**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta
após aplicação de herbicidas**

Virginia Damin

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

**Piracicaba
2009**

Virginia Damin
Engenheira Agrônoma

**Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta após
aplicação de herbicidas**

Orientador:

Prof. Dr. **PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

Piracicaba
2009

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Damin, Virginia

Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta após aplicação de herbicidas /
Virginia Damin. - - Piracicaba, 2009.
130 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
Bibliografia.

1. Amônia 2. Herbicidas 3. Fertilizantes nitrogenados 4. Nitrogênio 5. Plantas para cobertura
6. Relação solo - planta I. Título

CDD 631.4

D159t

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICO

À minha mãe *Cidinha*, pelo amor, dedicação e
por me transmitir a vontade de ensinar;

Ao meu pai *Reinaldo*, pelo amor, apoio e
por despertar em mim o desejo de aprender;

Ao meu irmão *Plínio*,
Por sua amizade e companheirismo ao longo da estrada;

Ao meu amado *Saul*,
Por seu carinho e dedicação, pela alegria que trouxe às nossas vidas
e porque agora me sinto completa

À querida *Sofia*,
Por despertar em mim o amor incondicional e me remeter
à doce e fascinante missão de ser mãe.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, pelo enorme amadurecimento e aprendizagem durante o doutorado; pela orientação atenciosa, pelo exemplo de profissional competente e correto e por me incentivar a fazer as coisas da forma que acredito;

À equipe do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP): Professores José Alberto Bendassolli, Jefferson Mortatti e Helder de Oliveira; e aos funcionários Cléuber, Miguel, Bento, Juliana e Glauco pelo auxílio constante e convivência agradável. Em especial:

Ao Hugo, pela grande ajuda na realização das análises e coletas de campo, pelas risadas e broncas e pela amizade.

Ao Pingin, por suas idéias engenhosas, que permitiram a realização deste trabalho e pelos puxões de orelha carinhosos e por sua amizade;

À Magda, por cuidar das questões administrativas relacionadas ao trabalho e pelo carinho, preocupação e amizade que me dispensou, os quais foram fundamentais para a superação de momentos difíceis;

Aos estagiários: Cíntia, Caroline, Rafael T. Schiavuzzo (*in memorian*), Tales, Laila, Murilo, Graziela, André, Matheus e Danilo pela ajuda nos experimentos e análises, pela amizade e pelos momentos divertidos de convivência no laboratório. Em especial ao meu querido estagiário Tiago por sua eficiência, dedicação, amizade e infinitas risadas;

Ao Saul pelas aplicações de herbicidas; pelas discussões sobre nitrogênio, plantas daninhas e áreas afins; e pelas correções feitas neste trabalho de tese;

À minha mãe Cida, por mais uma vez ler meus trabalhos e corrigi-los, mesmo sem saber do que se trata;

Ao Departamento de Ciência do Solo e Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade e confiança;

Ao CENA/USP, em especial ao Laboratório de Isótopos Estáveis, por proporcionar excelente condição de pesquisa e pelo ambiente de trabalho agradável e descontraído;

Aos funcionários do APTA-IAC pela colaboração no desenvolvimento do experimento de campo. Em especial ao Dr. André Vitti, pela concessão da área experimental, sugestões e colaboração no trabalho; e ao funcionário Mizael, pela dedicação e capricho na execução das tarefas solicitadas;

Aos alunos da disciplina CEN-5747: Amanda, Ana Carolina, Diego, Eloise, Emídio, Isabelli, Juliana, Leila, Larissa, Michele, Raul e Victor por me ajudar a refazer os experimentos perdidos e pela colaboração nos trabalhos a publicar;

À Fernanda Mendes e ao Edson Cabral pelas sementes de *Brachiaria ruziziensis* e *Pennicetum glaucum* fornecidas;

Aos professores Dr. Pedro Christoffoleti, Dr. Jorge Kiehl e Dr. Takashi Muraoka pelas sugestões dadas na banca examinadora de qualificação;

Ao Prof. Dr. Nilton Curi por me trazer para o fascinante mundo da pesquisa;

Aos eternos amigos Vanisse, Renata, João Massaroto, Carol Barbosa, Andreza e Camila Franco pela amizade incondicional;

Às queridas amigas da pós-graduação Jeanedy, Luciana Ferreira, Maísa (pequena), Cristiane (Sadia), Carol Pamplona, Isabela, Luciana Zalaf, Fabi e Ludmila pelos momentos divertidos, pelas discussões existenciais e por todo apoio que me dispensaram. Em especial à Tatiele Fenilli por ser a irmã que não tive;

