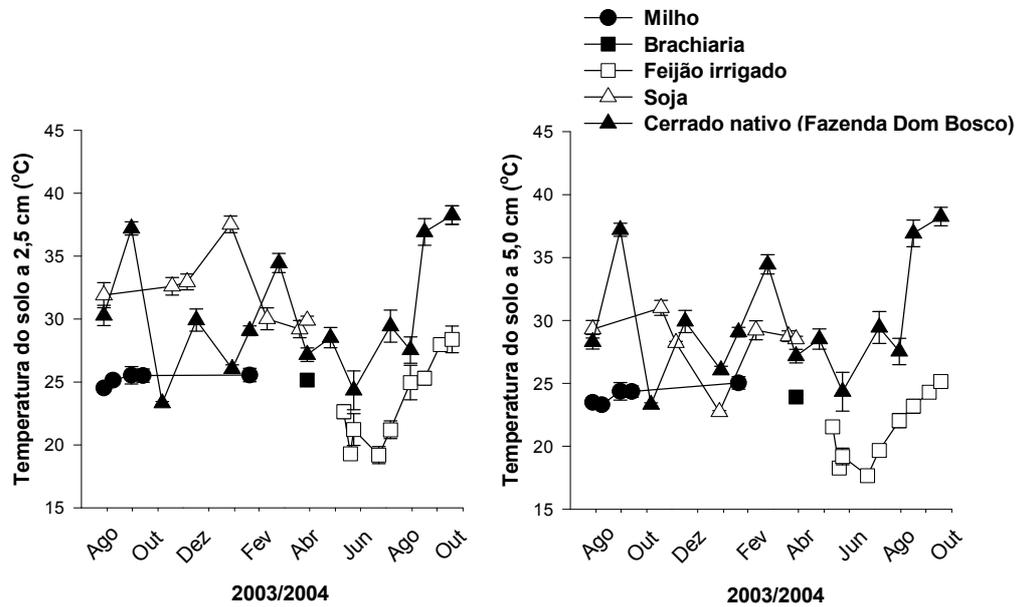
##### **5.1.1. Variações de umidade e temperatura do solo**

A umidade do solo durante o cultivo de feijão foi resultado da irrigação. Os valores de EPPA medidos no solo cultivado com feijão irrigado variaram de 31% (outubro de 2004) a 45% (julho de 2004), enquanto que no cerrado nativo variaram entre 15,2% (agosto de 2004) e 23,5% (junho de 2004). Nos cultivos do milho e da soja, e na área nativa de cerrado a umidade do solo foi resultado da distribuição sazonal das chuvas. Os valores mais altos de EPPA na camada de 0 a 5 cm de profundidade, em cada área foram: cerca de 43% em fevereiro de 2004 no milho e no cerrado e cerca de 54% em janeiro de 2004 na soja (Figura 2.2).



**Figura 2.2.** Espaço de poros Preenchido por Água (%) na profundidade de 0 a 5 cm em Latossolo sob sistemas de cultivo (rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado e soja) e cerrado nativo. Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO (agosto de 2003 a outubro de 2004).

Durante o período de estudo as temperaturas do solo variaram com as diferentes coberturas vegetais (Figura 2.3.).

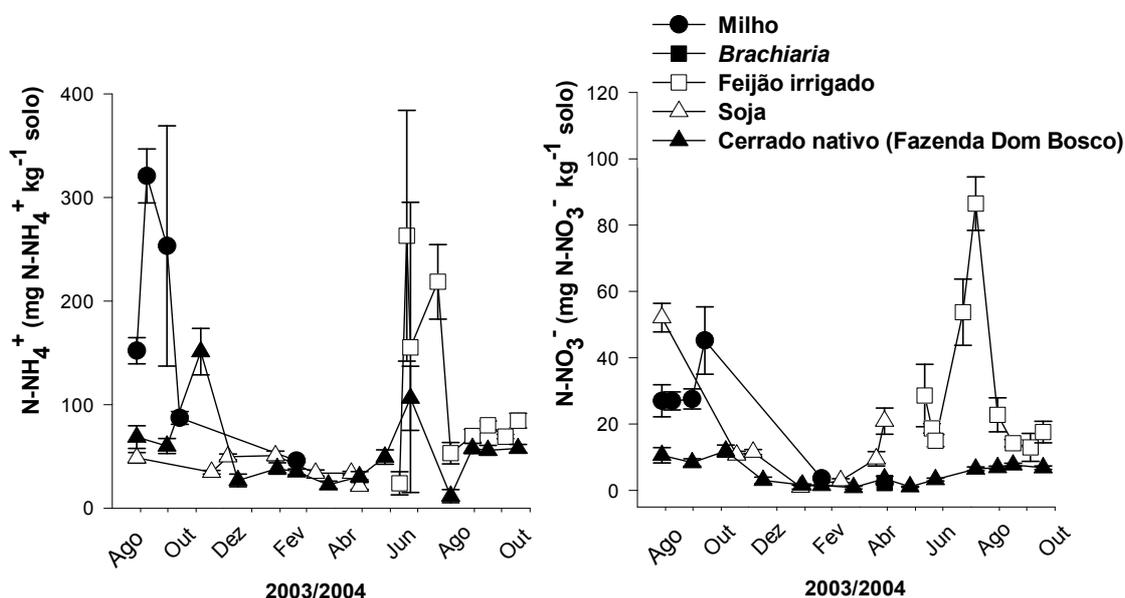


**Figura 2.3.** Temperaturas do solo nas profundidades de 2,5 e 5,0 cm em Latossolo sob sistemas de cultivo (rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado e soja) e cerrado nativo. Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO (agosto de 2003 a outubro de 2004).

As temperaturas do solo foram mais elevadas na área da soja e no cerrado nativo. Na soja a temperatura do solo a 2,5 cm de profundidade variou de 29,2 a 37,5 °C, e à 5,0 cm de profundidade de 22,7 a 31,0 °C. No cerrado nativo a temperatura do solo a 2,5 cm de profundidade variou de 23,3 a 38,2 °C e a 5,0 cm variou de 22,0 para 34,2 °C. No solo sob rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado as temperaturas do solo foram menores e variaram de 19,2 a 28,4 °C na profundidade de 2,5 cm e de 17,7 a 25,0 °C na profundidade de 5,0 cm.

### 5.1.2. Variações no N disponível e C da biomassa microbiana do solo

A concentração de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na profundidade de 0 a 5 cm do solo de cerrado variou de 0,8 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> solo (estação chuvosa) a 11,8 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> solo (estação seca). Picos nas concentrações de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram registrados em novembro de 2003 (151,1 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo) e em junho de 2004 (106,1 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo), enquanto que no decorrer dos outros meses as concentrações variaram de 11,7 a 68,7 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo (Figura 2.4.).



**Figura 2.4.** Disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> solo) e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo) na profundidade de 0 a 5 cm em Latossolo sob sistemas de cultivo (rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado e soja) e cerrado nativo. Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO (agosto de 2003 a outubro de 2004).

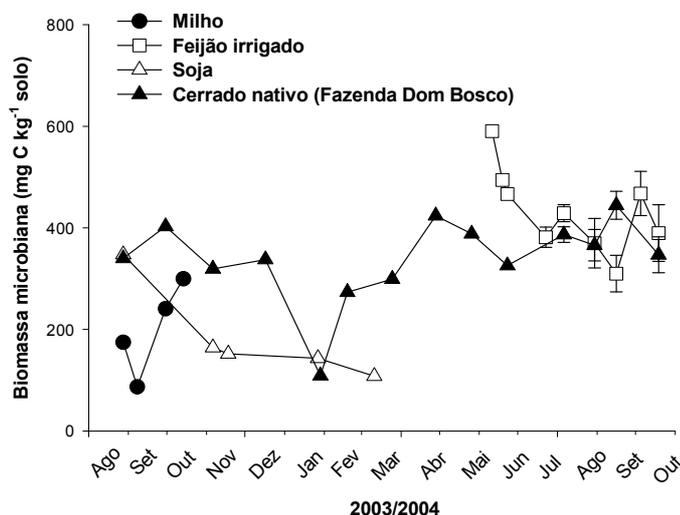
Na cultura da soja, durante o período de pousio (setembro de 2003) e após os primeiros eventos de chuvas, a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  foi de  $52,0 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo. Concentrações mais baixas (cerca de 1 a  $3 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo) foram medidas durante o período de crescimento vegetativo intenso (janeiro a março de 2004), e nas fases de pré e pós colheita (abril de 2004) os valores de  $\text{N-NO}_3^-$  aumentaram novamente ( $21 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo). Ao longo do período de cultivo da soja, a disponibilidade de  $\text{N-NH}_4^+$  variou de  $21,3$  a  $50,7 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo.

Antes do plantio do milho (agosto de 2003) a concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo foi de  $152,1 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo. Um aumento na concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  ( $320,7 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo) ocorreu em setembro de 2003 três dias após o plantio com adubação na linha ( $33,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  na forma de fosfato mono-amônico). No entanto, a concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  diminuiu em outubro de 2003 ( $87,2 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo), um dia depois da segunda fertilização nitrogenada em cobertura, e em fevereiro de 2004 ( $46 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo), dois dias após a colheita. Durante o cultivo da *Brachiaria* (abril de 2004) e na fase de pré-plantio do feijão irrigado (junho de 2004) a concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  foi de cerca de  $23 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo. Em junho de 2004, dois dias após o plantio do feijão irrigado, registrou-se um incremento na concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  ( $263,1 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo). No feijão irrigado, a concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  permaneceu elevada até dois dias após a primeira fertilização nitrogenada em cobertura (julho de 2004,  $218,6 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo), mas foi reduzida dois dias após a segunda fertilização nitrogenada em cobertura (agosto de 2004,  $53,1 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo) até à fase pós-colheita (outubro de 2004,  $84,5 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo).

Durante o cultivo do milho, a disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  em agosto de 2003 (antes do plantio) e em setembro de 2003 (após o plantio e após a primeira fertilização nitrogenada em cobertura) foi de cerca de  $27 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo, mas reduziu significativamente em fevereiro de 2004 após a colheita ( $3,6 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo). Em seguida, durante o cultivo da *Brachiaria* (abril de 2004) a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  permaneceu próximo de  $2 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo. A disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo aumentou significativamente ( $28,6 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo,  $P = 0,000$ ,  $F = 30,95$ ) antes do plantio do feijão irrigado. Durante o cultivo do feijão irrigado, as maiores concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  foram medidas dois dias após a primeira fertilização nitrogenada em cobertura (julho de 2004,  $53,7 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo) e dois dias após a segunda fertilização nitrogenada em cobertura (agosto de 2004,

83,5 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> solo) com uréia, 81,0 e 2,4 kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente. Nas outras fases de cultivo do feijão irrigado, as concentrações de N-NO<sub>3</sub> foram mais baixas e variaram entre 12,9 e 22,8 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> solo.

Na Fazenda Dom Bosco, durante os meses de agosto de 2003 a junho de 2004 amostras compostas de solo foram coletadas para a determinação da biomassa microbiana, por isso não foi possível realizar análises estatísticas para esse período. Após esse período, seis amostras do solo foram coletadas em cada data de amostragem. A biomassa microbiana tendeu a ser semelhantes entre os solos cultivados com soja (107,8 a 347,4 mg C kg<sup>-1</sup> solo), milho (86,8 a 299,7 mg C kg<sup>-1</sup> solo) e no solo sob cerrado nativo (109,0 a 444,3 mg C kg<sup>-1</sup> solo), mas maior no solo sob cultivo do feijão irrigado (309,8 a 590,3 mg C kg<sup>-1</sup> solo), Figura 2.5.



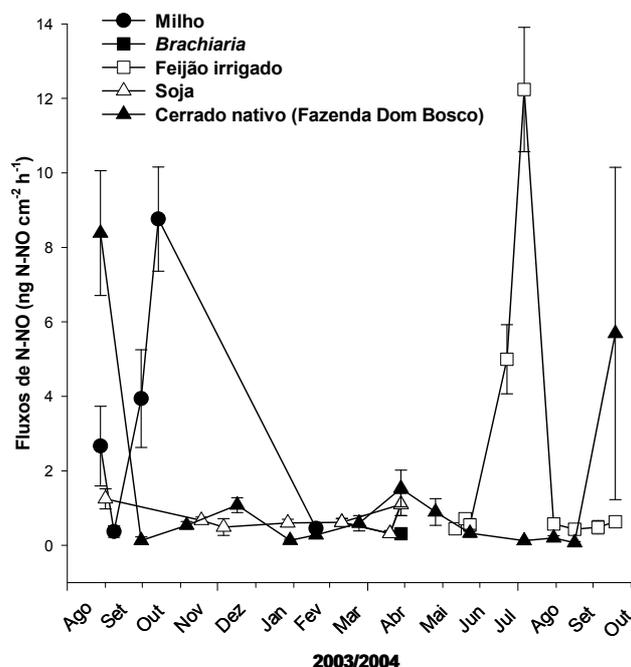
**Figura 2.5.** Biomassa microbiana (mg C kg<sup>-1</sup> solo) na profundidade de 0 a 5 cm em Latossolo sob sistemas de cultivo (rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado e soja) e cerrado nativo. Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO (agosto de 2003 a outubro de 2004).

### 5.1.3. Fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O

Na área de cerrado nativo da Fazenda Dom Bosco, um pulso de N-NO (8,4 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) foi registrado durante a estação seca (agosto de 2003), após o primeiro evento de chuva (28 mm) (Figura 2.7). Também na transição da estação seca para a chuvosa (outubro de 2004) foram registrados fluxos de N-NO muito

elevados e variáveis ( $5,7 \pm 10,9 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) medidos depois da chuva (45 mm). Ao longo dos outros meses os fluxos de N-NO variaram entre 0,07 e 1,50  $\text{ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . A umidade do solo (% EPPA) explicou 70% dos fluxos de N-NO medidos no cerrado nativo durante a estação chuvosa ( $P = 0,000$  e  $F = 27,92$ ).

Em geral, os fluxos de N-NO no cultivo da soja foram semelhantes aos medidos na área nativa (Figura 2.6.). Os fluxos de N-NO foram ligeiramente superiores em agosto de 2003 ( $1,3 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), durante o pousio da área, e em abril de 2004 ( $1,1 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), quatro dias após a colheita. Os menores fluxos de N-NO no solo sob cultivo de soja foram mensurados cinco dias antes da colheita ( $0,3 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Nenhuma das variáveis testadas explicou os fluxos de N-NO durante o ciclo da soja.



**Figura 2.6.** Fluxos de N-NO do solo para a atmosfera ( $\text{ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) em Latossolo sob sistemas de cultivo (rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado e soja) e cerrado nativo. Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO (agosto de 2003 a outubro de 2004).

No solo sob cultivo de milho, fluxos de N-NO estatisticamente maiores ( $P = 0,005$  e  $F = 8,61$ ) foram medidos oito dias antes do plantio ( $2,7 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) em relação aos medidos cinco dias após o plantio ( $0,4 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) com adubação na linha ( $33,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  na forma de fosfato mono-amônico). Pulsos nas emissões

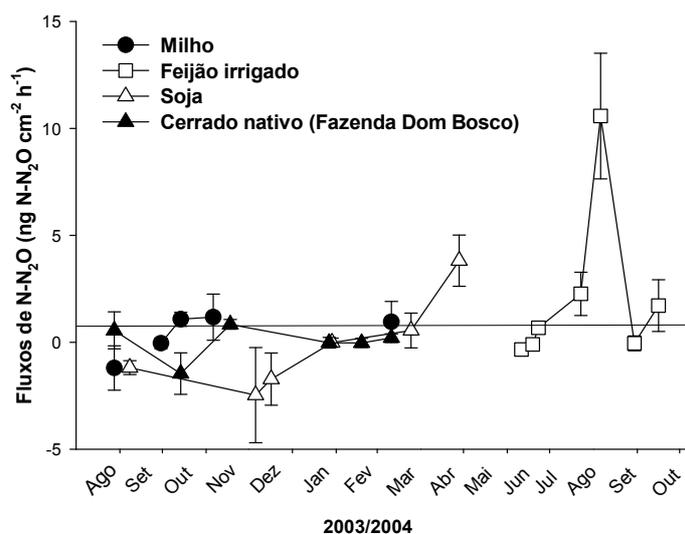
de NO foram observados dois dias após a primeira ( $3,9 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) e dois dias após a segunda ( $8,8 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) fertilização nitrogenada em cobertura com uréia ( $103,2$  e  $18,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ , respectivamente). Os fluxos de N-NO durante o cultivo do milho não foram explicados pelas variáveis testadas.

Em abril de 2004 durante o cultivo da *Brachiaria* os fluxos de N-NO ( $0,3 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) foram inferiores aos mensurados no cerrado nativo ( $1,5 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ).

Durante o cultivo do feijão irrigado, os fluxos de N-NO foram significativamente maiores em julho de 2004, dois dias após a primeira fertilização nitrogenada em cobertura com  $81,0 \text{ kg N ha}^{-1}$  na forma de uréia ( $5,0 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), e em agosto de 2004 dois dias após a segunda fertilização nitrogenada em cobertura com  $2,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  na forma de uréia ( $12,2 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Durante as outras fases de cultivo, os fluxos de N-NO variaram entre  $0,3$  e  $0,7 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . A disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  explicou 82% ( $P = 0,000$  e  $F = 104,47$ ) dos fluxos de N-NO durante o cultivo do feijão irrigado.

Considerando a quantidade de nitrogênio aplicada via fertilizante durante os ciclos das culturas, o total de N-NO perdido durante o cultivo do milho representou 0,1% e durante o cultivo de feijão representou 0,2%. As perdas de N, na forma de N-NO foram inexpressivas no cultivo da soja.

A maioria dos fluxos de N-N<sub>2</sub>O medidos no solo sob cultivo e sob vegetação nativa de cerrado foi muito baixa e próximo ao limite de detecção do equipamento ( $0,6 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), (Figura 2.7.). No entanto, no cultivo do feijão irrigado, os fluxos de N-N<sub>2</sub>O aumentaram significativamente dois dias após a irrigação associada à fertilização nitrogenada em cobertura com uréia em julho de 2004 ( $2,3 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  com a aplicação de  $81,0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) e em agosto de 2004 ( $10,6 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  com a aplicação de  $2,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Baixo e variável incremento nos fluxos de N-N<sub>2</sub>O foram registrados durante a senescência das plantas no cultivo do feijão irrigado (setembro de 2004,  $1,7 \pm 1,2 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Altos fluxos de N-N<sub>2</sub>O também foram medidos durante a senescência das plantas no cultivo da soja (abril de 2004,  $3,8 \pm 1,2 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ).



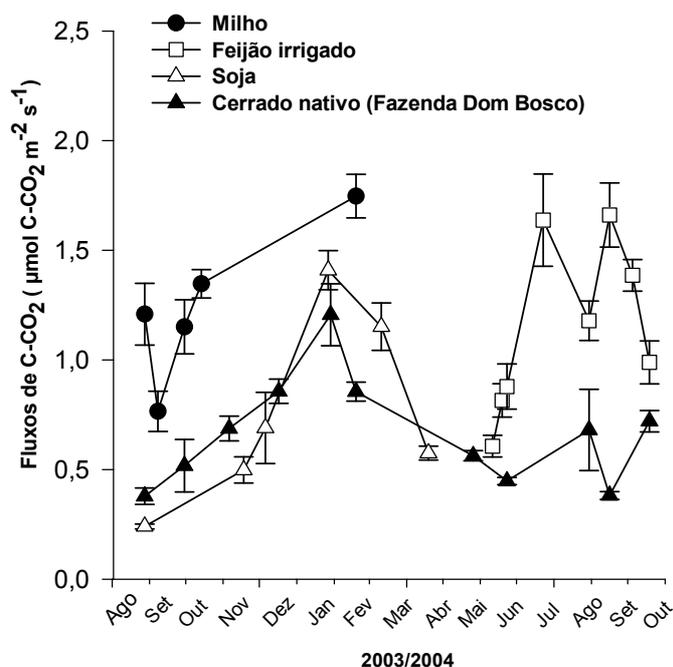
**Figura 2.7.** Fluxos de N-N<sub>2</sub>O do solo para a atmosfera (ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) em Latossolo sob sistemas de cultivo (rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado e soja) e cerrado nativo. Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO (agosto de 2003 a outubro de 2004).

As perdas de nitrogênio na forma de N-N<sub>2</sub>O durante o cultivo de feijão irrigado representaram 0,2% do total adicionado via fertilizante. Contudo, o incremento nos fluxos de N-N<sub>2</sub>O registrados durante a senescência das plantas pode ser relevante na perda total.

A disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> explicou 85% (P = 0,000, F = 62,00), dos fluxos de N-N<sub>2</sub>O durante o cultivo do feijão irrigado, enquanto os fluxos no solo cultivado com soja e milho, e no cerrado nativo não podem ser explicados pelas variáveis testadas.

#### 5.1.4. Fluxos de C-CO<sub>2</sub>

Os fluxos de C-CO<sub>2</sub> registrados no solo de cerrado nativo, ao longo do período analisado (setembro de 2003 a outubro de 2004), variaram de 0,4 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (setembro de 2003, estação seca) a 1,2 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (janeiro de 2004, estação chuvosa), (Figura 2.8.).



**Figura 2.8.** Fluxos de C-CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera (µmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) em Latossolo sob sistemas de cultivo (rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado e soja) e cerrado nativo. Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO (agosto de 2003 a outubro de 2004).

Os valores de respiração do solo no cultivo da soja foram semelhantes aos mensurados no solo de cerrado e variaram de 0,2 µmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> em setembro de 2003 (durante o pousio da área na estação seca) a 1,2 µmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> em janeiro de 2004 (durante o crescimento das plantas na estação chuvosa). A umidade do solo (% EPPA) explicou 63% (P = 0,000 e F = 20,45), dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> no período de cultivo da soja.