Aos queridos amigos da pós-graduação Valdomiro, Carlos Faroni e Milton de Moraes pelo apoio e incentivo constante;

Aos meus queridos companheiros de sala: Rafael (porpurina), Henrique (cabeça), Raul, Anderson, Michele e Emídio pelo companheirismo, amizade e valiosos auxílios;

A todos os colegas do departamento de Ciência do Solo, em especial à Adna, Afrânio, Alexandre, Carolina Lisboa, Daniel, Fred, Gean, João Luis, Letícia, Mara, Marcelo, Rafael Beirigo, Sayonara, Stoécio e Zaqueu

Aos colegas do LIE: Carlos Sant'ana, Alexandre, Diego, Alexssandra, Josiane e Felipe que tornaram a rotina diária mais agradável.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos e a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro.

A todos aqueles participaram dessa etapa de minha vida

MUITO OBRIGADA.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
Referências.....	14
2 CONCENTRAÇÃO DE N-AMÔNIO E N-TOTAL EM <i>Brachiaria decumbens</i> APÓS APLICAÇÃO DE HERBICIDAS.....	16
Resumo.....	16
Abstract.....	16
2.1 Introdução.....	17
2.2 Material e Métodos.....	18
2.3 Resultados e Discussão.....	20
2.4 Conclusões.....	23
Referências.....	24
3 PERDAS DE NITROGÊNIO DO SISTEMA SOLO-PLANTA APÓS APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM <i>Pennisetum glaucum</i> , <i>Avena strigosa</i> E <i>Brachiaria ruziziensis</i>	26
Resumo.....	26
Abstract.....	26
3.1 Introdução.....	27
3.2 Material e Métodos.....	28
3.3 Resultados.....	35
3.4 Discussão.....	48
3.5 Conclusões.....	56
Referências.....	57
4 EMISSÃO DE NH ₃ PELAS PLANTAS E PELO SOLO APÓS APLICAÇÃO DO HERBICIDA GLYPHOSATE EM <i>Brachiaria decumbens</i>	61
Resumo.....	61
Abstract.....	61
4.1 Introdução.....	62
4.2 Material e Métodos.....	63
4.3 Resultados e Discussão.....	69

4.4 Conclusões.....	75
Referências.....	75
5 EXSUDAÇÃO DE COMPOSTOS NITROGENADOS E DESTACAMENTO DE RAÍZES EM <i>Brachiaria decumbens</i> APÓS APLICAÇÃO DE HERBICIDAS.....	78
Resumo.....	78
Abstract.....	78
5.1 Introdução.....	79
5.2 Material e Métodos.....	80
5.3 Resultados e Discussão.....	83
5.4 Conclusões.....	91
Referências.....	91
6 MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DA PALHA DE AVEIA PRETA DESSECADA COM HERBICIDAS E APROVEITAMENTO PELO MILHO.....	94
Resumo.....	94
Abstract.....	94
6.1 Introdução.....	95
6.2 Material e Métodos.....	96
6.3 Resultados e Discussão.....	100
6.4 Conclusões.....	108
Referências.....	108
7 MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DA PALHA DE MILHETO DESSECADA COM HERBICIDAS E APROVEITAMENTO PELO MILHO.....	111
Resumo.....	111
Abstract.....	111
7.1 Introdução.....	112
7.2 Material e Métodos.....	113
7.3 Resultados e Discussão.....	117
7.4 Conclusões.....	127
Referências.....	127
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	129

RESUMO

Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta após aplicação de herbicidas