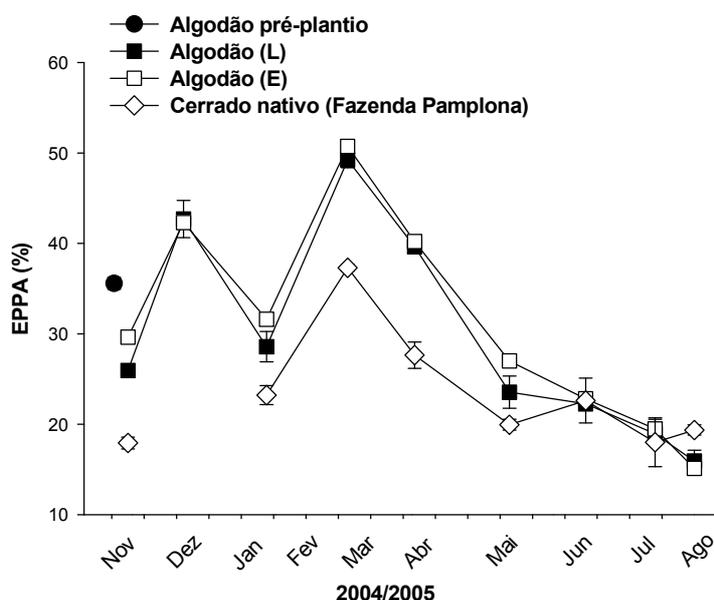
Em geral, as emissões de C-CO<sub>2</sub> durante o cultivo do milho e do feijão irrigado foram duas vezes mais elevadas do que no cerrado nativo. A respiração do solo no cultivo do milho variou de 0,8 µmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (setembro de 2003, três dias após o plantio) para 1,8 mol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (abril de 2004, dois dias após a colheita). A respiração do solo medida em agosto de 2003 (estação seca), no cultivo do milho foi três vezes superior à medida no solo de cerrado nativo. A disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> explicou em 55% (P = 0001 e F = 12,40) os fluxos de C-CO<sub>2</sub> durante o cultivo do milho. Durante o cultivo do feijão irrigado, um aumento significativo (P = 0,000) nos fluxos de C-CO<sub>2</sub> foi registrado em julho de 2004 (de 0,9

para  $1,6 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) dois dias após a fertilização com  $81 \text{ kg N ha}^{-1}$  na forma de uréia, em relação a coleta anterior em junho de 2004 ( $0,9 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). A respiração do solo permaneceu alta ao longo da estação de crescimento até a colheita ( $1,4 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e diminuiu dois dias após a colheita em outubro de 2004 para valores semelhantes aos medidos antes do plantio ( $0,6$  e  $0,8 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente). A respiração do solo sob cultivo do feijão irrigado não foi explicada pelas variáveis testadas.

## 5.2. Fazenda Pamplona: algodão

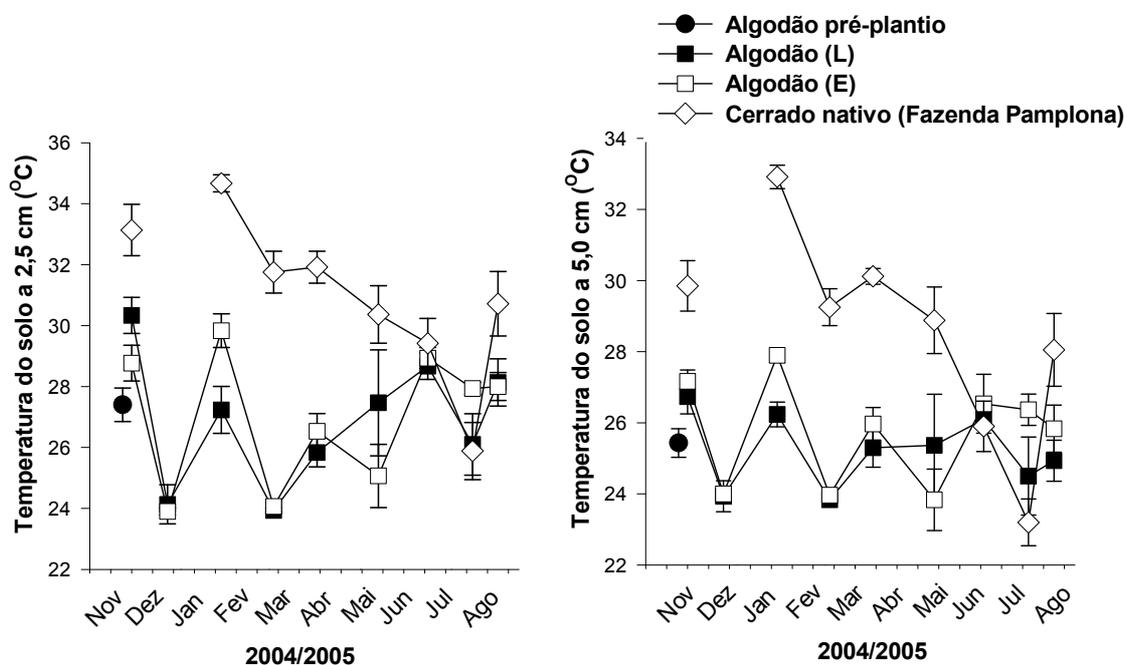
### 5.2.1. Variações de umidade e temperatura do solo

Na Fazenda Pamplona, os maiores valores de EPPA foram determinados em março de 2005 nas linhas e entrelinhas de plantio do algodão (50%) e no cerrado nativo (37%), Figura 2.9.



**Figura 2.9.** Espaço de Poros Preenchido por Água (%) na profundidade de 0 a 5 cm em Latossolo sob cultivo de algodão e cerrado nativo. Fazenda Pamplona, Cristalina-GO (novembro de 2004 a agosto de 2005).

O solo sob cerrado nativo apresentou maior amplitude térmica. As temperaturas do solo na área do cerrado variaram de 25,8 para 34,7 °C à 2,5 cm de profundidade e de 23,2 a 32,9 °C à 5,0 cm. Nas linhas e entrelinhas do algodão as temperaturas do solo variaram de 23,9 para 30,3 °C à 2,5 cm de profundidade e de 23,8 para 27,9 °C à 5,0 cm de profundidade. De novembro de 2004 para abril de 2005 (estação chuvosa) as temperaturas do solo (2,5 e 5,0 cm) na área nativa eram significativamente mais elevadas ( $P = 0,042$  e  $F = 4,38$ ) do que na área cultivada. Durante a época seca (maio a agosto de 2005) as temperaturas do solo nas duas áreas foram semelhantes, (Figura 2.10).



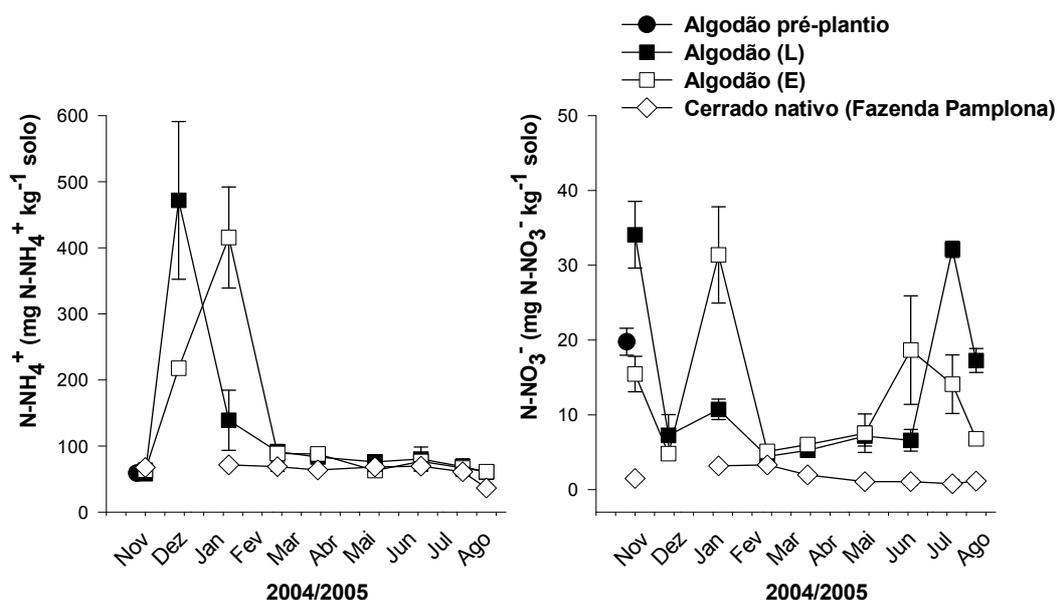
**Figura 2.10.** Temperaturas do solo nas profundidades de 2,5 e 5,0 cm em Latossolo sob cultivo de algodão e cerrado nativo. Fazenda Pamplona, Cristalina-GO (novembro de 2004 a agosto de 2005).

Durante o cultivo do algodão, não foram encontradas diferenças entre os valores de EPPA e as temperaturas do solo nos dois locais de coleta (linhas e entrelinhas).

## 5.2.2. Variações no N disponível e C da biomassa microbiana do solo

No cerrado nativo, as concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  variaram de 0,8 a 3,3  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo durante o período de estudo. Em relação ao pré-plantio, a disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  na linha de plantio aumentou em até 1,5 vezes (de 19,8 para 34,1  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo,  $P = 0,001$ ), dois dias após o plantio do algodão (novembro de 2004), com aplicação de 24  $\text{kg N ha}^{-1}$  na forma de fosfato di-amônico. Um segundo pico nas concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  foi medido nas linhas do algodão 15 dias antes da colheita (julho de 2005, 32,1  $\text{mg N kg}^{-1}$  solo).

No decorrer das outras coletas, a disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  nas linhas variou de 4,4 a 10,7  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo. Nas entrelinhas as concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  mais altas (31,4  $\text{mg N. kg}^{-1}$  solo) foram medidas três dias após a segunda fertilização nitrogenada em cobertura com 90  $\text{kg N ha}^{-1}$  na forma de uréia (janeiro de 2005). Nas demais fases de cultivo, a disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  nas entrelinhas do algodão variou de 4,8 a 18,6  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo (Figura 2.11.).

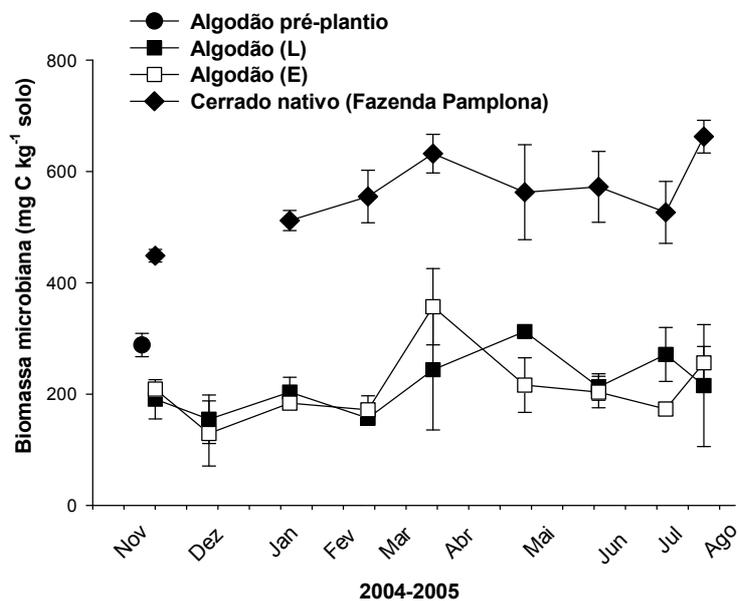


**Figura 2.11.** Disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  Solo) e  $\text{N-NH}_4^+$  ( $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  Solo) na profundidade de 0 a 5 cm em Latossolo sob cultivo de algodão e cerrado nativo. Fazenda Pamplona, Cristalina-GO (novembro de 2004 a agosto de 2005).

As maiores concentrações de  $\text{N-NH}_4^+$  foram medidas em dezembro de 2004 quatro horas após a primeira fertilização nitrogenada em cobertura com 36  $\text{kg N ha}^{-1}$  sob a forma de sulfato de amônio, nas linhas (471,6  $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo) e

entrelinhas (217,8 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo). Em janeiro de 2005, três dias após a segunda fertilização nitrogenada em cobertura com 90 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de uréia, altas concentrações de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foi medido nas linhas (138,9 mg N kg<sup>-1</sup> solo) e nas entrelinhas (415,5 mg N Kg<sup>-1</sup> solo). Nas demais coletas, a disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> variou de 60,8 a 91,5 mg N kg<sup>-1</sup> solo e foi semelhante à observada no solo nativo no período de novembro de 2004 a julho de 2005. Em agosto de 2005 a concentração de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo sob vegetação nativa foi significativamente (P = 0,37) menor (36,6 mg N kg<sup>-1</sup> solo) em relação aos demais meses.

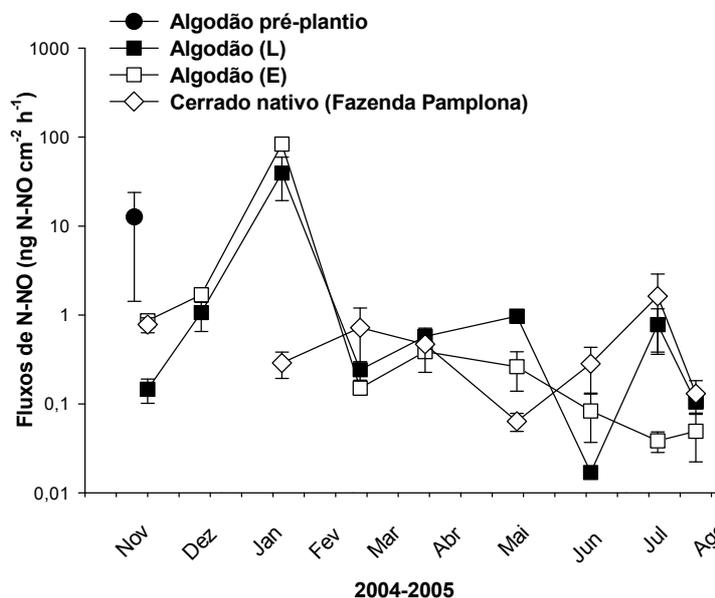
A biomassa microbiana do solo cultivado e nativo, na camada de 0 a 5,0 cm, apresentou pouca variabilidade. Em todas as coletas, a biomassa microbiana no solo sob vegetação nativa foi estatisticamente superior quando comparada ao solo sob cultivo de algodão (linhas e entrelinhas). Os valores de biomassa microbiana medidos nas linhas e entrelinhas variaram de 129,3 (dezembro de 2004) para 356,9 mg C kg<sup>-1</sup> solo (abril de 2005), enquanto no solo sob vegetação nativa variou de 448,5 (novembro de 2004) para 662,4 mg C kg<sup>-1</sup> Solo (agosto de 2005), Figura 2.12.



**Figura 2.12.** Biomassa microbiana do solo (mg C kg<sup>-1</sup> Solo) na profundidade de 0 a 5 cm em Latossolo sob cultivo de algodão e cerrado nativo. Fazenda Pamplona, Cristalina-GO (novembro de 2004 a agosto de 2005).

### 5.2.3. Fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O

Os fluxos de N-NO no solo sob vegetação nativa variaram de 0,06 (maio de 2005) a 1,6 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (jul de 2005), (Figura 2.13).



**Figura 2.13.** Fluxos de N-NO do solo para a atmosfera (ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) em Latossolo sob cultivo de algodão e cerrado nativo. Fazenda Pamplona, Cristalina-GO (novembro de 2004 a agosto de 2005). Valores = Log de N-NO.

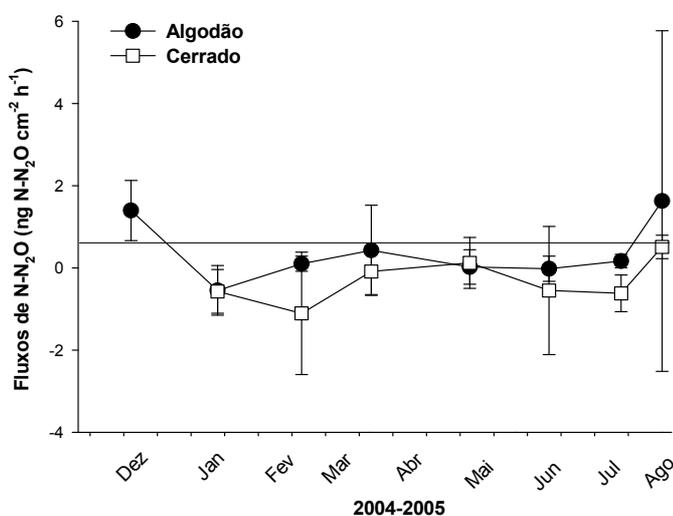
Fluxos de N-NO elevados e muito variáveis ( $12,6 \pm 27,4$  ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) foram medidos no solo sob palha *Brachiaria* antes do plantio do algodão (novembro de 2004). Após o plantio do algodão com fertilização nitrogenada no sulco (24 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de fosfato di-amônio) os fluxos de N-NO mensurados nas linhas de plantio ( $0,2 \pm 0,1$  ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) foram estatisticamente menores ( $P = 0,035$ ) do que os fluxos mensurados nas entrelinhas ( $0,9 \pm 0,1$  ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Em dezembro de 2004, quatro horas após a primeira fertilização nitrogenada em cobertura (36 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de sulfato de amônio), fluxos de N-NO ligeiramente superiores foram medidos nas linhas (1,1 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e nas entrelinhas (1,7 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Em janeiro de 2005, três dias após a segunda fertilização nitrogenada em cobertura na forma de uréia (90 kg N ha<sup>-1</sup>), um grande pulso de N-NO foi medido nas linhas ( $39,3 \pm 20,1$  ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e entrelinhas ( $83,3 \pm 11,9$

ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Os fluxos medidos em janeiro de 2005 foram quase 1000 vezes maiores que os mensurados no solo sob vegetação nativa. Fluxos de N-NO significativamente maiores ( $P = 0,033$  e  $F = 10,19$ ) nas linhas (0,8 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) em relação às entrelinhas (0,04 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) foram medidos 15 dias antes da colheita (julho de 2005).

Durante o período de estudo, a disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo (0 - 5 cm) explicou em 85% ( $P = 0,000$  e  $F = 65,45$ ) os fluxos de N-NO nas entrelinhas, enquanto os fluxos de N-NO nas linhas não foi explicado pelo variáveis testadas. No solo do cerrado, 40% dos fluxos de N-NO foram explicados pela biomassa microbiana ( $P = 0,008$  e  $F = 7,89$ ).

As perdas de N na forma de N-NO representaram 0,4% do N adicionado via fertilizante no cultivo do algodão, enquanto as perdas de N como N-N<sub>2</sub>O representaram 0,2%.

Em geral, os fluxos de N-N<sub>2</sub>O no solo cultivado com algodão foram semelhantes aos do solo de cerrado nativo (Figura 2.14).



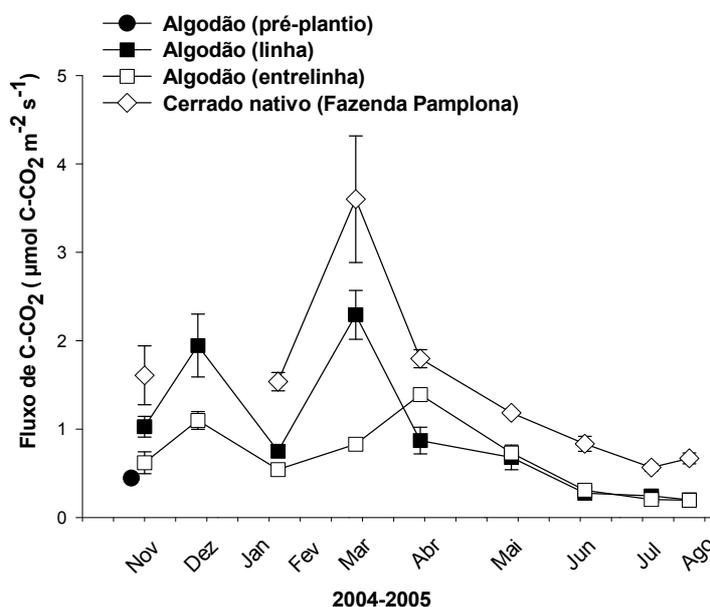
**Figura 2.14.** Fluxos de N-N<sub>2</sub>O do solo para a atmosfera (ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) em Latossolo sob cultivo de algodão e cerrado nativo. Fazenda Pamplona, Cristalina-GO (novembro de 2004 a agosto de 2005).

No solo do algodão, os valores de fluxos de N-N<sub>2</sub>O variaram de 0,6 ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (três dias após a segunda fertilização nitrogenada de cobertura) a 1,6 ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (dois dias após a colheita). No solo nativo os valores de fluxo de N-N<sub>2</sub>O

variaram de -0,6 a 0,5 ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Nas duas áreas, os fluxos de N-N<sub>2</sub>O não foram explicados pelas variáveis testadas.

#### 5.2.4. Fluxos de C- CO<sub>2</sub>

Os fluxos de C-CO<sub>2</sub> do solo sob vegetação nativa variaram de 0,6 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (julho de 2005) a 3,6 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (março de 2005) e foram maiores aos mensurados na área cultivada (linhas e entrelinhas), ao longo do período de coleta (Figura 2.15).



**Figura 2.15.** Fluxos de C-CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera (μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) em Latossolo sob cultivo de algodão e cerrado nativo. Fazenda Pamplona, Cristalina-GO (novembro de 2004 a agosto de 2005).

Na área do algodão, considerando o período entre novembro de 2004 a abril de 2005, os fluxos variaram de 1,6 a 2,0 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> nas linhas e de 0,5 a 1,4 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> nas entrelinhas. Durante a estação seca (junho a agosto de 2005) a respiração do solo variou de 0,7 a 1,1 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> nas linhas e entrelinhas do algodão. Dois dias após o plantio do algodão (novembro de 2004), com a adição de 24 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de fosfato di-amônico, foi mensurado um aumento significativo (P = 0,012 e F = 11,34) nos fluxos de C-CO<sub>2</sub>, apenas nas linhas (1,0 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), ao passo que nas entrelinhas os fluxos de C-CO<sub>2</sub>

( $0,6 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) não diferiram dos mensurados antes do plantio ( $0,5 \mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). A umidade do solo (% EPPA) na profundidade de 0 a 5 cm explicou 88% ( $P = 0,000$  e  $F = 82,27$ ) dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> medidos nas linhas, 78% ( $P = 0,000$  e  $F = 39,44$ ) dos fluxos medidos nas entrelinhas e 59% ( $P = 0,000$  e  $F = 24,59$ ) dos fluxos medidos no cerrado nativo.

### 5.3. Estoques de C e N do solo: Fazenda Bom Bosco e Fazenda Pamplona

Estoques de C no solo (0-30 cm) significativamente menores foram determinados no sistema de rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado ( $56,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) após 10 anos da conversão da vegetação nativa e no sistema da soja seguida por vegetação natural ( $51,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) após 31 anos da conversão do cerrado, em comparação com o remanescente do cerrado nativo ( $62,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ). O estoque de N do solo (0-30 cm) foi inferior na área da soja ( $2,7 \text{ Mg N ha}^{-1}$ ), quando comparado com a vegetação nativa e rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado ( $3,3 \text{ Mg N ha}^{-1}$ ) que foi semelhante ao da área nativa de cerrado. Na Fazenda Pamplona, os estoques de C e N do solo após 27 anos sob sistema de rotação algodão-soja foram semelhantes aos estoques de C e N no solo sob cerrado nativo ( $53,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$  e  $3,1 \text{ Mg N ha}^{-1}$ ), Tabela 2.4.

**Tabela 2.4.** Estoques de C e N ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) na camada de 0 a 30 cm, em Latossolos cultivados e sobre vegetação nativa de cerrado.

Áreas de estudo	Estoque de C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Estoque de N ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )
<b>Fazenda Dom Bosco</b>		
Cerrado nativo	$62,3 \pm 2,2$	$3,6 \pm 0,3$
Rotação milho- <i>Brachiaria</i> -feijão irrigado	$51,7 \pm 2,8^*$	$2,7 \pm 0,1^*$
Soja-vegetação espontânea-pousio	$56,4 \pm 4,1^{**}$	$3,3 \pm 0,5$
<b>Fazenda Pamplona</b>		
Cerrado nativo	$51,2 \pm 1,2$	$3,1 \pm 0,2$
Algodão sobre <i>Brachiaria</i> -soja	$53,2 \pm 2,1$	$3,1 \pm 0,2$

Médias seguidas de símbolos indicam diferença estatística com o cerrado ( $t$  teste: \*  $P < 0.05$  e \*\*  $P < 0.10$ ).

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1. Disponibilidade de N e fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O

Em todas as áreas cultivadas e de cerrado nativo amostradas ao longo do presente estudo, na camada de 0 a 5 cm do solo, predomina a disponibilidade de amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) em relação a disponibilidade de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). De acordo com Dynia e Camargo (1999), na camada superficial do solo (0 a 5 cm) há um predomínio de carga líquida negativa em função do maior acúmulo de matéria orgânica, e sob precipitação pluviométrica ou irrigação há um aumento na perda de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por lixiviação em função de sua alta solubilidade em água. Decorridas três ou quatro semanas após a fertilização, o conteúdo de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> das camadas superficiais do solo declina rapidamente acumulando nas camadas inferiores (Chikowo et al., 2004). Lilienfein et al. (2003) registraram aumento da concentração de nitrato na solução do solo (da camada de 1 a 2 m) em solo de cerrado sob pastagem indicando lixiviação do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> da zona das raízes para maiores profundidades. Assim, nas áreas cultivadas e de cerrado nativo das Fazendas Dom Bosco e Pamplona, é possível que as camadas de solo inferiores a 5 cm apresentem acúmulo de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e menor disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

No presente estudo, os baixos fluxos de N-N<sub>2</sub>O registrados nos solos sob cultivo e sob vegetação nativa estão em conformidade com os resultados de outros estudos desenvolvidos na região do Cerrado sob cultivo de milho (Carvalho, 2005; Carvalho et al., 2006), pastagens (Varella et al. 2004; Pinto et al. 2006) e vegetação nativa (Pinto et al., 2002). Davidson et al. (2000), reporta que os baixos fluxos de N-N<sub>2</sub>O estão relacionados à baixa disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e à condições aeróbicas com EPPA inferior a 60%. Em geral, os Latossolos na região do Cerrado são bem drenados (Eiten, 1972), relativamente N-limitado e apresentam baixas taxas de nitrificação (Nardoto e Bustamante, 2003) e só raramente a produção de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> excede a demanda dos microrganismos e raízes. Além disso, o sistema plantio direto tende a preservar a estrutura dos solos cultivados semelhante a estrutura do solo sob vegetação nativa (da Silva et al., 2005), especialmente na camada de 0 a 5 cm (Silva et al., 2000), o que permite uma boa aeração.

Apesar dos baixos fluxos mensurados na maioria das áreas e datas de coletas, práticas agrícolas podem induzir aumentos nos fluxos de N-N<sub>2</sub>O do solo

para a atmosfera. A disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  explicou os fluxos de  $\text{N-N}_2\text{O}$  no cultivo do feijão irrigado.

No solo sob cultivo de feijão, picos de  $\text{N-NO}$  e  $\text{N-N}_2\text{O}$  foram medidos após as adubações nitrogenadas associadas a irrigação, que resultaram em um aumento na disponibilidade de N no solo e condições favoráveis de EPPA para formação de sítios de anaerobiose. Além disso, aumentos na disponibilidade  $\text{N-NO}_3^-$  e nos fluxos de  $\text{N-N}_2\text{O}$  foram registrados durante a senescência do feijão e da soja, e após a colheita do algodão, especialmente nas linhas de plantio, que pode estar relacionado com a mortalidade das raízes (Varner et al., 2003 e Prata et al., 2005) e liberação de N pela raízes e nódulos. Jantalia et al. (2006), em estudo desenvolvido em Londrina na região sul do Brasil, também observaram maiores fluxos de  $\text{N-N}_2\text{O}$  nas últimas fases do ciclo da soja. Keller et al. (2000) relataram que a mortalidade de raízes reduz a demanda das plantas por nutrientes aumentando a disponibilidade para os microrganismos do solo, e a absorção da água induzindo a aumentos de umidade do solo, além de representar uma fonte de matéria orgânica de fácil decomponibilidade, conduzindo a condições favoráveis aos fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$ .

Na maior parte das áreas estudadas, os fluxos de  $\text{N-NO}$  foram mais relevantes do que os fluxos  $\text{N-N}_2\text{O}$  e foram associados a fertilização nitrogenada.

A disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  explicou os fluxos de  $\text{N-NO}$  no solo sob cultivo do feijão irrigado e EPPA explicou no cerrado nativo da Fazenda Dom Bosco. Contudo, os fluxos  $\text{N-NO}$  no solo sob cultivo de soja e milho não foram explicados pelas variáveis testadas.

No solo cultivado da Fazenda Pamplona, a grande adição de matéria orgânica, como observado após a dessecação da *Brachiaria* e antes do plantio de algodão (novembro de 2004) resultaram em alta variabilidade nos fluxos de  $\text{N-NO}$  com alguns valores muito elevados ( $68,6 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Esta variabilidade pode estar associada com a transição entre o período de seca e chuva (outubro de 2004) e a decomposição da palhada de *Brachiaria* após a aplicação de herbicida. Passianoto et al. (2003), trabalhando na região norte do Brasil, em uma área cultivada com *Brachiaria brizantha* mostrou que a aplicação de herbicida induziu o aumento nos fluxos de  $\text{N-NO}$ . Os autores também associaram o aumento nos fluxos com o final da estação seca e decomposição da palha, com conseqüente aumento da mineralização do N.

Os fluxos de N-NO mensurados nas linhas de cultivo do algodão foram explicados pela disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. O discreto aumento nos fluxos de N-NO observado em dezembro de 2004 quatro horas após a primeira fertilização em cobertura (36 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de sulfato de amônio) provavelmente subestimou o efeito da fertilização porque o tempo não poderia ser suficiente para a total reação e maior produção de pulsos de NO. Em janeiro de 2005, a segunda fertilização nitrogenada em cobertura (90 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de uréia) aumentou a disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> três dias após a aplicação do fertilizante, com conseqüente incremento nos fluxos de N-NO nas linhas e entrelinhas de cultivo, mas a disponibilidade de N-inorgânico e os fluxos de N-NO tenderam a ser maiores entre as linhas do que nas linhas de plantio. Isso pode ser uma consequência da competição entre raízes e microrganismos pelo N disponível na linha de cultivo durante esta fase da cultura. Diferenças nas magnitudes dos fluxos após a primeira e segunda fertilização nitrogenada em cobertura poderão estar relacionadas com o tempo de resposta à adição de N e a quantidade de N adicionada.

Pouco antes e depois da colheita do algodão (julho e agosto de 2005), a disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e os fluxos de N-NO foram superiores na linha de plantio do algodão, provavelmente devido a decomposição das raízes, especialmente as de menor diâmetro (<2 mm), como discutido antes para os fluxos de N-N<sub>2</sub>O.

No solo sob vegetação nativa, os fluxos de NO foram explicados pela umidade do solo (Fazenda Dom Bosco) e biomassa microbiana (Fazenda Pamplona). Embora as duas áreas de cerrado tenham sido queimadas durante o período de estudo, não registrou-se efeito do fogo nos fluxos de N-NO do solo para a atmosfera. Pinto et al. (2002) estudaram o efeito do fogo em áreas nativas de cerrado e observaram que os pulsos nos fluxos de N-NO após queimada estão relacionados a ocorrência de eventos de chuvas.

## **6.2. Fluxos de C-CO<sub>2</sub>**

A distribuição sazonal das chuvas foi o principal fator que afetou a umidade do solo (0-5 cm), explicando os fluxos de C-CO<sub>2</sub> no solo sob vegetação nativa, algodão (linha e entrelinha) e soja. Nenhuma das variáveis testadas explicou a respiração do solo sob cultivo de feijão irrigado. Apesar da maior disponibilidade de N mineral após as fertilizações nitrogenadas nos cultivos do feijão irrigado e do

algodão ter induzido a fluxos de C-CO<sub>2</sub> mais elevados, apenas no solo sob cultivo de milho a disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ao longo do período estudado explicou os fluxos de C-CO<sub>2</sub>.

Em agosto de 2003, durante a estação seca, os fluxos de C-CO<sub>2</sub> mensurados na área utilizada para a rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado foram cerca de três vezes superior aos medidos no solo de cerrado nativo e estão relacionados a maior umidade no solo cultivado (35,7 %) em relação ao nativo (24,2 %). Na área utilizada para a rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado a umidade do solo é mantida durante a maioria dos meses em função da irrigação no inverno e das chuvas no verão.

Após o plantio, a alta disponibilidade de N poderia estimular a atividade microbiana levando a um aumento da respiração do solo. Além disso, é provável que tenha ocorrido um efeito físico do implemento agrícola utilizado no plantio direto, favorecendo a aeração do solo, disponibilizando grande quantidade de matéria orgânica facilmente decomponível, rompendo os agregados do solo e expondo fisicamente partículas de matéria orgânica do solo à ação microbiana (Follett 2001). Embora a literatura sobre o efeito da linha e entrelinha de plantio seja escassa, é possível fazer uma analogia com os estudos que comparam sistemas de cultivo convencionais e conservacionistas sobre as emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo.

Além da disponibilidade de N e C no solo, a umidade e a temperatura também controlam a atividade microbiana. Embora, durante a estação chuvosa o EPPA tenha sido maior no cultivo de algodão do que na área nativa, a respiração do solo foi menor em relação a respiração do solo nativo. Isto pode ser explicado pela diferença nos valores de biomassa microbiana entre as áreas, que foi cerca de duas vezes e meia menor no solo cultivado com algodão. O algodão é uma cultura de manejo muito intenso com cerca de oito a dez aplicações de pesticidas em todo o ciclo da cultura o que pode ter ação na redução das populações microbianas do solo e por conseguinte do C lábil.

A intensa respiração do solo sob vegetação nativa poderia ser igualmente associados à queima que ocorreu em novembro de 2004 antes da primeira medição. A rebrota do estrato gramíneo e herbáceo poderia estar relacionada com um aumento na respiração autotrófica. Zepp et al. (1996), sugeriu que a atividade microbiana na savana da África do Sul não foi influenciada, pelo menos no curto prazo, pelo fogo, porque os microrganismos foram localizados em profundidade no solo. Além disso, a sobrevivência das raízes após a queima de cerrado é conhecida

(Eiten, 1994) e, em geral, o estrato graminoso começa a se reestabelecer antes do lenhoso no início da estação chuvosa e a recuperar a biomassa aérea mais depressa após a queimada (Neto et al., 1998).

Diferentemente do cultivo da soja e do milho, o cultivo do algodão na região do cerrado abrange as estações chuvosa e seca. No início da estação chuvosa, o solo sob cultivo do algodão apresentava-se coberto com palha de *Brachiaria*, o que provavelmente determinou temperaturas do solo mais baixas e maior EPPA em relação ao solo do cerrado nativo. No início da estação seca, a palha de *Brachiaria* já estava, em grande parte, decomposta. Além disso, no final da estação chuvosa ocorreu aplicação de regulador de crescimento (março de 2005) e desfoliante (maio de 2005) nas plantas de algodão, diminuindo a cobertura do solo e aumentando a evaporação. Como resultado destas práticas, o solo sob cultivo do algodão apresentou durante estação seca temperaturas e EPPA semelhantes àqueles do solo sob cerrado nativo. No entanto, os fluxos de C-CO<sub>2</sub> do solo foram ainda mais elevados no cerrado nativo do que no algodão durante a estação seca.

A respiração do solo foi maior no sistema de rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado (Fazenda Dom Bosco) do que no cerrado. Isto poderá estar relacionado com a cobertura do solo durante todo o período de estudo e à diversidade de coberturas, cereais (milho), gramíneas (*Brachiaria*) e leguminosas (feijão), em associação com a irrigação que promoveu condições favoráveis em termos de nutrientes, umidade e temperatura. Por outro lado, durante a estação seca, o sistema de cultivo soja seguido de vegetação espontânea e pousio produziu fluxos de C-CO<sub>2</sub> semelhantes aos do cerrado nativo e menores em relação aos mensurados na rotação milho-*Brachiaria*-feijão irrigado, que estão relacionados a ausência de cobertura e umidade do solo na área da soja.

### **6.3. Estoques de C e N no solo: Fazenda Dom Bosco e Fazenda Pamplona**

Os estoques de C e N em solos sob cultivo estão relacionados com a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados que são determinados pelo manejo do solo e das culturas (Mielniczuk et al., 2003). Um alto aporte de N (ca. 185 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) via fixação biológica é estimado para a soja (Alves et al., 2006), mas o enchimento das vagens, a produção de grãos e o elevado índice colheita (ca. 86%) para a biomassa aérea (Alves et al., 2003) são fortes sumidouros de N. Além

disso, a soja ainda é amplamente cultivada em monocultivo de verão com pouca produção de necromassa no inverno durante o pousio, que também contribui para as perdas de C e N do solo. A rotação milho-*Brachiaria*-feijão na Fazenda Dom Bosco, que é um sistema de cobertura do solo durante todo o ano, irrigação durante a estação seca e elevado aporte de N via fertilizante ( $258,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) também apresentou menor estoque de C na camada de 0 a 30 cm do solo, mas manteve o estoque de N do solo. Estudo realizado por Salton (1993) em Latossolo da região de Dourados-MS com cultivos de verão concluiu que o aporte de C via parte aérea foi cerca de duas vezes maior na área submetida ao sistema milho + leguminosa ( $3,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) em relação ao sistema sorgo solteiro ( $1,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ).

Por outro lado, na Fazenda Pamplona o solo sob sistema de rotação soja-*Brachiaria*-algodão-pousio apresentou semelhantes estoques de C e N quando comparados ao cerrado nativo, mesmo após 27 anos sob o sistema. Provavelmente o algodão apresenta uma deposição de material mais lenhoso com qualidade do C mais recalcitrante, enquanto que no solo do cerrado o C está na fração mais lábil o qual refletiu em valores de biomassa microbiana maiores em relação ao solo do algodão. Outro fato que pode ter ocorrido foi a redução da biomassa microbiana do solo em função das 10 aplicações de biocidas durante o período de cultivo do algodão.

O uso de modelo de simulação mostrou que o potencial para armazenamento de C foi mais elevado em Latossolos de Cerrado sob sistemas de cultivo com duas coberturas por ano (soja-milho em plantio direto) quando comparados à monocultivos (Bustamante et al, 2006). Os estoques de C e N em solo cultivado com soja com cobertura de milheto ou milho como segunda cultura foram comparáveis aos estoques do solo de cerrado. Em contraste, os estoques de C e N do solo sob monocultura de soja seguida de pousio foram reduzidos em cerca de 30% após 30 anos. O modelo também indica que, em sistemas de cultivo com duas colheitas por ano, os ganhos de C do solo foram relacionados com os ganhos de N (Bustamante et al., 2006). A longo prazo a acumulação de C no solo só pode ser esperada quando existe o ganho líquido de N no sistema de cultivo (Sisti et al., 2004). Na região do Cerrado, o sistema soja em rotação com milho ou algodão (como na Fazenda Pamplona) é amplamente utilizado, porque a entrada de N através da fixação biológica pode desempenhar um importante papel favorecendo a

disponibilidade de N para as culturas subsequentes (Corrêa e Sharma, 2004). Alves et al. (2006), relatou que a curto prazo (dois anos) a fixação biológica de N na soja em sistema de plantio direto no Brasil Central produziu balanço de N positivo para o sistema, especialmente se considerado o incremento de raízes finas até 30 cm, enquanto milho e algodão cultivados com uso de fertilizantes poderia resultar em balanço negativo para o sistema, devido às perdas de N.

#### **6.4. Possibilidade de impactos regionais nas emissões de N-NO e N-N<sub>2</sub>O**

Uma estimativa preliminar das emissões de gases traço em atividades agrícolas no Cerrado pode ser feita com base nos dados deste estudo considerando a área coberta por cada uma das culturas (milho, feijão, soja, algodão) e vegetação nativa. Os dados sobre a área plantada foram fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento ([www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)). No presente estudo só os quatro principais estados da Federação (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), que pertencem à região geopolítica Centro-Oeste foram incluídos, embora o bioma Cerrado seja distribuído em onze estados da Federação Brasileira. Os fluxos foram integrados no ciclo da cultura considerando-se o valor médio dos fluxos medidos em cada coleta e o número de dias em cada fase da cultura. Para as práticas como utilização de mecanização (plantio e colheita) considerou-se cinco dias, enquanto para a fertilização nitrogenada ou eventos de chuva considerou-se um período de três dias, baseado na duração dos pulsos registrados por Pinto et al. (2002, 2006) e Carvalho et al. (2006) em Latossolos da região. Médias mensais, ao longo da estação de crescimento (sem influência da adubação ou da irrigação) foram consideradas. Os fluxos emitidos no solo do cerrado nativo foram calculados mensalmente, considerando a ocorrência de eventos de chuvas na época da seca, quando o tempo de resposta de três dias foi considerado.

Considerando que, ao se extrapolar os valores médios dos fluxos mensurados em cada coleta para a determinação das perdas de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> por unidade de área (kg ha<sup>-1</sup>) ao longo de cada período estudado, deve-se conhecer a influência dos erros de natureza aleatória calculou-se também a propagação da incerteza em cada área cultivada e nativa no mesmo período.

As perdas de N, ocorreram predominantemente sob a forma de N-NO. A maior emissão de N-NO por unidade de área foi no cultivo do algodão (0,8 kg N-NO ha<sup>-1</sup>). Emissões de N-NO por hectare no solo sob cultivo de milho e de feijão foram semelhantes (0,3 kg N-NO ha<sup>-1</sup>) e sob cultivo de soja foi 0,2 kg N-NO ha<sup>-1</sup> (Tabela 2.5).

Foram registrados fluxos de N-N<sub>2</sub>O negativos em 50% das observações durante o período de pousio na estação seca e em 60% das observações antes e logo após o plantio do milho e da soja, indicando um possível consumo. Durante o ciclo de cultivo do feijão irrigado fluxos de N-N<sub>2</sub>O negativos não foram expressivos e as emissões foram cerca de 0,2 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. No caso do cultivo do algodão, a maioria (62%) dos fluxos de N-N<sub>2</sub>O estavam próximo do limite de detecção do equipamento e as emissões foram cerca de 0,1 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, também no cultivo do milho foi de 0,1 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Produção líquida foi observada após a fertilização nitrogenada em cobertura e fluxos negativos foram registrados na fase de pós-colheita. Embora, geralmente os solos cultivados sejam considerados como fonte líquida de N-N<sub>2</sub>O atmosférico, também podem atuar como dreno, pelo menos temporariamente, dependendo das práticas de manejo e das condições ambientais (Minami, 1997). Em geral, os processos de produção e consumo de N-N<sub>2</sub>O ocorrem em microsítios do solo, por isso os fluxos são muito variáveis.

A variação temporal na produção ou consumo de N-N<sub>2</sub>O em solos cultivados pode ter um impacto importante sobre a estimativa das emissões regionais. Nesse estudo, desenvolvido no município de Cristalina, Estado de Goiás (região Centro-Oeste), o início da senescência para a cultivar de soja (P98C81 da Pioneer) ocorre aos 100 DAE (estágio fenológico R5.1 na escala de Fehr) (Fehr et al., 1971), com uma intensificação aos 110 DAE (estádio R8). Se os fluxos de N-N<sub>2</sub>O medidos durante a senescência da soja forem extrapolados para um período de 30 dias (100 DAE), o cultivo da soja se comporta como fonte de N-N<sub>2</sub>O (0,1 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). Mas se o período de senescência é reduzido para 20 dias (110 DAE), o cultivo da soja se comporta como sumidouro de N-N<sub>2</sub>O (-0,04 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). Além disso, é possível que o efeito da senescência das planta seja ainda maior se for considerada a decomposição das raízes e nódulos após a colheita.

Em uma revisão sobre o papel dos solos como sumidouros de N<sub>2</sub>O, Chapuis-Lardy et al. (2007) salientou que as incertezas quanto ao comportamento do N-N<sub>2</sub>O como fonte ou sumidouro decorre do fato de que os sítios de produção e consumo

não são distribuídos uniformemente no solo ou estão localizados muito próximos à superfície, ou quando o transporte não difusivo está envolvido. Nossos resultados indicam que é necessário uma melhor investigação dos processos envolvidos na produção e consumo de N<sub>2</sub>O. No caso de solos de cerrado sob cultivo deverá ser dada especial atenção ao período de senescência das plantas que está relacionado à decomposição de raízes.

No que se refere as emissões de C-CO<sub>2</sub> é importante salientar que os valores apresentados não representam uma perda líquida de C para a atmosfera visto que considera apenas um dos componentes do sistema.

A Tabela 2.5 apresenta as perdas de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> por unidade de área em cada cultivo estudado e nas áreas de cerrado nativo no mesmo período, bem como os respectivos erros relativos.

**Tabela 2.5.** Perdas de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> por unidade de área (kg ha<sup>-1</sup>) em Latosolos cultivados e sobre vegetação nativa de cerrado no mesmo período e os respectivos erros relativos.