A utilização de herbicidas pode modificar a dinâmica do nitrogênio nos agroecossistemas e, como consequência, a disponibilidade do nutriente às plantas e microrganismos. Estas mudanças podem ocorrer devido às alterações fisiológicas ocasionadas nas plantas e/ou devido ao efeito dos herbicidas na atividade e composição da comunidade microbiana do solo, a qual tem funções importantes nas transformações do N no sistema. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho de tese: 1- avaliar as perdas de nitrogênio do sistema solo-planta, sem distinção às vias de saída, após a aplicação de herbicidas em *Pennisetum glaucum*, *Avena strigosa* e *Brachiaria ruziziensis*; 2- avaliar a concentração de NH_4^+ na planta, a emissão de NH_3 via foliar e a volatilização de NH_3 pelo solo após aplicação de glyphosate em *B. decumbens*; 3 – avaliar a exsudação de compostos nitrogenados por *B. decumbens* após aplicação dos herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat; e 4 – avaliar a mineralização do N da palha de *P. glaucum* e *A. strigosa* dessecados com herbicidas e o aproveitamento do N proveniente da palha por plantas de milho. O herbicida glyphosate aumentou a concentração de NH_4^+ em plantas de *B. decumbens* e, como consequência, a emissão de NH_3 via foliar em duas espécies de plantas do gênero *Brachiaria*. A volatilização de NH_3 pelo solo não foi afetada pela utilização do herbicida glyphosate. As perdas de N do sistema solo-planta foram maiores após aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio em *P. glaucum*, *B. decumbens* e *B. ruziziensis*. No entanto, em *A. strigosa* as perdas não foram afetadas por estas moléculas. Os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio modificaram a partição do N nas espécies estudadas, ocorrendo redução no conteúdo de N nas folhas. As perdas de N do sistema e a partição do N nas plantas não foram afetadas pelo herbicida paraquat, aplicado em *B. ruziziensis* e *A. strigosa*. A exsudação de compostos nitrogenados foi maior após aplicação dos herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat em *B. decumbens*. A mineralização do N de resíduos culturais de *P. glaucum* e *A. strigosa* foi reduzida pela dessecação destas espécies com os herbicidas glyphosate e glufosinato, sendo observado menor conteúdo de N proveniente do fertilizante no milho cultivado em solo com palha proveniente de plantas dessecadas. No entanto, a massa seca de grãos e das plantas de milho não foram afetadas pela utilização de herbicidas na dessecação das espécies utilizadas como cobertura. O carbono da biomassa microbiana e a conversão de amônio em nitrato foram menores no solo com palha de *P. glaucum* dessecado com herbicidas em relação à testemunha. Com base nos resultados obtidos neste trabalho de tese, conclui-se que os herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat podem afetar a dinâmica do N nos agroecossistemas, reduzindo a disponibilidade de N às plantas. Estes resultados apontam a necessidade de desenvolvimento de novas pesquisas, visando conhecer a real magnitude dos impactos causados pelo uso de herbicidas nos processos relacionados ao ciclo do nitrogênio. As informações obtidas neste trabalho de tese e pesquisas futuras relacionadas ao tema podem ser úteis para elaboração de estratégias de manejo que aumentem o aproveitamento do N pelas culturas e reduzam o impacto ambiental ocasionado pelo uso de fertilizantes e herbicidas.

Palavras-chave: Dessecação; Culturas de cobertura; Amônia; Mineralização; Glyphosate

ABSTRACT

Nitrogen transformations in soil-plant system after herbicide application

Herbicide adoption might modify nitrogen dynamics in agroecosystems and, for consequence, nutrient availability for plants and microorganisms. These modifications may occur because of plant physiologic changes and/or due to herbicide effects on activity and composition of soil microbial community, which has important functions on system N modifications. In this context, thesis was developed with the following objectives: 1- Evaluating nitrogen losses in soil-plant system, with no distinction to exit ways, after herbicide application in *Pennisetum glaucum*, *Avena strigosa* and *Brachiaria ruziziensis*; 2 – Evaluating NH_4^+ plant concentration, NH_3 emission by leaves and soil NH_3 volatilization after herbicide application in *B. decumbens*; 3- Evaluating nitrogen compounds exudation by *B. decumbens* after the application of the herbicides glyphosate, ammonium-glufosinate or paraquat; and 4- Evaluating nitrogen mineralization of *P. glaucum* e *B. decumbens* straw previously desiccated with herbicides and N-straw usefulness by corn plants. Glyphosate increased NH_4^+ concentration in plants of *B. decumbens* and, by consequence, NH_3 leaf emission in two plant species of *Brachiaria* genus. Ammonia volatilization from soil was not affected by application of the herbicide glyphosate. Nitrogen losses of the soil-plant system were larger after glyphosate and ammonium-glufosinate application on *P. glaucum*, *B. decumbens* and *B. ruziziensis*. However, for *A. strigosa*, the losses were not affected by herbicide application. The herbicides glyphosate and ammonium-glufosinate modified species N partition, reducing N amount in leaves. System nitrogen losses and N plant partition were not affected by the herbicide paraquat, applied on *B. ruziziensis* and *A. strigosa*. Nitrogen compounds exudation was higher after application of the herbicides glyphosate, ammonium-glufosinate or paraquat on *B. decumbens*. Nitrogen mineralization from crop residues of *P. glaucum* e *A. strigosa* was reduced by crop desiccation with the herbicides glyphosate and ammonium-glufosinate, being observed smaller N-fertilizer amount in corn grown in soil with straw of these covering crops. Thus, kernel dry mass and whole plant dry mass were not affected by herbicide application for *P. glaucum* e *A. strigosa* desiccation. Microbial biomass carbon and ammonium-nitrate conversion were smaller in soil covered with *P. glaucum* straw previously desiccated with herbicides when compared to the check. Based on the results reached in this thesis, one could conclude that glyphosate, ammonium-glufosinate and paraquat may affect nitrogen dynamics at agroecosystems, reducing N availability for crops. These results indicate the necessity for developing new researches, aiming to know the real magnitude of the impacts caused by herbicides in the processes of nitrogen cycle. The information obtained in the work and in future researches related to the theme might be useful for creating management strategies that increase N crop usefulness and reduce environmental impact caused by herbicide and fertilizer adoption.

Keywords: Desiccation; Cover crops; Ammonia; Mineralization; Glyphosate

1 INTRODUÇÃO

A adubação nitrogenada é uma das principais práticas associadas à obtenção de altas produtividades nos sistemas agrícolas. No entanto, o uso indiscriminado destes insumos pode ocasionar a emissão de gases do efeito estufa (SHERLOCK et al., 1989), a contaminação de águas subsuperficiais com nitrato e a destruição do ozônio na estratosfera, intermediada pelo N_2O (GROFFMAN, 2000). Ainda, o processo de obtenção dos fertilizantes contendo nitrogênio (N) tem custo elevado e, comumente, utiliza combustíveis fósseis, que são recursos não-renováveis.

Na tentativa de minimizar os custos de produção e os impactos ambientais decorrentes do uso de fertilizantes nitrogenados, tem sido preconizada a adoção de estratégias de manejo que minimizem as perdas de N dos agroecossistemas e favoreçam o sincronismo entre o fornecimento do nutriente e a época de maior exigência pelas culturas. A grande dificuldade decorre do fato do N ser um elemento altamente reativo solo, estando sujeito a diversas transformações no solo e nas plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). No solo, a maioria das transformações do N é mediada pela comunidade microbiana, a qual é muito variável, tanto no espaço como no tempo. Portanto, além das propriedades como pH, conteúdo de matéria orgânica e CTC, a dinâmica do N é influenciada pelos fatores que afetam a microbiota, como aeração, disponibilidade de água e presença de substâncias tóxicas aos microrganismos.

As atividades agrícolas podem modificar algumas propriedades do solo e impactar a comunidade microbiana; por esta razão, devem ser consideradas na predição da disponibilidade de N às plantas e nos estudos de impactos ambientais ocasionados pelo nutriente. Nas últimas décadas, um dos principais focos das pesquisas relacionadas à dinâmica do N nos agroecossistemas tem sido a adoção de sistemas de manejo conservacionistas, com destaque ao sistema de semeadura direta. No entanto, um tema que não tem sido contemplado é como a utilização de herbicidas, empregados nestes sistemas para dessecação da cultura de cobertura, pode impactar os processos relacionados ao ciclo do nitrogênio.

O glyphosate é o principal herbicida utilizado na dessecação de culturas de cobertura em sistema de semeadura direta (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). No entanto, devido ao aparecimento de biótipos de plantas daninhas resistentes a esta molécula (MOREIRA; CHRISTOFFOLETI, 2008), herbicidas como o glufosinato de amônio e o paraquat também tem uso difundido na dessecação de plantas de cobertura.

Com relação aos efeitos dos herbicidas nas transformações do N, Damin et al. (2008) observaram maiores perdas do nutriente do sistema solo-planta após dessecação de *Brachiaria decumbens* com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio. As principais transformações que resultam em perdas de N são: a volatilização de amônia do solo, decorrente da aplicação de adubos amídicos-amoniacaais e da mineralização de matéria orgânica; a nitrificação; as emissões de óxidos de nitrogênio e nitrogênio elementar, associadas aos processos de nitrificação e desnitrificação; as emissões de óxidos de nitrogênio pelas plantas, decorrentes da redução incompleta de NO_3^- a NH_4^+ nos cloroplastos; e as perdas de NH_3 via foliar ((FARQUHAR et al., 1980; HOLTAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994; TRIVELIN, 2000; SMART; BLOOM, 2001; FRANCO et al., 2008).