Áreas de estudo	Período avaliado	Número de dias	N-NO (kg ha <sup>-1</sup> )	Erro relativo (%)	N-N <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Erro relativo (%)	C-CO <sub>2</sub> (Mg ha <sup>-1</sup> )	Erro relativo (%)
<b>Faz. Dom Bosco</b>								
Cerrado nativo	Ago.03 Fev.04	173	0,10	11,2	0,01	1.528,0	5,80	3,7
Milho	Ago.03 Fev.04	173	0,30	21,1	0,20	35,7	8,20	11,2
Cerrado nativo	Jun.04 Out.04	135	0,10	37,1	0,03	167,4	3,30	7,6
Feijão irrigado	Jun.04 Out.04	135	0,30	9,3	0,20	129,7	6,60	0,2
Cerrado nativo	Nov.03 Fev.04	153	0,20	17,6	-0,03	0,0	6,10	3,4
Soja*	Nov.03 Fev.04	153	0,20	13,4	-0,04	147,0	4,70	0,2
Soja **	Nov.03 Fev.04	153	0,20	13,4	0,14	28,1	4,70	0,2
<b>Faz. Pamplona</b>								
Cerrado nativo	Nov.04 Ago.05	258	0,30	2,4	-0,20	13,1	11,10	2,3
Algodão	Nov.04 Ago.05	258	0,80	21,9	0,10	6,0	7,20	1,1

\* Considerando um período de 20 dias para a senescência das plantas

\*\* Considerando um período de 30 dias para a senescência das plantas

Embora a soja apresente taxas de emissão por unidade de área (hectare) mais baixas do que o milho e o feijão irrigado, a área cultivada com soja na região Centro-Oeste (9.659.300 ha) é maior do que a área plantada com feijão (48.900 ha) e milho (757.600 ha), o que confere uma relevância das áreas cultivadas com soja para as emissões regionais. Nesse contexto, é importante considerar que, em alguns casos, os agricultores realizam três monocultivos de feijão e dois de milho ao longo do ano, e que, embora a área cultivada com algodão seja relativamente pequena (658.400 ha) existem incentivos do Governo para a sua expansão.

A Tabela 2.6 apresenta as emissões regionais de N-NO (Gg), N-N<sub>2</sub>O (Gg) e C-CO<sub>2</sub> (Tg) durante o período de cultivo do milho, feijão irrigado, soja e algodão.

**Tabela 2.6.** Emissões regionais de N-NO (Gg), N-N<sub>2</sub>O (Gg) e C-CO<sub>2</sub> (Tg) durante o período de cultivo do milho, feijão irrigado, soja e algodão.

Áreas de estudo	Período	Área ocupada no Centro-Oeste (ha) *	Emissões regionais N-NO (Gg)	Emissões regionais N-N <sub>2</sub> O (Gg)	Emissões regionais C-CO <sub>2</sub> (Tg)
Milho	Ago.03 Fev.04	757.600,0	0,23	-0,30	6,70
Feijão irrigado	Jun.04 Out.04	48.900,0	0,02	0,01	0,30
Soja*	Nov.03 Fev.04	9.659.300,0	7,70	-0,40	54,10
Soja**	Nov.03 Fev.04	9.659.300,0	7,70	0,70	54,10
Algodão	Nov.04 Ago.05	658.400,0	0,50	0,10	5,00

\* Considerando um período de 20 dias para a senescência das plantas

\*\* Considerando um período de 30 dias para a senescência das plantas

\*\*\* Fonte: Conab (www.conab.gov.br)

## 6.5. Fator de Emissão Induzida por Fertilizante para N-NO e N-N<sub>2</sub>O

O Fator de Emissão Induzida por Fertilizantes (FEI) é definido pelo IPCC (2007) como a emissão de N, na forma de N-NO e N-N<sub>2</sub>O, proveniente de áreas fertilizadas subtraindo-se a emissão provenientes de uma área referência não fertilizada (partindo do princípio de que todas as outras condições são similares às do solo fertilizado). O FEI é expresso em percentagem do total de N aplicado.

A Tabela 2.7 apresenta a quantidade de N aplicada em cada cultivo via fertilizante químico e o Fator de Emissão Induzida por Fertilizantes para N-NO e N-N<sub>2</sub>O.

**Tabela 2.7.** Quantidade de N aplicada via fertilizante e Fator de Emissão Induzida por Fertilizantes (FEI) para N-NO e N-N<sub>2</sub>O em cultivos de milho, feijão irrigado, soja e algodão estabelecidos em Latossolo da Região de Cristalina, estado de Goiás.

Áreas de estudo	Total de N aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	FEI N-NO (%)	FEI N-N <sub>2</sub> O (%)
<b>Fazenda Dom Bosco</b>			
Milho	155,3	0,1	0,3
Feijão irrigado	102,7	0,2	0,2
Soja	21,2	0,0	0,0
<b>Fazenda Pamplona</b>			
Algodão	150,0	0,4	0,2

O FEI estabelecido pelo IPCC (2007) para N-NO é de 0,7% e para N-N<sub>2</sub>O 1% do N aplicado via fertilizantes. Nossos resultados indicaram que o FEI para NO e N<sub>2</sub>O, nas condições ambientais de Cerrado e de cultivo adotadas na Região, são mais baixos que o estabelecido pelo IPCC (2007). No entanto, estes resultados apresentam possíveis impactos no Inventário Nacional de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.

## 7. CONCLUSÕES

*Com relação aos efeitos da fertilização nitrogenada e das variáveis ambientais sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio nos cultivos sem irrigação (milho, soja e algodão), conclui-se:*

1. As fertilizações nitrogenadas em cobertura com uréia, 103,2 e 18,4 kg N ha<sup>-1</sup> no cultivo de milho e 90 kg N ha<sup>-1</sup> no de algodão, associadas à disponibilidade de água no solo elevaram os fluxos de N-NO em relação aos mensurados no cerrado. No

cultivo do algodão, a disponibilidade de  $\text{N-NH}_4^+$  explicou em 85% os fluxos de N-NO na entrelinha de plantio.

2. A ausência de fertilização nitrogenada no cultivo da soja induziu a fluxos de N-NO semelhantes aos mensurados no cerrado.

3. Em nenhuma das culturas de sequeiro as fertilizações nitrogenadas induziram o aumento nos fluxos de  $\text{N-N}_2\text{O}$ .

4. No cultivo do algodão, a fertilização nitrogenada aplicada paralela à linha de plantio com  $90 \text{ kg N ha}^{-1}$  na forma de uréia incrementou os fluxos de N-NO em relação aos mensurados no cerrado, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio. A disponibilidade de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo explicou em 85% dos fluxos de N-NO nas entrelinhas do algodão.

*Com relação aos efeitos da associação da fertilização nitrogenada e da irrigação, e das variáveis ambientais, sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio no cultivo do feijão irrigado, conclui-se:*

5. No cultivo do feijão irrigado, a irrigação associada às fertilizações nitrogenadas com  $81 \text{ kg N ha}^{-1}$  (33 DAE) e  $2,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (47 DAE) na forma de uréia elevaram os fluxos de N-NO e  $\text{N-N}_2\text{O}$  em relação aos mensurados no cerrado. A disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  explicou 82% dos fluxos de N-NO durante o cultivo do feijão irrigado.

*Com relação aos efeitos do desenvolvimento das culturas sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio, conclui-se:*

6. No final dos ciclos da soja, feijão irrigado e algodão os fluxos de  $\text{N-N}_2\text{O}$  foram incrementados em relação aos mensurados no cerrado. No entanto, contrariando o esperado, os fluxos de N-NO permaneceram semelhantes aos mensurados no cerrado.

*Com relação aos efeitos da fertilização nitrogenada e das variáveis ambientais sobre os fluxos de  $\text{C-CO}_2$  nos cultivos sem irrigação, conclui-se:*

7. Durante o cultivo do milho os fluxos de C-CO<sub>2</sub> foram maiores que os mensurados no cerrado e ainda maiores após as fertilizações. Enquanto que, no cultivo da soja e do algodão os fluxos foram semelhantes aos do cerrado. A disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> explicou em 55% os fluxos de C-CO<sub>2</sub> no cultivo do milho, e a umidade do solo explicou em 63% na soja e em 88% nas linhas e 78% nas entrelinhas do algodão.

*Com relação aos efeitos da fertilização nitrogenada associada à irrigação e das variáveis ambientais sobre os fluxos de C-CO<sub>2</sub> no cultivo do feijão irrigado, conclui-se:*

8. Durante o cultivo do feijão a irrigação induziu o aumento nos fluxos de C-CO<sub>2</sub> em relação ao cerrado, sendo os fluxos ainda maiores após a fertilização com 81 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de uréia. Nenhuma das variáveis explicou os fluxos de C-CO<sub>2</sub>.

*Com relação ao efeito da linha e entrelinha de plantio e das variáveis ambientais sobre os fluxos de C-CO<sub>2</sub>, conclui-se:*

9. No decorrer do cultivo do algodão, os fluxos de C-CO<sub>2</sub> medidos na linha foram semelhantes aos medidos na entrelinha. A umidade do solo explicou 88% dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> medidos nas linhas e 78% dos medidos nas entrelinhas.

*Com relação aos efeitos dos diferentes sistemas de cultivo e históricos de uso do solo sobre os estoques de C e N total no solo, conclui-se:*

10. Em comparação ao cerrado nativo, os sistemas milho-*Brachiaria*-feijão irrigado e soja seguida por vegetação natural induziram a perdas nos estoques de C e N do solo na camada de 0 a 30 cm, enquanto que o sistema algodão de sequeiro cultivado sob palhada de *Brachiaria* em rotação com soja também de sequeiro apresentou valores de estoque de C e N semelhantes aos do cerrado. No entanto, o efeito da rotação sobre a manutenção do C e do N no solo não é conclusivo. No caso do Cerrado, mais estudos são necessários para indicar práticas agrícolas com o objetivo de conservar o C do solo e simultaneamente evitar perdas de N por emissões de N-NO e N-N<sub>2</sub>O.

*Com relação aos Fatores de Emissão Induzida por Fertilizantes para N-NO e N-N<sub>2</sub>O e balanço de emissões para o Centro-Oeste brasileiro, conclui-se:*

11. Em todos os cultivos estudados (milho, feijão irrigado e algodão), os valores foram menores que os estabelecidos em 2007 pelo IPCC. Os FEI para N-N<sub>2</sub>O e N-NO determinados neste estudo poderão contribuir para refinar o Inventário Nacional das Emissões de Gases Estufa. Na Região Centro-Oeste do Brasil, baixos fluxos de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> mensurados em Latossolos sob cultivo podem ter um importante impacto regional quando a área total de Cerrado sob a agricultura é considerada. Dentre as culturas analisadas neste estudo, a soja foi a que apresentou emissões de N-NO e C-CO<sub>2</sub> por hectare inferiores ao cerrado nativo. No entanto, quando as áreas ocupadas pelas culturas na Região Centro-Oeste foram consideradas, a soja foi a cultura que apresentou o maior impacto nas emissões regionais de N-NO em relação ao milho, ao feijão irrigado e ao algodão. No solo sob cultivo de soja as emissões N-N<sub>2</sub>O por unidade de área foram semelhantes as emissões provenientes do solo nativo. Quando foi considerada a área cultivada na Região Centro-Oeste, a soja se comportou como um pequeno dreno de N-N<sub>2</sub>O, se considerado um período de 20 para a senescência das plantas, ou como uma forte fonte de N-N<sub>2</sub>O, se considerado um período de 30 para a senescência das plantas.

Os valores das emissões regionais de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> apresentados neste estudo são estimativas preliminares. Assim, existe a necessidade de modelos mais complexos que considerem os efeitos do teor de água, temperatura e disponibilidade de N no solo. No caso específico das emissões de N-N<sub>2</sub>O, há necessidade de uma melhor compreensão dos processos que estão relacionados com a produção e o consumo deste gás em Latossolos de cerrado cultivados, especialmente em decorrência das mudanças ocorridas no requerimento e na alocação do N na planta durante a senescência e mortalidade de raízes.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Akiyama, H.; Tsuruta, H.; Watanabe, T. N<sub>2</sub>O and NO emissions from soils after the application of different chemical fertilizers. *Chemosphere – Global Change Science*. v. 2, p. 313-320, 2000.

Alves, B. J. R.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S. The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant and Soil*. v. 252, p. 1-9, 2003.

Alves, B. J. R.; Zotarelli, L.; Fernandes, F. M.; Heckler, J. C.; de Macedo, R. A. T.; Boddey, R. M.; Jantalia, C. P.; Urquiaga, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 41, n. 3, p.449-456, 2006.

Anderson, J. P.; Domsch, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 10, p. 215-221, 1978.

Bustamante, M. M. da C.; Corbeels, M.; Scopel, E.; Roscoe, R. Soil carbon storage in the Cerrado Region of Brazil. In: Rattan, L.; Cerri, C. C.; Bernoux, M.; Etchevers, J.; Cerri, E. Org. Carbon sequestration in soil of Latin America. The Haworth Press. Cap. 14, p. 285-304, 2006.

Carvalho, A. Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição de resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases. *Tese de Doutorado*. Brasília-DF. 199 p., 2005.

Carvalho, A. M. de; Bustamante, M. M. C.; Kozovits, A. R.; Miranda, L. N. de; Vivaldi, L. J.; Sousa, D. M. de. Emissão de óxidos de nitrogênio associada à aplicação de uréia sob plantio convencional e direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 41, n. 4, p. 679-685, 2006.

Chapuis-Lardy, L.; Wrage, N.; Metay, A.; Chotte, J-L.; Bernoux, M. Soils, a sink for N<sub>2</sub>O? A review. *Global Change Biology*. v. 13, p.1-17, 2007.

Chikowo, R.; Mapfumo, P.; Nyamugafata, P.; Giller, K. E. Mineral N dynamics, leaching and nitrous oxide losses under maize following two-year improved fallows on a sandy loam soils in Zimbabwe. *Plant and Soil*. v.259, p. 315-330, 2004.

Corrêa, J. C.; Sharma, R. D. Produção do algodão herbáceo em plantio direto no cerrado com rotação de cultura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 39, n. 1, p. 41-46, 2004.

Crutzen, P.J.; L.E. Hiedt, J.P. Krasnec, W.L. Pollock, and W. Seiler, Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO, CH<sub>3</sub>Cl, and COS. *Nature*. 282, 253-256, 1979.

Davidson, E. A.; Matson, P. M.; Vitousek, R.; Riley, R.; Dunkin, K; Garcia-Mendez, G.; Maass, J. M. Processes regulating soil emissions of NO and N<sub>2</sub>O in a seasonally dry tropical forest. *Ecology*. v. 74, p. 130-139,1993.

Davidson, E. A.; Keller, M.; Erickson, H. E.; Verchot, L. V.; Valdcamp, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. *BioScience*. v. 50, n. 8, p.667-680, 2000.

- Davidson, E. A.; Ackerman, L. Change in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soil. *Biogeochemistry*. v. 20, p. 161-193, 1993.
- Dynia, J. F.; Camargo, O. A. Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 34, n. 1, p. 141-144, 1999.
- Eiten, G.. The Cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review*. v. 38, p. 201-341, 1972.
- Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 412 p., 1999.
- Fehr, W. R.; Caviness, C. E.; Burmood, D. T.; Pennington, J. S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) MERRILL. *Crop Science*. v. 11, p. 929-931, 1971.
- Giacomini, S. J.; Jantalia, C. P.; Aita, C.; Urquiaga, S. S.; Alves, B. J. R. Emissão de óxido nitroso com aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 41, n. 11, p. 1653-1661, 2006.
- Hall, S. J.; Matson, P. A.; Roth, P. M. NO<sub>x</sub> emissions from soil: implications for air quality modeling in agricultural regions. *Annu.Rev. Energy Environmental*. n. 21, p. 311-46, 1996.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC AR4 – Fourth Assessment Report, Climate Change 2007: The Scientific Basis. Valencia, 2007.
- Jambert, C.; Delmas, R.; Serça, D.; Thouron, L.; Labroue, L.; Delprat, L. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from fertilized agricultural soil in southwest France. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. v. 48, p. 105-114, 1997.
- Jantalia, C. P.; Vilela, L.; Boddey, R. M.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S. Integração Lavoura-Pecuária como uma tecnologia sustentável para o cerrado: estudo de caso. In: *Manejo de sistemas agrícolas*. Ed. Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Aita, C.; Boddey, R. M.; Jantalia, C. P.; Camargo, F. A. O. Embrapa. Porto Alegre, p. 109-132, 2006.
- Jenkinson, D. S.; Powlson, D. S. The effects of Biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 8, n. 3, p.209-213, 1976.
- Keller, M.; Weitz, A. M.; Bryan, B.; Rivera, M. M.; Silver, W. L. Soil-atmosphere nitrogen oxide fluxes: effects of root disturbance. *Journal of geophysical research*. v.105, NO, D14, p. 17.693-17.698, 2000.
- Klink, C.; Machado, R. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*. v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

Lilienfein, J.; Wilcke, L. V.; Ayarza, M. A.; Lima, S. do C.; Zech, W. Soil fertility under native cerrado and pasture in the Brazilian savanna. *Soil science society journal*. v. 67, n. 4, p. 1195-1205, 2003.

Linn, D. M.; Doran, J. W. Effects of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal*. v. 48, p. 1267-1272, 1984.

Meier, M. Nitratbestimmung in Boden-proden (N-min-Methode). *Labor Praxis* – abril:244-247 p., 1991.

Metay, A.; Oliver, R.; Scopel, E.; Douzet, J-M.; Moreira, J. A. A.; Maraux, F.; Feigl, B. J.; Feller, C. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions soil under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). *Geoderma*. v. 141, p. 78-88, 2007.

Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Vezzani, F. M.; Lovato, T.; Fernandes, F. F.; Debarba, L. Manejo de solo e culturas e suas relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. *Tópicos Ci. Solo*. n. 3, p.165-208, 2003.

Minami, K. Atmospheric methane and nitrous oxide: source, sinks and strategies for reducing agricultural emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. v. 49, p.203-211, 1997.

Nardoto, G. B.; Bustamante, M. M. C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 38, p. 955-962, 2003.

Neill, C.; Melillo, J. M.; Steudler, P. A.; Cerri, C. A.; de Moraes, J. F. L.; Piccolo, M. C.; Brito, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. *Ecological Applications*. v. 7, n. 4, p.1216-1225,1997.

Neto, W.N.; Andrade, S. M. A.; Miranda, H. S. The dynamics of the herbaceous layer following prescribed burning: a four year study in the Brazilian savanna, in *Proceedings of the 14<sup>th</sup> Conference of Fire and Forest Meteorology II*, edited by D.X. Viegas, pp. 1785-1792, University of Coimbra, Portugal, 1998.

Pinto, A. S.; Bustamante, M. M. C.; Kisselle, K.; Burke, R.; Zepp, R.; Viana, L. T.; Varella, R. F.; Molina, M. Soil emissions of N<sub>2</sub>O, NO and CO<sub>2</sub> in Brazilian savannas: effects of vegetation type, seasonality, and prescribe fire. *Journal of geophysical research*. v. 107, n. D20, p. 57-1/9, 2002.

Pinto, A. S.; Bustamante, M. M. C.; da Silva, M. R. S. S. Effects of different treatments of pasture restoration on soil trace gas emissios in the cerrados of Central Brazil. *Earth Interactions*. v. 10, n. 1, p. 1-26, 2006.

Passianoto, C. C.; Ahrens, T.; Feigl, B. J.; Steudler, P. A.; do Carmo, J.; Melillo, J. M. Emissions of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and NO in conventional and no-till management practices in Rodônia, Brazil. *Biol. Fertil. Soils*. v. 38, p. 200-208, 2003.

- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: *Cerrado ambiente e flora*. Sano, S. M; Almeida, S. P. (eds). Planaltina-DF. p. 89-152, 1998.
- Salton, J. C. Alternativas para produzir palha no Mato Grosso do Sul. In: *Plantio direto no Brasil*. Passo Fundo: Aldeia Norte, p. 159-162, 1993.
- Sisti, C. P. J.; Santos, R.; Kohhann, B. J. R.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. Changes in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 year of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*. v. 18, p. 541—547, 2004.
- Sitaula, B. K.; Hansen, S.; Sitaula, J. I. B.; Bakken, L. R. Effects of soil compaction on N<sub>2</sub>O emission in agricultural soil. *Chemosphere – Global Change Science*. v.2, p. 367-371, 2000.
- Varella, R. F.; Bustamante, M. M. C.; Pinto, A. S.; Kisselle, K. W.; Santos, R. V.; Burke, R. A.; Zepp, R. G.; Viana, L. T. Soil fluxes of CO<sub>2</sub>, CO, NO, and N<sub>2</sub>O from an old pasture and from native savanna in Brazil. *Ecological Society of America*. v.14, n. 4, p. s221-s231, 2004.
- Vargas, M. A. T.; Mendes, I. C.; Hungria, M. Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to *Rhizobium* inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. *Biol. Fertil Soils*. v. 32, p. 228-233, 2000.
- Varner, R. K.; Keller, M.; Robertson, J. R. Experimentally induced root mortality increased nitrous oxide emission from tropical forest soils. *Geophysical Research Letters*. v. 30, p. 1141-1145, 2003.
- Veldkamp, E. Organic carbon turnover in the three tropical soil under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*. v. 58, p. 175-180, 1994.
- Verchot, L.V.; Davidson, E. A.; Cattânio, J. H.; Ackerman, I. L.; Erickson, H. E.; Keller, K. Land use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia, *Global Biogeochem. Cycles*. v. 13, p. 31-46, 1999.
- Zepp, R. G.; Miller, W. L.; Burke, R. A. Effects of moisture and burning on soil-atmosphere exchange of trace carbon gases in a southern African savanna, *J. Geophys. Res.* v. 101, p. 23699-23706, 1996.

### EMISSÕES DE NO, N<sub>2</sub>O E CO<sub>2</sub> EM LATOSSOLO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL.

#### 1. INTRODUÇÃO

Até o início dos anos 70, a pecuária desenvolveu-se na região do Cerrado como atividade altamente extrativista utilizando predominantemente pastagens nativas. A partir de meados da década de 70, a substituição da vegetação natural de Cerrado pelas pastagens cultivadas estabeleceu o marco inicial de transformação da pecuária e representou uma alternativa para aumentar a produção de carne na Região Centro-Oeste, através da introdução de espécies vegetais forrageiras de origem africana adaptadas ao clima e aos solos ácidos, especialmente espécies do gênero *Brachiaria*. Nos anos 80, outras gramíneas exóticas foram introduzidas com êxito no Cerrado, destacando-se as várias cultivares de *Andropogon gayanus* e *Panicum maximum*.

No decorrer das últimas décadas tem-se registrado um desenvolvimento gradativo da pecuária na Região com avanços quantitativos expressivos, relacionados à ampliação das áreas sob pastagem e do rebanho bovino. Dados da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne mostram que o rebanho bovino saltou de 158,2 milhões de cabeças em 1994 para 192,5 milhões em 2004. Atualmente, a Região Centro-Oeste ocupa posição de destaque no setor agrícola brasileiro, concentrando o maior rebanho bovino de corte com mais de 65 milhões de cabeças ([www.abiec.com.br](http://www.abiec.com.br)).