No solo, o uso de herbicidas pode afetar a biomassa e composição da comunidade microbiana e, como consequência, todos os processos mediados por esta. O glyphosate é pouco tóxico a microbiota, podendo ser observado aumento da biomassa microbiana após sua aplicação (ACINELLI et al., 2002). Cabe ressaltar, no entanto, que algumas populações de microrganismos, como as bactérias fixadoras de nitrogênio, são reduzidas após aplicação do herbicida (JAWORSKI, 1972). Poucos estudos foram desenvolvidos visando avaliar a toxicidade do glufosinato de amônio aos microrganismos, mas os resultados existentes têm demonstrado que ele é pouco tóxico a microbiota (ACINELLI et al., 2002). O herbicida paraquat promove a desintegração das membranas celulares (SYNGENTA, 2005) e, portanto, é altamente tóxico à biota em geral.

Na planta, as perdas de N após aplicação de herbicidas podem estar relacionadas ao mecanismo de ação dos produtos. O glyphosate inibe a ação da enzima EPSPS (Enolpiruvil shiquimato fosfato sintase), responsável por uma das etapas de síntese dos aminoácidos triptofano, fenilalanina e tirosina. Porém, como efeito secundário, aumenta a atividade da enzima PAL (fenilamina amônia-liase) (DUKE; HOAGLAND, 1985), que atua na lise dos aminoácidos fenilalanina e tirosina, resultando na formação de ácidos fenólicos e NH_4^+ (HOAGLAND; DUKE; ELMORE, 1979).

A concentração de NH_4^+ na planta é um dos principais fatores associados ao aumento das emissões de NH_3 via foliar. Manderscheid et al. (2005) observaram aumento do potencial de emissão de NH_3 via foliar após aplicação do herbicida glufosinato de amônio em cinco espécies de plantas daninhas. Esta molécula inibe a ação da enzima glutamina sintetase, responsável pela

síntese de glutamato a partir de amônio e glutamina. A rota metabólica inibida pelo herbicida é considerada a principal via de assimilação de amônio em compostos orgânicos (SCHJOERRING; HUSTED; MATTSSON, 1998) e, como consequência, sua inibição resulta em acúmulo de NH_4^+ no tecido vegetal (MANDERSCHIED et al., 2005). Cabe ressaltar, entretanto, que a elevação dos níveis de NH_4^+ na planta pode não ser acompanhada da emissão de NH_3 , visto que a aplicação de herbicidas pode reduzir a condutância estomática da planta (FERNANDEZ; McINNES; COTHREN, 1994; FUCHS et al., 2002).

Caso haja redução do N no tecido vegetal, após aplicação de herbicidas, as taxas de mineralização dos resíduos culturais e a disponibilidade de N à cultura em sucessão podem ser afetadas. Informações desta natureza podem ser úteis, por exemplo, na tomada de decisão quanto a época de fornecimento do N em áreas sob sistema de semeadura direta. Neste sistema, a adubação nitrogenada pode ser realizada em pré-semeadura da cultura de interesse, com o intuito de imobilizar o N aplicado, evitando perdas por lixiviação e favorecendo o fornecimento gradual do nutriente para a cultura em sucessão. No entanto, se ocorrerem perdas de N na dessecação da cultura de cobertura esta prática pode não ser compensatória. Portanto, avaliar como os herbicidas afetam a dinâmica do N no sistema solo-planta é importante para a elaboração de estratégias de manejo que aumentem a eficiência da adubação nitrogenada e reduzam os impactos ambientais ocasionados pelo uso de fertilizantes e herbicidas.

Com vista no exposto, objetivou-se com este trabalho de tese avaliar:

- As perdas de N do sistema solo planta após aplicação de herbicidas em *Pennisetum glaucum*, *Avena strigosa* e *Brachiaria ruziensis*;
- A emissão de NH_3 por plantas de *B. decumbens* e *B. ruziensis* após aplicação de herbicidas;
- A exsudação de compostos nitrogenados por *B. decumbens* após aplicação de herbicidas;
- A mineralização do N da palha de *Pennisetum glaucum* e *Avena strigosa* dessecados com herbicidas e o aproveitamento do N da palha por plantas de milho.

Referências

- ACCINELLI, C.; SCREPANTI, C.; DINELLI, G.; VICARI, A. Short-time effects of pure and formulated herbicides on soil microbial activity and biomass. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, Barcelona, v.82, n.8/9, p. 519–527, 2002.
- CARMO, J.B.; ANDRADE, C.A.; CERRI, C.C.; PICOLLO, M.C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N_2O a partir do solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.735-746, 2005.
- DAMIN, V.; FRANCO, H.C.J; MORAES, M.F; FRANCO, A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen loss in *Brachiaria decumbens* after application of glyphosate or glufosinate-ammonium. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.402-407, 2008.
- GROFFMAN, P.M. Nitrogen in the environment. In: SUMMER, M.E. (Ed.) **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.190-200.
- JAWORSKI, E.G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 20, n. 6, p. 1195-1198, 1972.
- MANDERSCHIED, R.; SCHAAF, S.; MATTSSON, M.; SCHJOERRING, J.K. Glufosinato treatment of weeds results in ammonia emission by plants. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.109, n.1/2, p. 129-140, 2005.
- MATTSSON, M.; HUSTED, S.; SCHJOERRING, J. K. Influence of nutrition and metabolism on ammonia volatilization in plants. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, Berlim, v.51, n.1, p. 35-40, 1998.
- MOREIRA, M.S.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da EPSPs (Grupo G). In: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.) **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Piracicaba: HRAC-BR, 2008. p.77-97.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina: Autores, 2005. 592p.
- SHERLOCK, R.R.; FRENEY, J.R.; SMITH, N.P.; CAMERON, K.C. Evaluation of a sampler for assessing ammonia losses from fertilized fields. **Fertilizer Research**, Springer, v.21, n.2, p. 61-67, 1989.
- SCHJOERRING, J. K.; HUSTED, S.; MATTSSON, M. Physiological parameters controlling plant-atmospheric ammonia exchange. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v.32, n.3, p.491-498, 1998.
- SMART, D.R.; BLOOM, A.J. Wheat emit nitrous oxides during nitrate assimilation. **PNAS**, Washington, v.98, n.14, p.7875-7878, 2001.

SNAPP, S.S.; BORDEN, H. Enhanced nitrogen mineralization in mowed or glyphosate treated cover crops compared to direct incorporation **Plant and Soil**, Dordrecht, v.270, n.1/2, p.101-112, 2005.

SYNGENTA CROP PROTECTION. **A ciência do paraquat**. Disponível em: <http://www.paraquat.com/Default.aspx?tabid=749>. Acesso em: 17 jul.2008.

2 CONCENTRAÇÃO DE N-AMÔNIO E N-TOTAL EM *Brachiaria decumbens* APÓS APLICAÇÃO DO HERBICIDA GLYPHOSATE

Resumo

A utilização de glyphosate na dessecação de culturas de cobertura pode favorecer as perdas de nitrogênio do sistema solo-planta, com destaque à perda via foliar na forma de NH_3 . Um dos principais fatores utilizados na predição das emissões de NH_3 pelas plantas é a concentração de NH_4^+ nos tecidos vegetais. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar a concentração de N-total e N-amônio em *Brachiaria decumbens* após aplicação do herbicida glyphosate. O experimento foi desenvolvido em casa-de-vegetação, com delineamento inteiramente casualizado e quatro repetições. Os tratamentos resultaram de combinação fatorial entre dois tipos de manejo da cultura (A – Testemunha, sem aplicação de herbicidas e B – Glyphosate - dessecação da cultura com o herbicida glyphosate) e cinco datas de avaliação após a aplicação (DAA) do herbicida (0, 1, 3, 6 e 12 DAA). A dessecação de *B. decumbens* com o herbicida glyphosate aumentou a concentração de amônio na parte aérea, raízes e planta inteira aos 6 e 12 DAA, mas não afetou o N-total da planta. A maior concentração de NH_4^+ na planta inteira foi observada aos 12 DAA, quando o NH_4^+ correspondeu a 22% do N-total da planta.

Palavras-chave: Nitrogênio; NH_4^+ ; Dessecação; Manejo; Amônia

Concentration of N-ammonium and N-total in *Brachiaria decumbens* after glyphosate application

Abstract

Glyphosate adoption for cover crop desiccation might contribute for nitrogen losses in the soil-plant system, mainly through leaf losses in the form of NH_3 . One of the main factors used for predicting plant NH_3 emission is the concentration of ammonium (NH_4^+) in vegetal tissues. In this context, this work was developed with the objective of evaluating N-total and N-ammonium concentration in *Brachiaria decumbens* after glyphosate application. Trial was carried out in greenhouse, with completely randomized design and four replicates. Treatments resulted of factorial combination between two crop desiccation managements (A – Check, without herbicide application and B – Glyphosate – crop desiccation with the herbicide glyphosate) and five moments of evaluation, counted as days after herbicide application (DAA): 0, 1, 3, 6 and 12 DAA. Desiccation of *B. decumbens* with the herbicide glyphosate increase ammonium concentration inside shoot, root and in the whole plant at 6 and 12 DAA; however, glyphosate did not affect N-total of the plant. The highest whole plant concentration of ammonium was observed at 12 DAA, when NH_4^+ corresponded to 22% of total nitrogen.