No entanto, tem-se observado pouco avanço em termos qualitativos nas pastagens instaladas. O manejo tradicionalmente adotado nas áreas de Cerrado deflagrou processos de exaustão e degradação dos solos das pastagens imprimindo a redução da capacidade produtiva dessas pastagens. No mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado realizado por Sano et al. (2008) com a utilização de imagens de satélite, os autores identificaram 80 milhões de hectares sob diferentes usos da terra, sendo que as pastagens cultivadas ocupam

cerca de 54 milhões. Da área total ocupada por pastagens cultivadas, 25 milhões de hectares estão em avançado estágio de degradação (Oliveira et al., 2004) em decorrência de pressão de pastejo inadequada, ausência de fertilização corretiva e de manutenção (Martha Júnior e Vilela, 2002). Um fato que agrava ainda mais a situação das pastagens no Centro-Oeste é o efeito negativo provocado pela entressafra na estação seca. É nesse período que a capacidade de produção de forragem é reduzida, impondo o efeito “gangorra” no ganho de peso do gado, com emagrecimento de até 270 g peso vivo dia<sup>-1</sup> e até mesmo morte dos animais (Oliveira et al., 1996). Além disso, é na estação seca que o solo fica parcialmente ou totalmente descoberto. O período seco em pastagens na região do Cerrado dura cerca de cinco meses e provoca perdas econômicas para o pecuarista e agrava o estado de degradação dos solos.

Nos últimos anos a Região Centro-Oeste também vem apresentando taxas crescentes nos índices de produção e produtividade de grãos e fibras. No entanto, observa-se a utilização intensiva de monocultivos de verão, principalmente a soja. Em 2004-2005 mais de 13 milhões de hectares foram cultivados no verão e apenas 6,1 milhões de hectares foram cultivados durante o outono e o inverno ([www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)). O problema está diretamente associado ao regime de chuvas do cerrado, que se caracteriza pela sazonalidade. Os cultivos de verão conferem cobertura do solo apenas parte do ano ficando a outra parte totalmente descoberta. Apesar da expansão na utilização do sistema de plantio direto, a predominância dos cultivos de verão é um indicativo de que tem se feito um PD com pouca e muitas vezes nenhuma palhada. Uma solução possível é aproveitar o período das chuvas para, junto com a cultura principal, inserir outra cultura que desempenhe o papel de formadora da palha que ficará no solo até a próxima safra de verão.

O modelo de produção agropecuária adotado na Região Centro-Oeste do Brasil é pouco sustentável em termos econômicos e ambientais por ser altamente vulnerável às condições climáticas e de mercado, favorecer a perda de produtividade a médio e longo prazo (Gilioli, 2000), e induzir a mudanças na estrutura física, química e microbiológica do solo com alterações no ecossistema. O manejo inadequado acelera a perda da matéria orgânica e nitrogênio do solo (Mielniczuk et al., 2003) com possíveis conseqüências na produção e emissão de gases traço (NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>) do solo e atmosfera.

Nesse contexto, o sistema de Integração Lavoura-Pecuária vem se colocando como uma alternativa viável para amenizar a vulnerabilidade da pecuária e da agricultura com a utilização de práticas conservacionistas de manejo de solo e diversificação das atividades (Kluthcouski et al., 2003). Barreirão e Santa Fé são exemplos de sistemas que conseguem unir lavoura e pecuária em uma mesma área com resultados bastante positivos. O sistema Barreirão é uma tecnologia de recuperação/renovação de pastagem em consórcio com culturas anuais

O sistema de Integração Lavoura-pecuária instalado em áreas de Cerrado caracteriza-se pela utilização do consórcio de culturas ou cultivos múltiplos de espécies graníferas (especialmente milho, sorgo, milheto e soja) com leguminosas e forrageiras tropicais, principalmente as do gênero *Brachiaria*, *Andropogon* e *Panicum*, tanto no sistema de plantio direto como convencional (Kluthcouski e Aidar, 2003). A ocupação da área sob Integração Lavoura-Pecuária se altera ano a ano em função das muitas possibilidades de combinação entre as culturas graníferas e as espécies forrageiras, dos fatores climáticos e econômicos, e dos objetivos do agropecuarista.

O sistema de Integração Lavoura-Pecuária constitui-se numa importante ferramenta para garantir a sustentabilidade do agronegócio, com possíveis benefícios ambientais por proporcionar uma cobertura do solo diversificada durante a maior parte do ano. Entretanto, o sistema de Integração Lavoura-Pecuária ainda não tem sido sistematicamente adotado pelos produtores rurais em função do desconhecimento ou da resistência dos pecuaristas à agricultura e da resistência dos agricultores à pecuária. Contudo, a expectativa de ampliação da área sob sistema de Integração Lavoura-Pecuária, especialmente em solos no Cerrado com algum grau de degradação, é bastante grande. Desde o início dos anos 2000 o sistema de Integração Lavoura-Pecuária tem sido amplamente recomendado e incentivado pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), e em 2006 o Governo Federal lançou o Programa de Transferência de Tecnologia para a Integração Lavoura-Pecuária que estimula a expansão na Região dos Cerrados, dá suporte técnico e orienta investimentos para a atividade.

Embora alguns estudos já tenham determinado as emissões de gases traço de solos sob pastagem (Varella et al. 2004 e Pinto et al. 2006) e sob culturas anuais (Carvalho 2005; Carvalho et al. 2006; Metay et al, 2007; capítulo 1 e capítulo 3 na presente tese) na região do Cerrado, não há nenhum estudo sobre os níveis de

emissão de gases traço ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) do solo para a atmosfera em sistema de Integração Lavoura-Pecuária.

## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESES:**

### **2.1. Objetivos:**

1. Avaliar as emissões de  $\text{N-NO}$ ,  $\text{N-N}_2\text{O}$  e  $\text{C-CO}_2$  em um Latossolo Vermelho sob sistema de Integração Lavoura-Pecuária, tendo como referência as emissões em um Latossolo sob vegetação de cerrado sentido restrito;
2. Determinar as relações entre os fluxos de  $\text{N-NO}$ ,  $\text{N-N}_2\text{O}$  e  $\text{C-CO}_2$  e umidade do solo, disponibilidade de nitrogênio inorgânico, carbono da biomassa microbiana, temperatura do solo (2,5 e 5,0 cm de profundidade);
3. Determinar o Fator de Emissão induzida por Fertilizantes Nitrogenados para  $\text{NO}$  e  $\text{N}_2\text{O}$  em cada um dos cultivos que compõem o sistema de Integração Lavoura-Pecuária, feijão de sequeiro, sorgo e pastagem.

### **2.2. Hipóteses:**

*Com relação ao efeito das fertilizações nitrogenadas nos cultivos da Integração Lavoura-Pecuária, sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio foi levantada a seguinte hipótese:*

**Hipótese 1.** Durante os cultivos do sorgo e da pastagem a entrada de nitrogênio no solo via fertilização e a disponibilidade de água via precipitação, elevam os valores de fluxo de óxidos de nitrogênio ( $\text{N-NO}$  e  $\text{N-N}_2\text{O}$ ) do solo para a atmosfera em relação ao solo nativo.

*Com relação ao efeito da adição de  $\text{N}$  orgânico, no solo de pastagem sob pastejo, sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio foi levantada a seguinte hipótese:*

**Hipótese 2.** Durante o cultivo da pastagem, a adição de N orgânico, via excretas dos animais em pastejo, incrementa os fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O.

*Com relação ao efeito da diversidade de cultivos sobre os fluxos de CO<sub>2</sub> foi levantada a seguinte hipótese:*

**Hipótese 3.** A diversidade de cultivos utilizados na ILP, graníferas (feijão e sorgo granífero) e forrageiras (sorgo forrageiro, *Panicum* e *Brachiaria*), em consórcio e/ou rotacionados, incrementa a disponibilidade de C facilmente decomponível no solo e como consequência os fluxos de C-CO<sub>2</sub> em relação à área nativa de cerrado.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área de estudo**

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Dom Bosco (16° 18' S e 47° 30' W), localizada em Cristalina estado de Goiás a 100 km de Brasília-DF, durante o período de agosto de 2003 a abril de 2005.

A Fazenda Dom Bosco possui uma área total de 2.999,4 ha, dos quais 235,0 ha são de Reserva Legal, 620,5 ha de Área de Preservação Permanente e 504,0 ha de lavoura, 210,0 ha de agricultura irrigada, 1183,0 ha de pastagem. Do total da área cultivada 218,0 ha são ocupados com sistema de Integração Lavoura-Pacuária.

#### **3.2. Características edafo-climáticas**

O clima da região é do tipo Tropical Estacional (Aw) segundo a classificação de Köppen. A sazonalidade é marcada por verões chuvosos e invernos secos. A precipitação pluviométrica média que varia de 1500 a 1800 mm por ano, concentra-se, quase que totalmente, no período de novembro a abril, enquanto o período seco vai de maio a outubro, quando ocorre na região um déficit hídrico. No período de estudo os dados de precipitação foram fornecidos diariamente por uma estação pluviométrica localizada na própria Fazenda Dom Bosco.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 1999), o solo da Fazenda Dom Bosco sob Integração Lavoura-Pecuária e sob cerrado nativo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com pH ácido na Integração (5,2 a 6,1) e muito ácido no cerrado (5,1 a 5,2). No solo sob ILP a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) variou de 11,0 cmolc/dm<sup>3</sup> com saturação de base de 76,3% na profundidade de 0-5 cm até 7,8 cmolc/dm<sup>3</sup> com saturação de base de 52,7% na profundidade de 20-30 cm. No solo sob cerrado nativo, a CTC variou de 9,0 cmolc/dm<sup>3</sup> com saturação de base de 10,3% na profundidade de 0-5 cm até 7,5 cmolc/dm<sup>3</sup> com saturação de base de 4,7% na profundidade de 20-30 cm.

A classe textural predominante para as duas áreas é argila pesada, e a densidade aparente na camada de 0 a 5 cm foi 0,9 g cm<sup>-3</sup> no solo da Integração e 0,8 g cm<sup>-3</sup> no cerrado. As características físicas do solo sob Integração Lavoura-Pecuária e sob vegetação nativa de cerrado estão apresentadas na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Propriedades físicas (Médias ± erro padrão, n = 20) na profundidade de 0 a 5 cm, de Latossolo Vermelho distrófico sob sistema de Integração Lavoura-Pecuária e sob vegetação de cerrado sentido restrito na Fazenda Dom Bosco em Cristalina-GO (2003/2005).

Área de estudo	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Dap (g cm <sup>-3</sup> )	Porosidade (%)
Cerrado	12,0±0,5	20,3±0,9	67,8±0,9	0,8±0,01	69,8±0,2
Integração lavoura-pecuária	11,1±0,7	19,1±0,9	69,7±0,5	0,9±0,01	66,4±0,3

Dap = densidade aparente do solo.

### 3.3. Sistema de integração lavoura-pecuária (ILP)

A área da Fazenda Dom Bosco que atualmente é utilizada para o ILP foi aberta em 1975 com a utilização de correntões, e até 1985 foi utilizada para o cultivo de soja. Entre os anos de 1985 a 1998 foi utilizada como pastagem de *Panicum maximum* cv. Vencedor e *Brachiaria brizantha*. Desde 1998 vem sendo utilizada no sistema de ILP. Hoje o sistema ILP representa importante fonte de divisas para a Fazenda Dom Bosco, com a capacidade de suporte de 1,5 animais por hectare,

produção de forragem e silagem na entressafra, e palhada para a cobertura do solo na estação seca.

O sistema ILP estabelecido na Fazenda durante o período de estudo (setembro de 2003 a abril de 2005) caracterizou-se pelo cultivo de feijão (*Phaseolus vulgaris* do tipo “Preto”) de sequeiro (dezembro de 2003 a março de 2004), estabelecido sobre a palhada de *Panicum maximum* cv. Tanzânia plantada em outubro e dessecada com herbicida (Transorb) em novembro de 2003. Imediatamente após colheita do feijão, cultivou-se sorgo híbrido (*Sorghum bicolor*) para silagem em consórcio com *Panicum maximum* cv. Mombaça. Depois da colheita do sorgo que ocorreu em junho de 2004, a área coberta com capim Mombaça foi submetida ao pastejo por 15 dias. Após um período de pousio que durou de julho a novembro de 2004 (estação seca) a pastagem se regenerou (estação úmida). Devido ao histórico de uso da área, houve regeneração de *Brachiaria* sp. juntamente com *Panicum maximum*.

Durante o pousio, a área de ILP, onde a parcela observacional foi estabelecida, foi utilizada como corredor para o gado. Nesse período, embora o solo tenha ficado descoberto, houve deposição de excretas dos animais.

### **3.4. Manejo das culturas na ILP**

As culturas adotadas em ILP da Fazenda Dom Bosco (feijão de sequeiro, sorgo, pastagem) foram cultivadas em sistema plantio direto. As sementes de feijão do tipo “Preto”, para o cultivo de sequeiro, foram produzidas na própria fazenda. Antes do plantio, a área foi tratada com duas aplicações de herbicida para dessecação (Transorb). No decorrer do desenvolvimento da cultura, foram realizadas quatro aplicações de fungicidas (duas de Mertin + Tilt, uma de Tilt + Stratego e uma de Stratego), e uma de inseticida (Mentox). Durante o período do cultivo consorciado sorgo/capim mombaça, não foram realizadas aplicações de defensivos agrícolas.

O manejo das fertilizações realizadas durante os cultivos foi aquele adotado comumente pelos agricultores da Região e tiveram como base a análise da fertilidade do solo. Em geral, a disponibilidade residual dos nutrientes aplicados via fertilização nos cultivos anteriores e a manutenção dos restos culturais e da palhada sobre o solo é suficiente para manter a pastagem cultivada produtiva sem a

necessidade da fertilização nitrogenada em cobertura. Em janeiro de 2005, a pastagem da ILP na Fazenda Dom Bosco foi fertilizada em virtude da formação da pastagem ter sido por regeneração e não por semeadura. A Tabela 3.2 descreve as fertilizações realizadas nos cultivos do feijão de sequeiro, sorgo e pastagem.

**Tabela 3.2.** Manejo das fertilizações na área de Integração Lavoura-Pecuária, no período de novembro de 2003 a abril de 2005, na Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO.

Cultivos	Período de cultivo Plantio-colheita	Datas das fertilizações	Datas das coletas	Estágio da cultura	Quantidade de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fonte de N
Feijão de sequeiro	09/12/03	09/12/03	16/12/03	Plantio	16,4	- MAP***
	11/03/04	30/12/03	-----	14 DAE*	74,3	- Uréia
Sorgo	18/03/04	17/04/04	19/04/04	15 DAE*	54,0	- Uréia
	01/06/04					
Pastagem	17/12/04 06/04/05	25/01/05	26/01/05	80 DAE*	72,0**	- Uréia

\* DAE = Dias após a emergência

\*\* Fertilização aplicada apenas em pastagem regenerada

\*\*\* MAP = fosfato mono-amônico

### 3.5. Delineamento observacional

Na área de ILP e no cerrado sentido restrito, as determinações dos fluxos de gases traço e as coletas de solos foram realizadas em uma parcela de 5 x 10 m, previamente sorteada e estabelecida. Dentro da parcela fixada na área da ILP e na área de cerrado nativo, em todas as coletas foram instaladas em disposição aleatória seis bases de PVC para a coleta de NO e CO<sub>2</sub>, e quatro bases para a coleta de N<sub>2</sub>O. Cada base instalada na parcela, tanto da área cultivada quanto sob vegetação de cerrado correspondeu a uma repetição e distavam das demais pelo menos 2,0 m.

Na área nativa, durante as amostragens, as câmaras eram distribuídas de forma aleatória, assim algumas foram alocadas em local com cobertura de espécies lenhosas e outras em local sem cobertura de espécies lenhosas. Adotou-se este

procedimento com o objetivo de mensurar as emissões de gases provenientes do sistema, considerando a heterogeneidade do ambiente.

### **3.6. Determinação dos fluxos de gases**

As medidas de NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> foram realizadas pelo acúmulo do gás em câmaras de PVC, inseridas no solo a aproximadamente 2 cm de profundidade, pelo menos 30 minutos antes das determinações. As câmaras possuíam 24,2 cm de diâmetro e uma altura média de 20 cm, totalizando um volume médio de 8,3 L. A parte superior de cada câmara possuía uma abertura que permitia a manutenção da pressão no seu interior durante a coleta dos gases.

#### **3.6.1. Fluxos de N-NO**

O fluxo de NO dentro das câmaras foi medido em campo, durante 5 minutos, com auxílio de um analisador NoxBox – Scintrex LMA-3, associado a um datalogger, através de uma reação de quimiluminescência entre o gás e um reagente químico (luminol). A reação química libera fótons proporcionalmente a concentração de NO<sub>2</sub> liberado do solo, por isso é necessário fazer a oxidação do NO à NO<sub>2</sub> passando a amostra pelo óxido de cromo (CrO<sub>3</sub>). Como o detector do aparelho é sensível a baixas concentrações utilizou-se a equação descrita em Pinto et al. (2002) para cálculo dos fluxos. O fluxo de NO do solo foi calculado com base na relação linear entre tempo e concentração do gás dentro da câmara.

#### **3.6.2. Fluxos de N-N<sub>2</sub>O**

Para a determinação do fluxo de N<sub>2</sub>O, aproximadamente 35 mL de amostras de ar foram coletados nos tempos 0, 10, 20 e 30 minutos após o fechamento da câmara de PVC, em seringas de náilon (60 mL) adaptadas com válvula de segurança para evitar perda e contaminação das amostras. Em laboratório as amostras de ar foram analisadas por cromatografia gasosa (Shimadzu GC-14A) com detector por captura de elétrons (ECD), no máximo um dia após a coleta das

amostras no campo. Os fluxos foram calculados pela regressão linear das concentrações do gás nos tempos observados.

### **3.6.3. Fluxos de C-CO<sub>2</sub>**

As medidas dos fluxos de CO<sub>2</sub> foram realizadas em campo com um analisador de gás infravermelho (IRGA - Li-Cor 6200) que detecta a concentração do gás a cada segundo por um período de três minutos. Os valores de fluxos foram calculados por regressão linear entre o tempo e a concentração do gás.

### **3.7. Determinação das temperaturas do solo (2,5 e 5,0 cm)**

Paralelamente à determinação dos fluxos de gases, com auxílio de termopares, foram tomadas as temperaturas do solo nas profundidades de 2,5 e 5,0 cm.

### **3.8. Coleta de solo**

Amostras de solo para determinação das concentrações de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), carbono da biomassa microbiana e conteúdo gravimétrico de água, foram coletadas com tubos de PVC com 5 cm de diâmetro enterrados no solo do interior das câmaras até 5 cm de profundidade, após a mensuração dos fluxos de gases.

Em campo, as amostras destinadas à determinação do conteúdo gravimétrico de água eram acondicionadas em latas de alumínio vedadas, enquanto que as destinadas à determinação do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e carbono da biomassa microbiana eram acondicionadas em sacos plásticos e imediatamente refrigeradas. Em laboratório, as amostras para análises químicas permaneceram a 4°C por até um mês antes da realização das análises.

### **3.9. Determinação de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) disponíveis no solo**

A extração de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nas amostras de solo foi realizada em 2,0 g de solo fresco, adicionando-se 25 ml de KCl 2,0M, procedendo-se agitação por 1 hora e filtração em filtro de filtragem lenta após *over night*.

A determinação das concentrações de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foi realizada por espectrofotometria. As leituras de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram efetuadas através da passagem direta de luz ultravioleta pelo extrato nos comprimentos de onda: 218, 228, 254 e 280 nm (Meier, 1991). As leituras de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram efetuadas de acordo com o método de nessler, no comprimento de onda 425 nm.

### **3.10. Determinação do carbono da biomassa microbiana**

Para a determinação do C da biomassa microbiana utilizou-se o método da fumigação-incubação, proposto por Jenkinson e Powlson (1976). O método estima a biomassa microbiana pela diferença nas taxas de liberação do C-CO<sub>2</sub> entre amostras de solo estéreis (amostras fumigadas) e não estéreis (amostras não fumigadas).

Depois de peneiradas em malha de 2 mm, realizava-se o ajuste do conteúdo de água das amostras para 100% da capacidade de campo (45% do conteúdo gravimétrico de água). Em seguida, as amostras eram hermeticamente acondicionadas por 7 dias, quando então metade das amostras era submetida à fumigação com clorofórmio livre de álcool e a outra metade mantida sem fumigação. Após fumigação, todas as amostras foram incubadas por 10 dias em frascos de vidro hermeticamente fechados contendo 10 mL de KOH 0,3N. A quantidade de C-CO<sub>2</sub> liberada das amostras (fumigadas e não fumigadas) era capturada pelo KOH e determinada através de titulação com HCl 0,1M, utilizando-se fenoftaleína como indicador.

Para o cálculo do C da biomassa microbiana utilizou-se uma constante Kc=0,41 (Anderson e Domsch, 1978), a qual considera que 41% do C da biomassa microbiana foi mineralizado durante o período de incubação.

### 3.11. Determinação do Espaço de Poros Preenchido por Água (EPPA)

Nas amostras de solos, o teor gravimétrico de água foi determinado pela diferença entre o peso fresco e o peso seco do solo, após ter permanecido em estufa a 105 °C até peso constante.

Os valores dos teores gravimétricos de água foram convertidos em EPPA (%) através da fórmula descrita por Linn & Doran (1984):

$EPPA \% = (\theta_g \times d_a \times 100 \%) / [1 - (d_a/d_p)]$ , onde:

$\theta_g$  = teor gravimétrico de água na amostra de solo

$d_a$  = densidade aparente do solo (0,90 g cm<sup>-3</sup>)

$d_p$  = densidade de partículas (2,65 g cm<sup>-3</sup>)

### 3.12. Estoques de C e N do solo

Para a determinação dos estoques de C e N do solo foram abertas três trincheiras alocadas aleatoriamente na área da ILP, onde procedeu-se a coleta de amostras de solo nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.

Os teores de matéria orgânica e nitrogênio total em cada camada foram determinados pelo Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Vegetal da Campo Centro de Análises Agrícolas que detém classificação de qualidade “A” na avaliação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solo e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) através do ensaio de proficiência para laboratório de análise de solos para fins agrícolas, bem como na avaliação da EMBRAPA/Centro de Pesquisa de Solos através do seu Programa de Controle de Qualidade em Laboratórios de Fertilidade.

A determinação da matéria orgânica do solo foi realizada pelo método da oxidação via úmida pelo dicromato de potássio em meio ácido e determinado por titulação volumétrica na presença de indicador. Considerou-se que a matéria orgânica contém 58 % de C. Dessa forma, os valores de matéria orgânica foram convertidos em C orgânico dividindo-se pelo fator 1,72.

A determinação do N total nas amostras de solo foi realizada utilizando-se o método micro Kjeldahl com digestão ácida seguida de destilação e determinação do N presente no solo por titulação colorimétrica.