Keywords: Nitrogen; NH_4^+ ; Desiccation; Management; Ammonia

2.1 Introdução

A utilização de herbicidas dessecantes pode modificar a ciclagem de nitrogênio nos agroecossistemas. A fixação biológica de N pode ser reduzida (JAWORSKI, 1972), as taxas de mineralização do N orgânico do solo aumentadas (SNAPP; BORNEN, 2005) e a emissão de N_2O pelo solo e de NH_3 via foliar podem ser favorecidas pela aplicação destas moléculas (MANDERSCHIED et al., 2005; CARMO et al., 2005). Damin et al. (2008) constataram que aproximadamente 20% do N aplicado via fertilização saiu do sistema solo-planta após aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio em *Brachiaria decumbens*. A emissão de NH_3 via foliar foi o principal processo associado às perdas de nitrogênio do sistema.

Os fatores que afetam a emissão de NH_3 pelas plantas não estão totalmente esclarecidos, mas sabe-se que há influência da concentração de NH_4^+ endógeno e do estágio de desenvolvimento da cultura, sendo a senescência a fase com maior potencial de emissão de amônia, devido à elevação dos níveis de NH_4^+ no tecido vegetal (SCHJOERRING; HUSTED; MATTSSON, 1998). O NH_4^+ em altas concentrações é tóxico às plantas e a emissão de NH_3 pode ser um mecanismo de detoxificação.

Em áreas agrícolas, os herbicidas são empregados para induzir a senescência das plantas. A duração da fase de senescência, decorrente da aplicação de herbicidas, é bastante reduzida e a intervenção pode ocorrer em qualquer estágio do desenvolvimento da planta. Portanto, é possível que os padrões de comportamento do nitrogênio sejam diferentes daqueles observados em condições de senescência natural. Além de induzir à senescência, o herbicida glyphosate afeta o metabolismo do N na planta devido ao aumento da atividade da enzima fenilalanina amonialiase (DUKE; HOAGLAND, 1985). Esta enzima atua na lise do aminoácido fenilalanina, podendo aumentar os níveis de NH_4^+ e, como consequência, o potencial de emissão de amônia.

Estreita correlação tem sido observada entre os níveis de NH_4^+ no tecido da folha e a razão entre os valores de NH_4^+ e H^+ no apoplasto (valor $\Gamma = NH_4^+/H^+$). Com base nestas observações, alguns autores têm sugerido que os níveis de NH_4^+ no tecido foliar podem ser utilizados para predição do potencial de emissão de NH_3 pelas plantas (NIELSEN; SCHJOERRING, 1998; MATTSSON; SCHJOERRING, 2003; MANDERSCHIED et al., 2005; MATTSSON et al., 2008). Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar a concentração de NH_4^+ e N-total em *Brachiaria decumbens* após aplicação do herbicida glyphosate.

2.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em casa-de-vegetação, localizada no CENA/USP, Piracicaba - SP (22° 42' 30" latitude sul, 47° 38' 00" longitude oeste e 546 m de altitude), no período compreendido entre março e maio de 2007. Foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com quatro repetições. Os tratamentos foram resultado de combinação fatorial entre dois tipos de manejo da cultura (A – Testemunha, sem aplicação de herbicidas e B – Glyphosate - dessecação da cultura com o herbicida glyphosate) e cinco datas de avaliação, após a aplicação (DAA) do herbicida (0, 1, 3, 6 e 12 DAA); o que resultou em 36 parcelas.