Os estoques de C e N foram calculados a partir das concentrações de C e N, e densidade aparente do solo. As amostras de solo para determinação das densidades aparente em cada uma das camadas foram coletadas com anel volumétrico e em seguida secas a 105 °C até peso constante.

Considerou-se que a densidade aparente poderia ter sido alterada após a conversão do cerrado em ILP e que erros na estimativa do estoque de C e N podem ocorrer quando a amostragem é baseada em uma profundidade fixa, sendo necessário ajustar as massas de solos cultivados tendo como referência a massa de um solo nativo (Davidson and Ackerman, 1993; Veldkamp, 1994; Neill et al., 1997). Nesse estudo, não foi necessário proceder a correção da massa do solo sob ILP pois os valores de densidade aparente não diferiram significativamente em relação ao solo sob vegetação nativa de cerrado.

#### **4. Análise estatística**

Os dados foram analisados estatisticamente com auxílio do programa SPSS versão 13.0 para Windows, admitindo-se  $P < 0,05$ .

Testou-se a normalidade dos dados através do teste Kolmogorov-Smirnov. Existindo normalidade, os dados foram submetidos ao teste de Tukey. Quando a distribuição dos dados diferiu significativamente da distribuição normal, os dados foram submetidos à comparação múltipla não paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis e para determinar as diferenças utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney.

Os fluxos de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub>, foram relacionados às variáveis explicativas (temperatura do solo nas profundidades 2,5 e 5,0 cm, espaço de poros preenchido por água, carbono da biomassa microbiana, teor de N-NO<sub>3</sub><sup>+</sup> e de N-NH<sub>4</sub><sup>-</sup>) através dos modelos lineares de regressão múltipla, testando-se a magnitude da influência das variáveis explicativas pelo procedimento *stepwise*. Para evitar a colinearidade na análise de regressão, utilizou-se apenas uma variável para cada parâmetro estudado (temperatura, umidade e teor de N disponível), em todas as combinações possíveis.

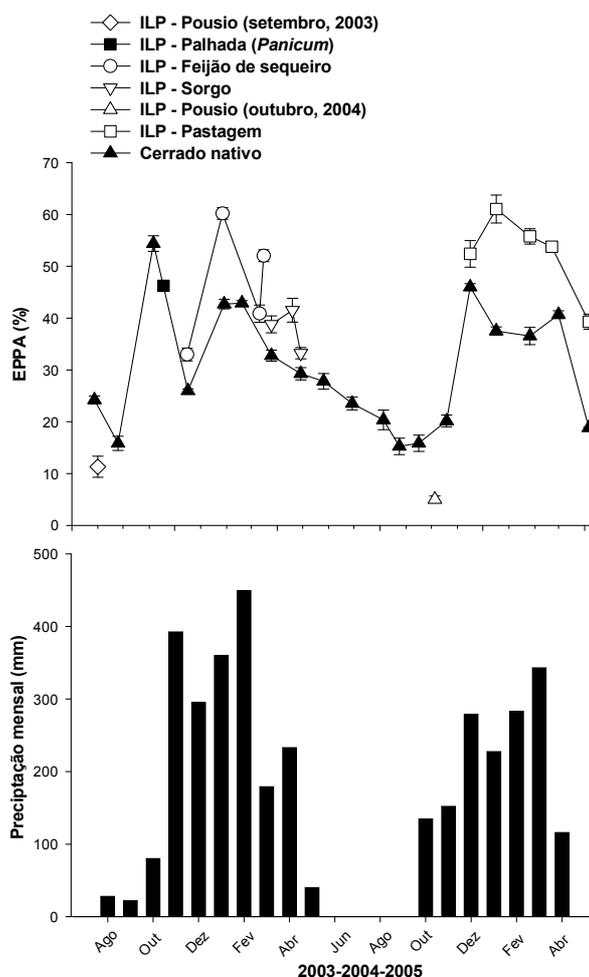
## 5. RESULTADOS

### 5.1. Variações de umidade e temperatura do solo

O período de estudo de ILP abrangeu a estação seca (agosto a setembro de 2003, e maio a setembro de 2004), a estação chuvosa (novembro de 2003 a março de 2004 e novembro de 2004 a março de 2005), a transição seca-chuva (outubro de 2003 e 2004) e a transição da estação chuvosa para a seca seca (abril de 2004 e 2005), Figura 3.1.

Na estação chuvosa (2003-2004) a precipitação pluviométrica total foi 1988,5 mm. Durante esse período, a menor precipitação mensal acumulada foi em março (179,0 mm) e a maior em fevereiro (449 mm). Na estação chuvosa do ano seguinte (2004-2005) a precipitação pluviométrica total foi 1535,0 mm, sendo a menor precipitação mensal acumulada em abril (116,0 mm) e a maior em março (343,0 mm). Nos meses de junho a setembro de 2004 não houve precipitação pluviométrica.

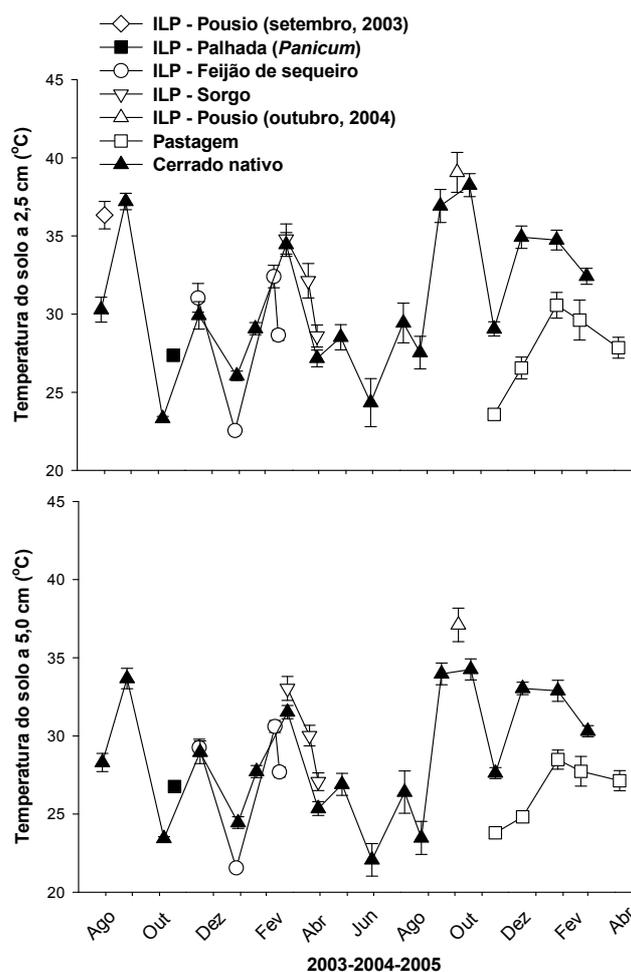
Nas coletas realizadas na área de ILP durante o período de cultivo do feijão de sequeiro e do sorgo (novembro de 2003 a abril de 2004) os valores de EPPA foram semelhantes aos do cerrado, com variação de 29,7 a 60,1% (Figura 3.1). No período de cultivo da pastagem (novembro de 2004 a abril de 2005) os valores de EPPA no solo sob ILP foram significativamente maiores que no cerrado ( $P < 0,001$  e  $F = 2,43$ ) sendo que na área de ILP os valores de EPPA variaram de 39,3% (abril de 2005) a 61,0% (dezembro de 2004), e no solo de cerrado de 18,8% (abril de 2005) a 45,9% (novembro de 2004). Na área de ILP, durante os períodos de pousio (setembro de 2003 e outubro de 2004) os valores de EPPA foram significativamente inferiores aos mensurados no solo de cerrado. Em setembro de 2003, o EPPA na área de ILP foi 11,3% e no cerrado 24,2% ( $P < 0,001$  e  $F = 5,89$ ), em outubro de 2004 o EPPA na área de ILP foi de 5,0% e no cerrado 20,2% ( $P < 0,001$  e  $F = 3,12$ ).



**Figura 3.1.** Espaço de poros Preenchido por Água (média  $\pm$  erro, n=6) em Latossolo Vermelho (profundidade de 0 a 5 cm) sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e sob cerrado nativo e precipitação mensal durante o período de estudo (agosto de 2003 a abril de 2005) na Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO.

Nas coletas realizadas durante os cultivos do feijão de sequeiro e do sorgo as temperaturas do solo foram semelhantes às mensuradas do solo de cerrado e variaram entre 22,6 e 34,8 °C (2,5 cm) e entre 21,5 e 33,0 °C (5,0 cm), Figura 3.2. Durante o período de cultivo da pastagem (novembro de 2004 a abril de 2005) a temperatura do solo foi significativamente menor que no cerrado. A temperatura do solo a 2,5 cm de profundidade na área da ILP variou de 23,6 a 30,6 °C e no solo de cerrado de 29,1 a 34,9 °C ( $P = 0,000$  e  $F = 0,89$ ), e a temperatura do solo a 5,0 cm de profundidade variou de 23,8 a 27,6 °C na ILP e de 28,5 a 33,0 °C no solo de

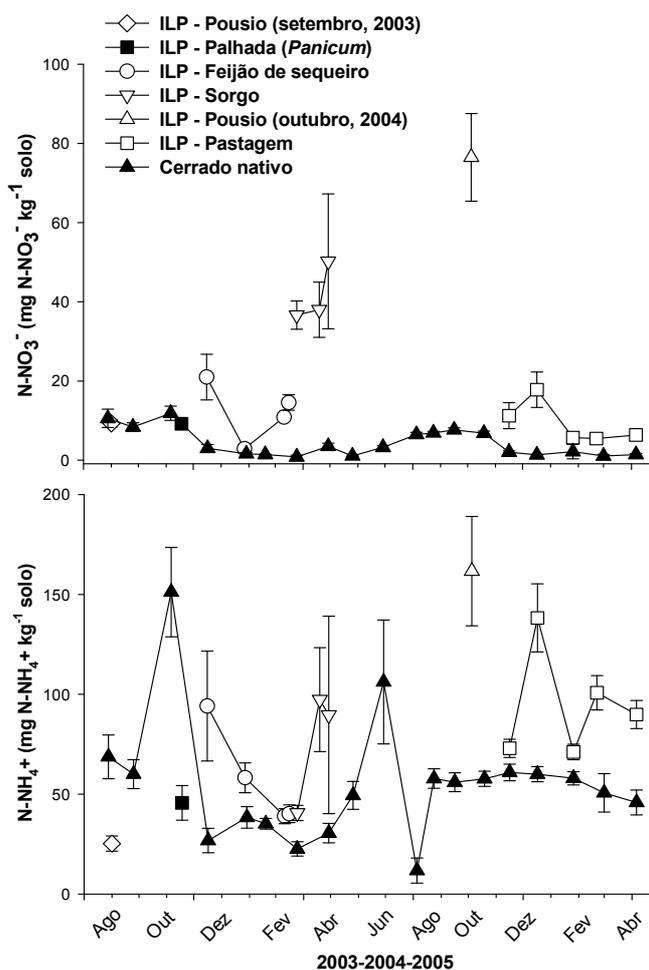
cerrado ( $P = 0,000$  e  $F = 0,92$ ). Na área de ILP, durante o pousio (setembro de 2003) a temperatura do solo a 2,5 cm de profundidade foi cerca de  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  maior ( $36,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) em relação ao solo de cerrado ( $30,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),  $P = 0,000$  e  $F = 0,15$ , e durante o segundo período de pousio (outubro de 2004) a temperatura do solo a 5,0 cm de profundidade foi cerca de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  superior ( $37,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) em relação ao solo de cerrado ( $34,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),  $P = 0,027$  e  $F = 0,65$ .



**Figura 3.2.** Temperatura do solo nas profundidades de 2,5 e 5,0 cm (média  $\pm$  erro,  $n=6$ ) em Latossolo Vermelho sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e sob cerrado nativo na Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO.

## 5.2. Variações no N disponível e no C da biomassa microbiana do solo

Na área de ILP, em novembro de 2003, após a dessecação das plantas de *Panicum maximum* cv. Tanzânia para produção de palhada, a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo ( $9,2 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo) foi significativamente menor ( $P = 0,046$ ) quando comparada com a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  mensurada em dezembro de 2003, sete dias após o plantio do feijão de sequeiro ( $21,0 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo), Figura 3.3.



**Figura 3.3.** Concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$  (média  $\pm$  erro,  $n=6$ ) em Latossolo Vermelho (0 a 5 cm de profundidade) sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e sob cerrado nativo na Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO.

Em janeiro de 2004, durante o crescimento da cultura houve redução significativa ( $P = 0,001$ ) da concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  ( $2,9 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo). No

final do ciclo do feijão de sequeiro, março de 2004 (um dia antes e um dia após a colheita) registrou-se incremento na concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  ( $12,7 \text{ mg N kg}^{-1}$  solo) em relação à fase de crescimento da cultura ( $P = 0,039$ ).

Na área de ILP, a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  mensurada durante o cultivo do sorgo foi cerca de duas vezes maior em relação à mensurada durante o cultivo do feijão de sequeiro ( $P = 0,000$  e  $F = 9,89$ ) e 19 vezes maior em relação ao cerrado ( $P = 0,000$  e  $F = 8,97$ ) no mesmo período. O valor médio de  $\text{N-NO}_3^-$  mensurado no solo cultivado com sorgo foi  $41,6 \text{ mg N kg}^{-1}$  solo, no solo sob cultivo de feijão de sequeiro foi  $11,7 \text{ mg N kg}^{-1}$  solo e no solo nativo foi  $2,2 \text{ mg N kg}^{-1}$  solo (no período de cultivo do sorgo).

Em geral, durante o cultivo da pastagem as concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  do solo sob ILP foram estatisticamente superiores às mensuradas no solo sob vegetação nativa. Na pastagem, em novembro de 2004, a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  foi  $11,2$  e no cerrado de  $2,0 \text{ mg N kg}^{-1}$  solo ( $P = 0,021$  e  $F = 3,28$ ), em dezembro foi de  $17,8$  na pastagem e de  $1,3 \text{ mg N kg}^{-1}$  solo no cerrado ( $P = 0,011$  e  $F = 8,88$ ) e em abril de 2005 na pastagem foi  $6,3$  e no cerrado foi  $1,4 \text{ mg N kg}^{-1}$  solo ( $P = 0,000$  e  $F = 5,12$ ). Apenas em janeiro de 2005, um dia após a fertilização com uréia ( $72 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) os valores de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo sob pastagem ( $5,7 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo) não diferiram estatisticamente dos valores encontrados no solo nativo ( $2,2 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  solo).

Na área de ILP, após a dessecação das plantas de *Panicum maximum* a concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo foi de  $45,6 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo, Figura 3.3. Durante o cultivo do feijão de sequeiro, maiores e mais variáveis valores de concentrações de  $\text{N-NH}_4^+$  do solo foram determinados sete dias após o plantio ( $94,1 \pm 27,5 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo). Nas demais coletas, no decorrer do ciclo do feijão de sequeiro, os valores estiveram entre  $25,2$  e  $58,2 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo).

Ao longo do cultivo do sorgo a concentração  $\text{N-NH}_4^+$  do solo sob ILP ( $40,6$  a  $97,3 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo) foi até quatro vezes maior em relação ao solo de cerrado ( $22,5$  a  $30,5 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo) ( $P = 0,000$  e  $F = 1,34$ ). Já durante o cultivo da pastagem a concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  foi até duas vezes e meia maior em relação ao solo do cerrado ( $P = 0,000$  e  $F = 0,10$ ), sendo no solo sob ILP o valor médio de  $94,6 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo e no solo sob vegetação nativa de  $55,5 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  solo. Comparando-se as fases da pastagem, em dezembro de 2004, durante o crescimento das plantas, registrou-se um pico na concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  ( $138,2 \text{ mg}$

N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo) em relação às demais fases cujo valor médio foi 83,7 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo (P = 0,007 e F = 0,18).

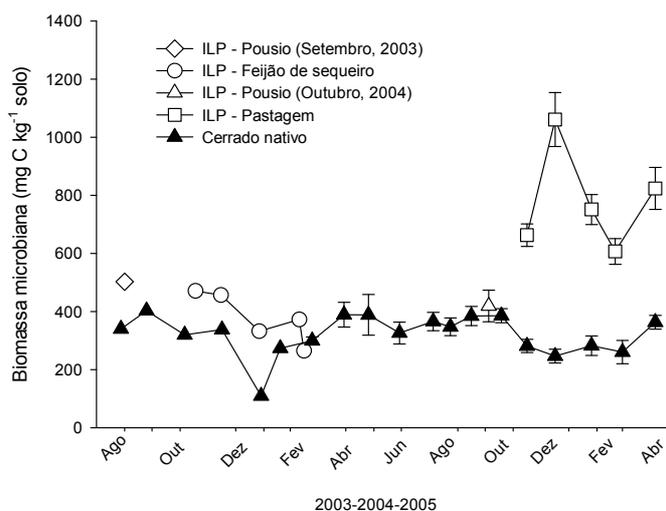
Em outubro de 2004, durante o pousio da área submetida ao sistema ILP, as concentrações de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo foram significativamente maiores (P = 0,000 e F = 11,39, e P = 0,000 e F = 1,87, respectivamente) em relação à área nativa. No pousio da ILP, a concentração de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo foi 76,5 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> solo enquanto que no cerrado foi 6,8 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> solo, enquanto as concentrações de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do solo na ILP foi 161,6 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo e no cerrado 57,7 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo.

No solo sob cerrado nativo, durante o período de estudo, as concentrações de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram significativamente maiores (P = 0,000 e F = 12,63) a partir da intensificação da estação seca até o início da estação chuvosa, com valores entre 6,5 e 11,8 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> solo, e menores a partir da intensificação das chuvas e início da seca, com valores entre 0,8 e 3,5 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> solo. De modo geral, na área do cerrado, as concentrações de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do solo variaram entre 22,6 e 68,7 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo. Foram registrados picos na concentração de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do solo nativo em novembro de 2003 (151,2 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo) e em junho de 2004 (106,2 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo) mas no início de agosto de 2004 observou-se redução na concentração de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do solo (11,7 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo). A partir do final de agosto de 2004 até abril de 2005 se manteve em valores próximos a 50 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo.

No solo de cerrado durante o período de estudo (agosto de 2003 a abril de 2005) os valores de C da biomassa microbiana variaram de 325 a 402 mg C kg<sup>-1</sup> solo na estação seca e de 109 a 388 mg C kg<sup>-1</sup> solo na estação chuvosa (Figura 3.4). O padrão sazonal nos valores de biomassa microbiana do solo, com menores valores registrados durante a estação chuvosa e maiores durante a estação seca é justificado pelo método de determinação utilizado, que envolve o ajuste da umidade do solo à 100% da capacidade de campo, e pelo acúmulo de C mineralizável ao longo da estação seca como observado por Silva (2004). Comportamento semelhante também foi observado por Bresolin (2006) e Pinto et al. (2006) em Latossolos sob vegetação de cerrado.

Nas coletas realizadas na área de ILP durante o período de cultivo do feijão de sequeiro e pousio, a concentração de C da biomassa microbiana foi semelhante à do solo sob vegetação nativa de cerrado com variação entre 264,6 e 502,3 mg C

kg<sup>-1</sup> solo. No período de cultivo da pastagem (novembro de 2004 a abril de 2005) a concentração de C da biomassa microbiana no solo sob ILP foi até quatro vezes maior que no cerrado (P = 000, F = 14,35). Na área de ILP os maiores valores de C da biomassa microbiana ocorreram em dezembro de 2005 durante o crescimento da pastagem (1060,6 mg C kg<sup>-1</sup> solo) e o menor em fevereiro de 2005 (606,4 mg C kg<sup>-1</sup> solo) durante o pastejo dos animais.

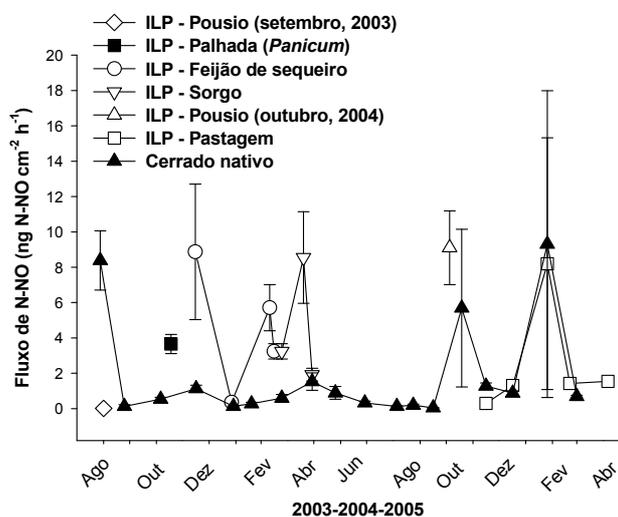


**Figura 3.4.** Concentração de Carbono da Biomassa Microbiana (média  $\pm$  erro, n=6) em Latossolo Vermelho (0 a 5 cm de profundidade) sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e sob cerrado nativo na Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO.

### 5.3. Fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O

De modo geral, sob vegetação nativa, os fluxos de NO do solo para a atmosfera variaram de 0,04 a 1,5 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, tendo sido registrados picos nos meses de agosto de 2003 (8,4  $\pm$  1,9 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), outubro de 2004 (5,7  $\pm$  4,5 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e janeiro de 2005 (9,3  $\pm$  8,7 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). O pico nos fluxos de N-NO mensurado no solo sob cerrado em agosto de 2003 foi cerca de quatrocentas vezes maior (P = 0,000 e F = 5,84) que os fluxos registrados na mesma época no solo sob ILP em condição de pousio (0,02 ng N-NO cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). No entanto, em outubro de 2004, valores altos de fluxo de N-NO também foram

registrados no sistema ILP em condição de pousio ( $9,1 \pm 2,1$  ng N-NO  $\text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), Figura 3.5.



**Figura 3.5.** Fluxos de N-NO (ng N  $\text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) em Latossolo Vermelho (média  $\pm$  erro, n=6) sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e sob cerrado nativo na Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO.

Na área sob sistema de ILP, em novembro de 2003 após a dessecação das plantas de *Panicum maximum* cv. Tanzânia o fluxo médio de N-NO mensurado foi  $3,7$  ng N-NO  $\text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ , enquanto que no período o fluxo médio de N-NO registrado no solo de cerrado ( $0,5$  ng N-NO  $\text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) foi menor ( $P = 0,000$  e  $F = 1,44$ ).

Durante o cultivo do feijão do sequeiro, em geral, os fluxos de N-NO foram até vinte vezes superiores aos mensurados no solo sob cerrado. Sete dias após o plantio com fertilização no sulco com  $16,4$  kg N  $\text{ha}^{-1}$  na forma de formato monoamônico (dezembro de 2003) foi  $8,9$  ng N-NO  $\text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$  ( $P = 0,001$  e  $F = 0,32$ ) e na senescência das plantas (março de 2004) foi  $5,7$  ng N-NO  $\text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$  ( $P = 0,000$  e  $F = 3,42$ ). Apenas em janeiro de 2004, durante o crescimento da cultura, os valores de fluxo de N-NO ( $0,36$  ng N-NO  $\text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) foram significativamente inferiores às demais fases e semelhantes aos do solo nativo ( $0,13$  ng N-NO  $\text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ).

No solo sob sistema de ILP, em março de 2004, dois dias após o plantio de sorgo, registraram-se valores de fluxo de N-NO ( $3,2$  ng N-NO  $\text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) maiores ( $P =$

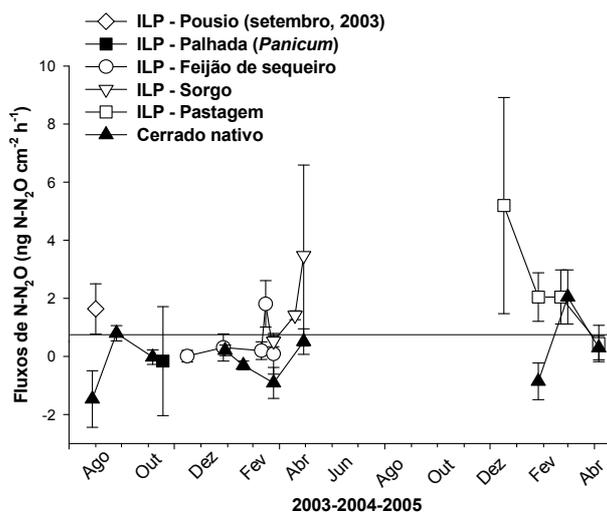
0,008 e  $F = 3,02$ ) em relação ao cerrado ( $0,6 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Em abril de 2004, dois dias após a fertilização do sorgo com uréia ( $54 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), registrou-se um incremento de duas vezes e meia nos fluxos de N-NO ( $8,6 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) em relação ao pós-plantio ( $P = 0,000$ ). No crescimento da cultura, doze dias após a fertilização do sorgo em abril de 2004 os fluxos de NO mensurados ( $1,9 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) foram semelhantes aos da área nativa.

No decorrer do cultivo da pastagem os valores de fluxo de N-NO foram semelhantes aos registrados no solo nativo. Na pastagem, o menor valor foi mensurado em novembro de 2004 no início da rebrota das plantas ( $0,05 \text{ ng N-NO cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) e no cerrado foi em setembro de 2004 ( $0,04 \text{ N-NO ng cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Observou-se grande variabilidade nos fluxos de NO mensurados em janeiro de 2005 durante o crescimento das plantas na pastagem ( $8,2 \pm 7,1 \text{ N-NO ng cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) e no cerrado ( $9,3 \pm 8,7 \text{ N-NO ng cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ).

Analisando-se as possíveis variáveis explicativas (EPPA, N mineral disponível no solo, C da biomassa microbiana e temperatura do solo) em todas as combinações possíveis, com o procedimento *Stepwise*, a variação nos fluxos de NO ao longo do período de cultivo do feijão de sequeiro (novembro de 2003 a março de 2004) foi explicada em 76,7 % ( $P = 0,000$  e  $F = 40,11$ ) pela temperatura do solo na profundidade de 2,5 cm e em 83,1 % ( $P = 0,000$  e  $F = 30,04$ ) pela concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  na profundidade de 0 a 5 cm. No mesmo período (novembro de 2003 a março de 2004), os fluxos de N-NO no solo do cerrado foram explicados em 66,7 % ( $P = 0,000$  e  $F = 22,43$ ) pelo EPPA e em 72,9 % ( $P = 0,000$  e  $F = 15,36$ ) pela disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo. No entanto, nenhuma das variáveis avaliadas explicou o comportamento dos fluxos de N-NO do solo sob cultivo de sorgo e pastagem. Considerando apenas a estação seca, o EPPA explicou o comportamento dos fluxos de N-NO no solo do cerrado em 42% ( $P = 0,004$  e  $F = 9,25$ ) e a temperatura do solo a 5,0 cm de profundidade em 52,3% ( $P = 0,001$  e  $F = 7,7$ ). Na estação chuvosa os fluxos de N-NO no solo do cerrado foram explicados em 34,1% ( $P = 0,009$  e  $F = 7,23$ ) pelo EPPA.

Na área de ILP, na coleta realizada durante o pousio (setembro de 2003) os fluxos de  $\text{N-N}_2\text{O}$  foram baixos, mas sempre positivos ( $1,6 \pm 0,9 \text{ ng N-N}_2\text{O cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Em novembro de 2003 após a dessecação das plantas de *Panicum maximum* cv. Tanzânia para produção de palhada registrou-se grande variabilidade nos valores de

fluxo de N-N<sub>2</sub>O ( $-0,2 \pm 1,9$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) com predominância de fluxos negativos. No final do ciclo do feijão de sequeiro, um dia antes da colheita (março de 2004), registrou-se um incremento nos fluxos de N-N<sub>2</sub>O ( $1,8 \pm 0,8$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e um dia após a colheita os fluxos de N-N<sub>2</sub>O foram reduzidos ( $0,09$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Nas demais fases da cultura do feijão de sequeiro os valores de fluxo de N-N<sub>2</sub>O estiveram próximos ao limite de detecção do equipamento ( $0,6$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e variaram entre  $0,01$  e  $0,3$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, Figura 3.6.



**Figura 3.6.** Fluxos de N-N<sub>2</sub>O (ng N cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) em Latossolo Vermelho (média  $\pm$  erro, n=4) sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e sob cerrado nativo na Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO.

Após o plantio do sorgo, em março de 2004, os fluxos de N-N<sub>2</sub>O permaneceram baixos e semelhantes aos mensurados após a colheita do feijão de sequeiro ( $0,5$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Todos os fluxos de N-N<sub>2</sub>O mensurados, em 19 de abril de 2004, dois dias após a fertilização com uréia ( $54$  kg N ha<sup>-1</sup>) foram positivos e acima do limite de detecção do equipamento ( $1,4 \pm 0,3$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Durante o crescimento do sorgo, em 29 de abril de 2004, registrou-se grande variabilidade nos fluxos de N-N<sub>2</sub>O, com valores negativos ( $-0,5$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e picos de emissão ( $17,5$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>).

Também em dezembro de 2004, durante o crescimento da pastagem, registrou-se grande variabilidade nos fluxos de N-N<sub>2</sub>O, com valores negativos ( $-2,1$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e picos de emissão ( $8,4$  e  $14,1$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Dois dias

após a fertilização com uréia (janeiro 2005) e durante o pastejo dos animais (fevereiro de 2005) 75% dos valores de fluxo de N-N<sub>2</sub>O estiveram acima do limite de detecção do equipamento e foram semelhantes entre si ( $2,1 \pm 1,9$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Em abril de 2005, após o período de pastejo, os fluxos de N-N<sub>2</sub>O diminuíram ( $0,4 \pm 1,3$  ng N-N<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e a maioria dos valores esteve próximo ao limite de detecção do equipamento.

A disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> explicou os fluxos de N-N<sub>2</sub>O no solo de cerrado em 40,1% (P = 0,019 e F = 6,14). Nenhuma das variáveis explicativas (EPPA, N mineral disponível, C da biomassa microbiana e temperatura do solo) em todas as combinações possíveis, explicou o comportamento dos fluxos de N-N<sub>2</sub>O no solo ao longo do período de cultivo do feijão de sequeiro e pastagem.

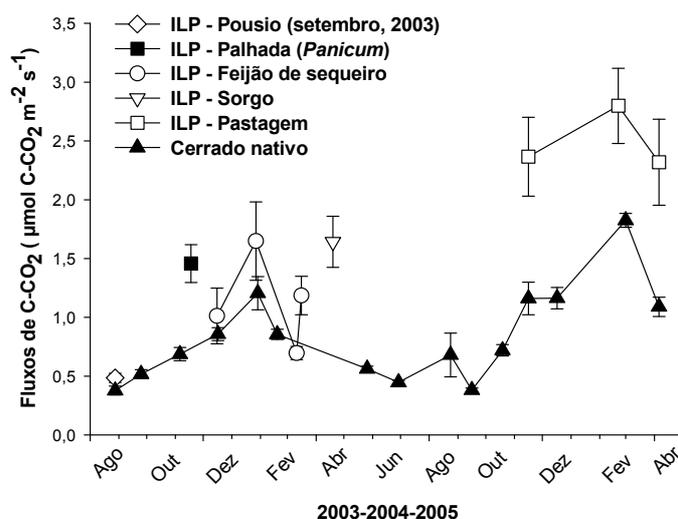
#### 5.4. Fluxos de C-CO<sub>2</sub>

No solo sob vegetação nativa de cerrado observou-se um comportamento sazonal nos fluxos de C-CO<sub>2</sub> com fluxos maiores durante a estação chuvosa e menores durante a seca (P = 0,000 e F = 1,63). Na estação chuvosa, os fluxos variaram de 0,7 a 1,8 μmol C m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e na estação seca de 0,4 a 0,7 μmol C m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, Figura 3.7.

Em novembro de 2003, os fluxos de C-CO<sub>2</sub> registrados após a dessecação das plantas de *Panicum maximum* (1,5 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) foram significativamente superiores (P = 0,000 e F = 0,88) aos registrados no solo do cerrado (0,7 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) no mesmo mês. De modo geral, os fluxos de C-CO<sub>2</sub> mensurados durante o cultivo do feijão de sequeiro variaram entre 0,7 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (março de 2004) e 1,7 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (janeiro de 2004).

Durante o cultivo do sorgo, apenas no mês de abril de 2004, dois dias após a fertilização com uréia (54 kg N ha<sup>-1</sup>), foi realizada coleta para determinação do fluxo de C-CO<sub>2</sub> cujo valor foi 1,6 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Os fluxos de C-CO<sub>2</sub> do solo sob cultivo da pastagem foram maiores que os registrados no solo nativo no mesmo período (P = 0,000 e F = 5,20). No solo da pastagem os valores de fluxos de C-CO<sub>2</sub> estiveram entre 2,3 e 2,8 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, enquanto no cerrado variaram entre 1,1 e 1,8 μmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.



**Figura 3.7.** Fluxos de C-CO<sub>2</sub> (µmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) em Latossolo Vermelho (média ± erro, n=6) sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e sob cerrado nativo na Fazenda Dom Bosco, Cristalina-GO.

Analisando-se as possíveis variáveis explicativas (EPPA, N mineral disponível, C da biomassa microbiana e temperatura do solo), em todas as combinações possíveis, com o procedimento *Stepwise*, os fluxos de C-CO<sub>2</sub> no solo sob cultivo do feijão de sequeiro foram explicados em 53,4 % (P = 0,002 e F = 11,19) pela temperatura do solo na profundidade de 2,5 cm, em 62,1 % (P = 0,001 e F = 8,48) pela disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo e por 70,4 % (P = 0,000 e F = 8,53) pelo EPPA na profundidade de 0 a 5 cm. No solo da área nativa, o EPPA explicou 63,4% dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> (P = 0,001 e F = 14,09). Nenhuma das variáveis analisadas independentes ou em conjunto explicou o comportamento dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> no solo sob pastagem.

### 5.5. Estoque de C e N do solo

Os valores dos estoques de C e de N (0-30 cm) do solo após 30 anos de uso da terra, dos quais 10 anos sob sistema de ILP, não apresentaram diferença significativa em relação ao solo sob vegetação nativa de cerrado. O estoque de C do solo na área de ILP foi de 58,3 ± 9,8 Mg C ha<sup>-1</sup> e no de cerrado 62,3 ± 2,2 Mg C ha<sup>-1</sup>

enquanto o estoque de N na área cultivada foi  $3,5 \pm 0,4 \text{ Mg N ha}^{-1}$  e na área nativa  $3,6 \pm 0,3 \text{ Mg N ha}^{-1}$ .

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1. Disponibilidade de N e fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O

Ao longo do período de estudo, no solo sob ILP (durante o pousio, feijão de sequeiro, sorgo e pastagem) e no solo do cerrado, na camada de 0 e 5 cm predominou a disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em relação a disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. De acordo com Dynia e Camargo (1999), na camada superficial do solo (0 a 5 cm) há um predomínio de carga líquida negativa em função do maior acúmulo de matéria orgânica, e sob precipitação pluviométrica ou irrigação há um aumento na perda de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por lixiviação em função de sua alta solubilidade em água. Decorridas três ou quatro semanas após a fertilização, o conteúdo de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> das camadas superficiais do solo declina rapidamente acumulando nas camadas inferiores (Chikowo et al., 2004). Lilienfein et al. (2003) registraram aumento da concentração de nitrato na solução do solo (da camada de 1 a 2 m) em solo de cerrado sob pastagem indicando lixiviação do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> da zona das raízes para maiores profundidades. Assim, na área da ILP, é possível que as camadas de solo inferiores a 5 cm apresentem acúmulo de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e menor disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

No cultivo do feijão de sequeiro, os aumentos na disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> do solo registrados em dezembro 2003 e o aumento na disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> registrado em março 2004 foram acompanhados de picos nos fluxos de N-NO. Em março, aumento na disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, foi registrado também aumento nos fluxos de N-N<sub>2</sub>O.

Na coleta realizada em dezembro 2003 (sete dias após o plantio do feijão de sequeiro com fertilização no sulco,  $16,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  na forma de fosfato mono-amônico), os incrementos registrados nas concentrações de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e, também nos fluxos de N-NO, provavelmente ocorreram em função da decomposição da palhada de *Panicum maximum* cv. Tanzânia estabelecida após a aplicação de herbicida um mês antes do plantio do feijão e da fertilização realizada concomitantemente ao plantio com adição de  $16,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  na forma de fosfato mono-amônico. Passianoto et al. (2003), trabalhando em Rondônia, em uma área

cultivada com *Brachiaria brizantha* mostrou que a aplicação de herbicida induziu o aumento nos fluxos de N-NO, estando esses associados ao aumento da mineralização do N.

A influência da fertilização nitrogenada no aumento da disponibilidade de N mineral e nos fluxos de N-NO também pode ser observada nesse estudo em áreas sob cultivo do feijão irrigado na Fazenda Dom Bosco e no cultivo do algodão (Fazenda Pamplona), capítulo 1. Yamulki et al. (1995), também observaram que as medidas nos fluxos de NO em área fertilizada acompanharam as variações de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Os incrementos na concentração de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e nos fluxos de N-NO e de N-N<sub>2</sub>O, registrados na coleta realizada em março de 2004 (um dia antes da colheita), ocorreram devido a liberação de N no solo e decomposição das raízes, especialmente as de menor diâmetro (Varner et al., 2003 e Prata et al., 2005). Keller et al. (2000) relataram que a mortalidade de raízes reduz a absorção de nutrientes, aumentando a disponibilidade para os microrganismos, e a absorção da água induzindo a aumentos de umidade do solo, além de representar uma fonte de matéria orgânica de fácil decomposição.

No solo sob ILP, durante o período de cultivo do feijão de sequeiro e no cerrado no mesmo período (novembro de 2003 a março de 2004) os fluxos de N-NO foram explicados em parte pela disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. A temperatura do solo também explicou em parte o comportamento dos fluxos de N-NO durante o período de cultivo do feijão de sequeiro. Foram registradas temperaturas do solo (nas profundidades de 2,5 e 5,0 cm) mais elevadas na coleta realizada em dezembro de 2003, sete dias após o plantio com fertilização no sulco. Skiba et al. (1997), também encontraram correlação dos fluxos de NO com a temperatura do solo que, juntamente ao NO<sub>3</sub><sup>-</sup> explicaram 60% da emissão de N-NO em área fertilizada. McKenney e Drury (1997) atribuíram as variações diárias nos fluxos de NO à temperatura na superfície do solo. Vos et al., (1994) e Davidson et al. (2000), esclarecem que a temperatura pode potencializar ou não o efeito da fertilização nitrogenada.

Em comparação com o cerrado, fluxos de N-NO mais altos e maiores disponibilidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram registrados em abril de 2004, dois dias após o plantio do sorgo, e podem estar relacionados à liberação de N mineral pela decomposição dos restos da cultura do feijão de sequeiro, já que o sorgo foi

plantado 10 dias após a colheita do feijão. No cultivo do sorgo, os incrementos nos fluxos de N-NO e nos fluxos de N-N<sub>2</sub>O mensurados dois dias após a fertilização em cobertura com uréia foram acompanhados do aumento na disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo. Decorridos 12 dias da fertilização do sorgo, ainda foram mensurados fluxos de N-N<sub>2</sub>O bastante variados com picos de emissão.

Também durante o pousio no sistema ILP, em outubro de 2005, os altos teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mensurados no solo foram acompanhados de pico nos fluxos de N-NO. Durante o pousio, o solo da ILP permaneceu sem cobertura vegetal e a área era utilizada para o trânsito dos animais até o curral. Assim, os valores altos de N mineral podem estar relacionados à deposição dos excrementos dos animais.

Em janeiro de 2005, a alta variabilidade nos fluxos de N-NO mensurados na pastagem, três dias após a aplicação de uréia, não foi acompanhada de aumento na disponibilidade de N mineral. Além disso, no mesmo período, na área nativa também foi registrada alta variabilidade nos fluxos de N-NO. Provavelmente, a combinação de fatores ambientais favoráveis, a exemplo da temperatura e da umidade, determinaram o aumento nos fluxos de N-NO nas duas áreas. Durante todo o período de cultivo da pastagem os fluxos de N-N<sub>2</sub>O foram predominantemente positivos e maiores que os mensurados no solo de cerrado, respondendo a condições favoráveis de EPPA (Davidson et al., 1993; Davidson et al., 2000) que apresentou valores superiores a 55% enquanto que no solo nativos os valores de EPPA não ultrapassaram 40%.

No cerrado, em agosto de 2003, os valores altos de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram acompanhados de picos nos fluxos de N-NO e ocorreram após um evento de chuva (28 mm) depois de 115 dias de estiagem. Em outubro de 2004 os fluxos de N-NO altos e com grande variabilidade, registrados no solo de cerrado, não foram acompanhados de aumento na disponibilidade de N mineral e provavelmente foram uma resposta à transição da estação seca para a estação chuvosa e à queimada ocorrida 10 dias antes. Também em janeiro de 2005, durante a estação chuvosa, os fluxos de N-NO elevados não foram relacionados às maiores concentrações de N mineral no solo. Pinto et al. (2002), trabalhando em uma área de cerrado campo sujo na Reserva Ecológica do IBGE (Brasília-DF) registraram incremento de 100 vezes nos fluxos de N-NO após queima prescrita seguida da adição de água no solo. Na estação seca, os fluxos de N-NO do solo de cerrado foram explicados pelo EPPA e

pela temperatura do solo na profundidade de 5,0 cm. Na estação chuvosa apenas o EPPA explicou os fluxos de N-NO no solo de cerrado.

## 6.2. Fluxos de C-CO<sub>2</sub>

Na ILP, em novembro de 2003, após a dessecação das plantas de *Panicum maximum* cv. Tanzânia os fluxos de C-CO<sub>2</sub> foram mais elevados que os medidos no solo de cerrado e refletiram o componente heterotrófico da respiração do solo já que não havia atividade de raízes. Provavelmente os fluxos mais elevados foram estimulados pelo intenso processo de decomposição da palhada de capim Tanzânia estabelecida no mês anterior.

Sete dias após o plantio do feijão, os fluxos de C-CO<sub>2</sub> foram reduzidos a valores próximos aos do solo do cerrado. É possível que fluxos maiores tenham ocorrido como resposta à ação do implemento agrícola durante o Plantio direto. Vários trabalhos atribuem o aumento nos fluxos de C-CO<sub>2</sub> imediatamente depois do plantio à quebra da estrutura do solo e a exposição da matéria orgânica a ação microbiana durante o manejo (Saffigna et al., 1988; Reicosky e Lindstrom, 1993). Nesse estudo, os fluxos de C-CO<sub>2</sub> medidos durante o cultivo do feijão de sequeiro foram explicados em grande parte pelo EPPA, pela temperatura do solo e disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Condições ambientais favoráveis de temperatura, umidade e disponibilidade de N e C são necessárias à respiração do solo (Sanhueza, 1994). Carvalho (2005) estudou a emissão de gases de um Latossolo Vermelho no Distrito Federal cultivado com plantas condicionadoras e concluiu que grande parte das variações nos fluxos de CO<sub>2</sub> foi explicada pelo EPPA e que N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> explicou em 47% as emissões de CO<sub>2</sub> em solo sob *Crotalaria juncea* e em 66% no solo sob *Mucuna pruriens* com incorporação dos resíduos.

A única coleta para determinação da respiração do solo no cultivo do sorgo foi realizada dois dias após a fertilização (abril de 2004) e os valores foram maiores quando comparados aos da área nativa. Não é possível afirmar que os fluxos de C-CO<sub>2</sub> medidos ocorreram em resposta à adição de N via fertilizante já que não foram mensurados fluxos em outras fases da cultura. No entanto, o valor médio dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> mensurado após a fertilização do sorgo é semelhante aos mensurados

após a fertilização do milho em rotação com feijão irrigado na Fazenda Dom Bosco (capítulo 1) e no cultivo experimental da Fazenda Dois J1 (capítulo 3).

Os maiores fluxos de C-CO<sub>2</sub> mensurados durante todo o período de cultivo da pastagem, em relação à área nativa, devem estar relacionados à valores de biomassa microbiana maiores. Os valores de biomassa microbiana encontrados no solo da ILP durante o cultivo da pastagem predominantemente de *Panicum maximum* (606,4 a 1060,6 mg C kg<sup>-1</sup> solo) foram maiores do que os relatados por Pinto et al. (2006) em solo de cerrado sob pastagem de *Brachiaria brizantha* (160 a 760 mg C kg<sup>-1</sup> solo) e por Varella et al., (2004) em solos de cerrado sob pastagem de 20 anos (240 a 700 mg C kg<sup>-1</sup> solo). Os maiores valores de biomassa microbiana na ILP deve ser uma resposta ao histórico de uso de solo com diversidade de cultivos (gramíneas e leguminosas em rotação ou consorciadas), que favoreceram a manutenção do C no solo, aliado à adição de N mineral via fertilizantes químicos (216,7 kg N ha<sup>-1</sup>) e N orgânico via excretas dos animais. Como consequência do manejo adotado na ILP, os estoques de C e N do solo são semelhantes aos estoques de C e N do solo de cerrado, mesmo após 33 anos de uso intensivo (10 anos de monocultivo de soja, 13 anos de pastagem de *Panicum* e *Brachiaria* e 10 anos de ILP).

A distribuição sazonal das chuvas foi o principal fator que afetou a umidade do solo (0-5 cm) explicando os fluxos de C-CO<sub>2</sub> no solo sob vegetação nativa. Os menores valores de C-CO<sub>2</sub> registrado durante a estação seca no solo de cerrado refletem a baixa atividade das raízes das plantas e da microbiota do solo na condição de reduzida disponibilidade de água (Davidson et al. 1993; Pinto et al. 2002, Varella et al., 2004; Pinto et al., 2006). Enquanto os maiores valores de respiração do solo durante a estação chuvosa refletem condições ambientais favoráveis à atividade microbiana e de raízes.

### **6.3. Possíveis impactos regionais nas emissões de N-NO e N-N<sub>2</sub>O**

Foi realizada uma estimativa preliminar das emissões de gases traço no solo sob ILP considerando o impacto de cada uma das coberturas separadamente feijão de sequeiro, sorgo, pastagem, pousio e vegetação nativa. Os dados sobre a área plantada foram fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento/Ministério da

Agricultura Pecuária e Abastecimento ([www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)). No presente estudo só os quatro principais estados federais (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), que pertencem à região geopolítica Centro-Oeste foram incluídos, embora o bioma Cerrado seja distribuído em onze estados da Federação Brasileira. Os fluxos foram integrados no ciclo da cultura considerando-se o valor médio dos fluxos medidos em cada coleta e o número de dias em cada fase da cultura. Para as práticas como utilização de mecanização (plantio e colheita) considerou-se cinco dias, enquanto para a fertilização nitrogenada ou eventos de chuva considerou-se um período de três dias, baseado na duração dos pulsos registrados por Pinto et al. (2002, 2006) e Carvalho et al. (2006), em Latossolos da região. Ao longo da estação de crescimento (sem influência da adubação ou da irrigação), as médias mensais foram consideradas. Os fluxos emitidos no solo do cerrado nativo foram calculados mensalmente, considerando a ocorrência de eventos de chuvas na época da seca, quando o tempo de resposta de três dias foi considerado.

No solo sob feijão de sequeiro e sob sorgo as perdas de N ocorreram predominantemente sob a forma de N-NO. Enquanto que no solo sob pastagem as perdas de N ocorreram predominantemente na forma de N-N<sub>2</sub>O. As emissões de N-NO por hectare no solo sob cultivo do feijão de sequeiro, sorgo e pastagem foram semelhantes (0,5 kg N-NO ha<sup>-1</sup>). No cerrado, as perdas de N-NO durante a estação chuvosa, época correspondente aos cultivos de feijão de sequeiro, sorgo e pastagem, foi de 0,2 kg N-NO ha<sup>-1</sup>. Com relação às emissões de N-N<sub>2</sub>O por unidade de área, os maiores valores foram para o solo sob pastagem (0,7 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), seguido do sorgo (0,3 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) e do feijão de sequeiro (0,1 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). No cerrado, as perdas de N-N<sub>2</sub>O durante a estação chuvosa foram de 0,1 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. No solo sob cultivo de feijão de sequeiro os valores das perdas de N-NO e N-N<sub>2</sub>O por unidade de área provavelmente estão subestimados porque não foram consideradas as emissões sob efeito da adição de N no solo já que não houve coleta após a fertilização nitrogenada em cobertura realizada em dezembro 2003.

O Fator de Emissão Induzida por Fertilizantes (FEI) é definido como a emissão proveniente dos fertilizantes subtraindo a emissão de uma área referência não fertilizada (partindo do princípio de que todas as outras condições são similares às do solo fertilizado). O FEI é expresso em percentagem do total de N aplicado. O FEI estabelecido pelo IPCC (2007) para N-N<sub>2</sub>O é 1% e para N-NO 0,7% do N aplicado via fertilizantes. Os resultados indicaram que o FEI para NO e N<sub>2</sub>O nas

condições ambientais de Cerrado e de cultivo adotadas na Região são mais baixos que o estabelecido pelo IPCC (2007). Na área da ILP considerando as coberturas individualmente, os valores de FEI para N-NO foram 0,3% (sorgo) e 0,2% (pastagem). O FEI para N-N<sub>2</sub>O foi de 0,4% no cultivo do sorgo e de 0,8% na pastagem. Não foi possível calcular o FEI (N-NO e N-N<sub>2</sub>O) para o feijão de sequeiro porque não houve coleta após a aplicação do fertilizante em dezembro de 2003.

O uso intensivo das culturas com grande aporte de N via fertilizantes químicos e o aporte de N orgânico via excretas dos animais na área da ILP favorece as emissões de N-N<sub>2</sub>O. Integrando as emissões de N-N<sub>2</sub>O provenientes dos usos do solo na ILP (palhada, feijão de sequeiro, sorgo, pousio e pastagem) e subtraindo as emissões provenientes da área nativa no mesmo período, o sistema de ILP contribui com a emissão de 1,6 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Considerando que o potencial de aquecimento estabelecido pelo IPCC para o N<sub>2</sub>O em um cenário de 100 anos é de 298 equivalentes de CO<sub>2</sub>, a contribuição da ILP na emissão de N<sub>2</sub>O corresponde a 467,9 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. No entanto, o impacto ambiental causado pelas emissões de N<sub>2</sub>O está sendo compensado pela manutenção do estoque de C do solo até 30 cm de profundidade em valores semelhantes aos encontrados na área nativa da Fazenda Dom Bosco (ca. 60 Mg C ha<sup>-1</sup>).

Silva et al. (2004), avaliaram o armazenamento de C em Latossolos argilosos dos Cerrados submetidos a pastagens cultivadas com *Panicum maximum*, *Brachiaria brizantha* e *Paspalum atratum*, e verificaram que na profundidade de 1 m a magnitude de acúmulo variou entre 97 a 113 Mg C ha<sup>-1</sup>, com cerca de 50% até 40 cm de profundidade. Para Reid et al. (2004), a conversão de sistemas de produção apenas com lavoura para sistemas com rotação de lavouras e pastagens em plantio direto pode proporcionar significativa contribuição no seqüestro de carbono, pois além das quantidades armazenada no solo deve-se considerar o volume não consumido de formas diretas e indiretas, provenientes do melhor uso dos insumos industrializados e menor consumo de combustível. Os autores ainda consideram a ausência de perdas por erosão, maior produtividade dos cultivos, maior qualidade de forragem para os animais e conseqüentemente maior produtividade animal com menor emissão de metano. Segundo Salton et al. (2005), a rotação de lavouras de grãos, a exemplo da soja, com pastagens, em ciclos de dois anos, ao proporcionar adequado aporte de carbono e agregação do solo, são especialmente recomendada

para as condições de Região Centro-Oeste do Brasil. Os autores analisaram Latossolos da região de Dourados-MS e concluíram que as raízes de gramíneas no sistema de Integração Lavoura-Pecuária favorecem a formação e estabilização dos macroagregados responsáveis pela proteção e acúmulo de matéria orgânica no solo e associaram o aumento no estoque de carbono do solo também à disponibilidade de resíduos vegetais na superfície do solo sob Integração Lavoura-Pecuária.

Embora vários estudos já tenham demonstrado a contribuição dos solos submetidos a sistemas de Integração Lavoura-Pecuária para a manutenção do C, vale considerar que a capacidade dos solos em sequestrar C é limitada por fatores ambientais e pelo manejo do solo. Assim, os resultados do presente estudo apontam que depois que o solo sob ILP atingir sua capacidade de sequestro do C é importante a adoção de práticas de manejo para reduzir o aporte de N via fertilização objetivando minimizar as emissões de N-N<sub>2</sub>O e N-NO do solo para a atmosfera.

## 7. CONCLUSÕES

*Com relação aos efeitos das fertilizações nitrogenadas e das variáveis ambientais sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio nos cultivos do sorgo e da pastagem, conclui-se:*

1. A adição de uréia no sorgo (54 kg N ha<sup>-1</sup>) e na pastagem (72 kg N ha<sup>-1</sup>) incrementou os fluxos de N-NO em relação à área nativa. No sorgo, a fertilização também incrementou os fluxos de N-N<sub>2</sub>O. Nenhuma das variáveis avaliadas explicou o comportamento dos fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O no sorgo e na pastagem.

*Com relação ao efeito da adição de N orgânico, em solos de pastagem sob pastejo, sobre os fluxos de óxidos de nitrogênio, conclui-se:*

2. A adição de N orgânico, via excretas dos animais, no solo da pastagem sob pastejo não foi suficiente para incrementar os fluxos de N-NO e N-N<sub>2</sub>O.

*Com relação ao efeito da diversidade de cultivos e das variáveis ambientais sobre os fluxos de C-CO<sub>2</sub>, conclui-se:*

**3.** Na ILP, durante o cultivo da pastagem, o C da biomassa microbiana e os fluxos de C-CO<sub>2</sub> foram maiores do que os mensurados no cerrado. Enquanto que o C da biomassa microbiana e os fluxos de C-CO<sub>2</sub> mensurados durante o pousio e o cultivo do feijão de sequeiro foram semelhantes.

**4.** Durante o cultivo do feijão de sequeiro, os fluxos de C-CO<sub>2</sub> foram explicados em 70,4% pelo EPPA (0 a 5 cm de profundidade), 53,4% pela a temperatura do solo (2,5 cm de profundidade) e em 62,1% pela disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do solo. Nenhuma das variáveis explicou os fluxos de C-CO<sub>2</sub> no cultivo da pastagem.

*Com relação aos efeitos do histórico de uso do solo sobre os estoques de C e N total no solo, conclui-se:*

**5.** Após 31 anos de uso da terra, sendo 10 anos sob soja em cultivo convencional, 13 sob pastagem e 8 sob Integração Lavoura-Pecuária, os estoques de C e N do solo mantiveram-se semelhantes aos encontrados no solo de cerrado, fato que projeta a Integração Lavoura-Pecuária como uma alternativa sustentável em áreas agrícolas degradadas ou estabelecidas com sistemas pouco conservacionistas a exemplo da soja.

*Com relação aos Fatores de Emissão Induzida por Fertilizantes para N-NO e N-N<sub>2</sub>O no sistema de Integração Lavoura-Pecuária, conclui-se:*

**6.** Os Fatores de Emissão Induzida por Fertilizantes (FEI) para N-N<sub>2</sub>O e N-NO, calculados para os cultivos envolvidos no sistema de ILP, são inferiores aos estabelecidos em 2007 pelo IPCC. Os FEI para N-N<sub>2</sub>O e N-NO determinados neste estudo irão contribuir para refinar o Inventário Nacional das Emissões de Gases Estufa.

## 8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Abdala, G. C.; Caldas, L. S.; Haridasan, M.; Eiten, G. Above and belowground organic matter and root:shoot ration in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*. v. 2, n. 1, p. 11-23, 1998.

Anderson, J. P.; Domsch, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 10, p. 215-221, 1978.

Bresolin, J. D. Comparação da comunidade microbiana de solos sob vegetação nativa e sob diferentes sistemas agrícolas em áreas de plantio comercial na região central do Cerrado. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília. Dissertação de Mestrado. 110 p., 2006.

Carvalho, A. Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição de resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases. *Tese de Doutorado*. Brasília-DF. 199 p., 2005.

Chikowo, R.; Mapfumo, P.; Nyamugafata, P.; Giller, K. E. Mineral N dynamics, leaching and nitrous oxide losses under maize following two-year improved fallows on a sandy loam soils in Zimbabwe. *Plant and Soil*. v.259, p. 315-330, 2004.

Davidson, E. A.; Keller, M.; Erickson, H. E.; Verchot, L. V.; Valdcamp, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. *BioScience*. v. 50, n. 8, p.667-680, 2000.

Davidson, E. A.; Ackerman, L. Change in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soil. *Biogeochemistry*. v. 20, p. 161-193, 1993.

Davidson, E. A.; Matson, P. M.; Vitousek, R.; Riley, R.; Dunkin, K; Garcia-Mendez, G.; Maass, J. M. Processes regulating soil emissions of NO and N<sub>2</sub>O in a seasonally dry tropical forest. *Ecology*. v. 74, p. 130-139,1993.

Dynia, J. F.; Camargo, O. A. Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 34, n. 1, p. 141-144, 1999.

Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 412 p., 1999.

Gilioli, J. L. Agricultura tropical: desafios perspectivas e soluções. Brasília, 111p., 2000.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC AR4 – Fourth Assessment Report, Climate Change 2007: The Scientific Basis. Valencia, 2007.

Jenkinson, D. S.; Powlson, D. S. The effects of Biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 8, n. 3, p.209-213, 1976.

Keller, M.; Weitz, A. M.; Bryan, B.; Rivera, M. M.; Silver, W. L. Soil-atmosphere nitrogen oxide fluxes: effects of root disturbance. *Journal of geophysical research*. v.105, NO, D14, p. 17.693-17.698, 2000.

Kluthcouski, J.; Aidar, H. Uso da Integração Lavoura-Pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In: Integração Lavoura-Pecuária. Org. Kluthcouski, J.; Stone, L. F.; Aidar, H. Embrapa, p. 183-224, 2003.

Lilienfein, J.; Wilcke, L. V.; Ayarza, M. A.; Lima, S. do C.; Zech, W. Soil fertility under native cerrado and pasture in the Brazilian savanna. *Soil science society journal*. v. 67, n. 4, p. 1195-1205, 2003.

Linn, D. M.; Doran, J. W. Effects of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal*. v. 48, p. 1267-1272, 1984.

Martha Júnior, G. B.; Vilela, L. Pastagem no cerrado: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes. Planaltina: Embrapa Cerrados, 32 p., 2002.

McKenney, D. J.; Drury, C. F. Nitric oxide production in agricultural soil. *Global Change Biology*. v. 3, p. 317-326, 1997.

Meier, M. Nitratbestimmung in Boden-proden (N-min-Methode). *Labor Praxis* – abril:244-247 p., 1991.

Metay, A.; Oliver, R.; Scopel, E.; Douzet, J-M.; Moreira, J. A. A.; Maraux, F.; Feigl, B. J.; Feller, C. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions soil under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). *Geoderma*. v. 141, p. 78-88, 2007.

Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Vezzani, F. M.; Lovato, T.; Fernandes, F. F.; Debarba, L. Manejo de solo e culturas e suas relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. *Tópicos Ci. Solo*. n. 3, p.165-208, 2003.

Neill, C.; Melillo, J. M.; Steudler, P. A.; Cerri, C. A.; de Moraes, J. F. L.; Piccolo, M. C.; Brito, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. *Ecological Applications*. v. 7, n. 4, p.1216-1225,1997.

Oliveira, I. P. de; Kluthcouski, J.; Yokoyama, L. P.; Dutra, L. G.; Portes, T. de A.; Silva, A. E. da; Pinheiro, B. da S.; Ferreira, E.; Castro, E. da M. de; Guimarães, C. M.; Gomide, J. de C., Balbino, L. C. Sistema Barreirão: recuperação/renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais. Goiânia: Embrapa-CNPAF, 87 p., 1996.

Oliveira, O. C.; Oliveira, I. P.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M. Chemical and biological indicator of decline/degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. v. 103, n. 2, p. 289-300, 2004.

Passianoto, C. C.; Ahrens, T.; Feigl, B.; Steudler, A.; Melillo, J. M.; do Carmo, J. B. Diurnal changes in nitric oxide emissions from conventional tillage and pasture sites in the Amazon Basin: influence of soil temperature. *Plant and soil*. n. 258, p. 21-29, 2004.

Pinto, A. S.; Bustamante, M. M. C.; Kisselle, K.; Burke, R.; Zepp, R.; Viana, L. T.; Varella, R. F.; Molina, M. Soil emissions of N<sub>2</sub>O, NO and CO<sub>2</sub> in Brazilian savannas: effects of vegetation type, seasonality, and prescribe fire. *Journal of geophysical research*. v. 107, n. D20, p. 57-1/9, 2002.

Pinto, A. S.; Bustamante, M. M. C.; da Silva, M. R. S. S. Effects of different treatments of pasture restoration on soil trace gas emissions in the cerrados of Central Brazil. *Earth Interactions*. v. 10, n. 1, p. 1-26, 2006.

Reid, R. S.; Thornton, P. K.; McCrabb, G. J.; Kruska, R. L.; Atieno, F.; Jones, P. G.; Is it possible to mitigate greenhouse gas emissions in pastoral ecosystems of the tropics? *Environment, Development and Sustainability*. v. 6, p. 91-109, 2004.

Salton, J. C.; Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Fabrício, A. C.; Macedo, M. C.; Broch, D. L.; Boeni, M.; Conceição, P. C. Matéria orgânica do solo na Integração Lavoura-Pecuária em Mato Grosso do Sul. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. EMBRAPA-Agropecuária Oeste. Dourados-MS. 58 p., 2005.

Sanhueza, E.; Cárdenas, L.; Donoso, L.; Santana, M. Effect of plowing on CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and NO fluxes from tropical savannah soils. *Journal Geophysical Research*. 99 (D8): 16429-16434, 1994.

Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L.; Ferreira, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa agropecuária brasileira*. Notas Científicas. v. 43, n.1, p.153-156, 2008.

Silva, M. R. S. S. da. Produção de serapilheira, biomassa e diversidade de comunidades bacterianas do solo em áreas de Cerrado sob diferentes usos e manejos. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília. Dissertação de Mestrado. 77 p., 2004.

Silva, J. E.; Resck, D. V. S.; Corazza, E. J.; Vivald, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v. 103, p. 357-363, 2004.

Skiba, U.; Smith, K. A.; Fowler, D. Nitrification and denitrification as sources of nitric oxide and nitrous oxide in sandy loam soil. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 25, p. 1527-1536, 1993.

Skiba, U.; Fowler, D.; Smith, K. A. Nitric oxide emissions from agricultural soils in temperate and tropical climates: sources, controls and mitigation options. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. v. 48, p. 139-153, 1997.

Veldkamp, E. Organic carbon turnover in the three tropical soil under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*. v. 58, p. 175-180, 1994.

Varella, R. F.; Molina, M. Soil emissions of N<sub>2</sub>O, NO and CO<sub>2</sub> in Brazilian savannas: effects of vegetation type, seasonality, and prescribed fire. *Journal of geophysical research*. v. 107, n. D20, p. 57-1/9. 2002.

Varella, R. F.; Bustamante, M. M. C.; Pinto, A. S.; Kisselle, K. W.; Santos, R. V.; Burke, R. A.; Zepp, R. G.; Viana, L. T. Soil fluxes of CO<sub>2</sub>, CO, NO, and N<sub>2</sub>O from an old pasture and from native savanna in Brazil. *Ecological Society of America*. v.14, n. 4, p. s221-s231, 2004.

Varner, R. K.; Keller, M.; Robertson, J. R. Experimentally induced root mortality increased nitrous oxide emission from tropical forest soils. *Geophysical Research Letters*. v. 30, p. 1141-1145, 2003.

Vos, G. J. M.; Bergevoet, I. M. J.; Vedy, J. C.; Neyroun, J. A. The fate of spring applied fertilizer N during the autumn-winter period: comparison between winter-fallow and green manure cropped soil. *Plant Soil*. v. 160, p. 201-213, 1994.

Yamulki, S.; Goulding, K. W.T.; Webster, C. P.; Harrison, R. M. Studies on NO and N<sub>2</sub>O fluxes from a wheat field. *Atmospheric Environment*. V. 29, p. 1627-1635, 1995.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema central proposta pela presente tese foi a influência de sistemas de cultivo representativos do modelo de ocupação agrícola em áreas de Cerrado sobre as emissões de N-NO, N-N<sub>2</sub>O e C-CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera.

Os resultados mostram que as fertilizações nitrogenadas aplicadas nos cultivos de sequeiro contribuem para as perdas de óxidos de N predominante na forma de NO. No entanto, quando diferentes doses N foram testadas em uma área experimental, as emissões de NO tenderam a estabilizar-se, não sendo proporcionais às doses de N nos níveis testados. Por outro lado, as fertilizações nitrogenadas associadas com irrigação aumentam também as emissões na forma de N<sub>2</sub>O. Em todas as culturas anuais estudadas, houve um pequeno aumento das emissões de óxidos de N no período de senescência das culturas. Dessa forma, a presente tese aponta para a necessidade de estudos mais detalhados sobre os mecanismos que controlam os fluxos de óxidos de N bem como sobre os processos resultantes do desenvolvimento das culturas que podem resultar em pulsos de emissão. Embora, no cultivo da soja não sejam utilizados fertilizantes nitrogenados, as perdas de óxidos de N ganham relevância em decorrência da área ocupada por esta cultura na Região Centro-Oeste. Assim, levantamentos em escala regional são fundamentais para avaliar a contribuição efetiva da agricultura para as emissões de NO e N<sub>2</sub>O. Os solos cultivados têm sido apontados como fontes potenciais do CO<sub>2</sub> atmosférico. No entanto, os resultados de emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera apresentados por esse trabalho não podem ser considerados uma perda líquida de C para a atmosfera visto que a respiração do solo é apenas um dos componentes que contribuem para o fluxo líquido de CO<sub>2</sub> do sistema solo-planta. No entanto, os resultados apontam que os fluxos de CO<sub>2</sub> são controlados principalmente pela disponibilidade de água no solo, mas há interações com a entrada de N via fertilização.

No decorrer do tempo de uso do solo para atividades agrícolas, os efeitos negativos das perdas de N, na forma de NO e N<sub>2</sub>O podem ser agravados pela redução nos estoques de C e N do solo. Este estudo mostra que sistemas de cultivos mais diversificados, especialmente quando utilizam rotação ou consórcio de leguminosas e gramíneas, a exemplo do sistema de Integração Lavoura-Pecuária,

podem contribuir para a manutenção do C e do N do solo, compensando por um período as perdas de CO<sub>2</sub>, NO e N<sub>2</sub>O.

Dessa forma, com relação ao tema central levantado inicialmente, o modelo de ocupação agrícola estabelecido em áreas de Cerrado tem alterado o ciclo natural do C e do N com conseqüente impacto para as mudanças globais, ainda que os Fatores de Emissão Induzida por Fertilizantes para NO e N<sub>2</sub>O calculados nesse trabalho sejam inferiores àqueles estabelecidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas-IPCC. Nesse contexto, o presente estudo aponta a relevância de investimentos em políticas que incentivem os sistemas agrícolas mais diversificados e conservacionistas, com a adoção de práticas que melhorem a eficiência da fertilização nitrogenada e do uso de nitrogênio pelas culturas, e que reorientem a expansão de fronteiras agrícolas em áreas já abertas, com o objetivo de reduzir o desmatamento e estimular a recuperação de áreas degradadas e reduzir as emissões de NO, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>.