Cada parcela correspondeu a um pote de 5 L de capacidade, sem orifícios na base, preenchido com 4,5 kg de terra fina seca ao ar (TFSA), proveniente da camada de 0-0,2 m de um NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico – RQ (EMBRAPA, 1999). A caracterização química do solo, realizada segundo Raij et al. (2001), é descrita na Tabela 2.1, complementada pela composição granulométrica. A acidez e a fertilidade do solo foram corrigidas antes da semeadura de *Brachiaria decumbens*. A quantidade aplicada de calcário, determinada pelo método da Saturação por Bases, correspondeu a 2,2 g pote⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 100%). O corretivo foi aplicado com 100 mg kg⁻¹ de P, na forma de superfosfato simples (5,6 g pote⁻¹), procedendo-se a mistura dos insumos à terra dos potes. Posteriormente, foram aplicados 100 mL pote⁻¹ de solução contendo 800 mg de K (cloreto de potássio, puro para análise - p.a.), 0,12 mg de Zn (sulfato de zinco p.a.), 0,06 mg de B (ácido bórico p.a.) e 0,08 mg de Cu (sulfato de cobre p.a.).

Após as correções de acidez e fertilidade do solo, a capacidade máxima de retenção de água do solo foi elevada a 70% e os potes permaneceram lacrados e em período de incubação por 15 dias. Em 16/03/2007, 100 sementes de *B. decumbens* foram distribuídas em cada pote e, após a germinação e desenvolvimento das plantas, o fertilizante sulfato de amônio foi aplicado na dose de 900 mg pote⁻¹ de N, na forma de solução. Os potes foram irrigados e pesados diariamente em balança eletrônica, para manutenção da capacidade máxima de retenção de água do solo a 60%.

$$NH_4^+ = \frac{NH_4^+ (mg / kg)}{10} \cdot MS$$

Em que:

NH_4^+ = NH_4^+ no tecido vegetal (mg pote⁻¹)

$NH_4^+ (mg/kg)$ = concentração de amônio na amostra (mg L⁻¹)

MS = massa seca (g pote⁻¹)

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância e, quando o teste F foi significativo, procedeu-se a comparação de médias pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

2.3 Resultados e Discussão

A concentração de N-total na parte aérea, raízes e na planta inteira de *Brachiaria decumbens* não diferiu entre os tratamentos, evidenciando que não houve remobilização significativa do nutriente. Somente nas raízes, o N-total diferiu entre as datas de avaliação, o que pode estar relacionado aos processos de absorção/exsudação (Tabela 2.2).

Na parte aérea e nas raízes, a concentração de NH_4^+ do tratamento com glyphosate diferiu da testemunha a partir do 6º DAA. Na parte aérea, o teor de NH_4^+ do tratamento com herbicida foi 15 vezes maior do que na testemunha aos 12 DAA. Nas raízes, houve incremento de NH_4^+ até o 6º DAA, sendo seu teor reduzido aos 12 DAA (Tabela 2.3). É possível que a redução do íon nas raízes esteja relacionada à exsudação de NH_4^+ e de compostos orgânicos contendo N. Wang et al. (1993) observaram que cerca de 20% do NH_4^+ presente no apoplasto de raízes de arroz, cultivado em solução nutritiva, retornaram à solução. Kremer; Means e Kim (2005) observaram aumento na exsudação de aminoácidos e carboidratos por soja convencional e geneticamente modificada para tolerância ao glyphosate após aplicação do herbicida. Resultados similares foram encontrados por Liu; Punja e Rahe (1997) em plantas de feijão.

As concentrações de NH_4^+ na parte aérea e raízes da testemunha não diferiram entre as datas de avaliação (Tabela 2.3). Na planta inteira, o acúmulo de NH_4^+ no tratamento com glyphosate foi maior do que na testemunha a partir do 3º DAA, sendo que aos 12 DAA o NH_4^+ representou 21% do N-total da planta. O conteúdo de NH_4^+ da testemunha não diferiu entre as datas de avaliação (Tabela 2.3).

Tabela 2.2 – Concentração de N-total na parte aérea e nas raízes de *Brachiaria decumbens* e acúmulo de N-total na planta inteira, após aplicação do herbicida glyphosate. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	DAA				
	0	1	3	6	12
Parte aérea (g kg⁻¹)					
Testemunha	19,4	21,2	24,0	21,4	19,1
Glyphosate	19,4	23,4	20,2	22,2	18,9
	F interação= 1,1^{NS}	F herb = 0,1^{NS}		F DAA= 2,2^{NS}	
Raízes (g kg⁻¹)					
Testemunha	13,3	17,2	11,4	21,2	17,1
Glyphosate	13,3	18,9	9,2	19,8	11,8
Média	13,3 cd	18,1 ab	10,3 d	20,5 a	14,5 bc
	F interação= 1,8^{NS}	F herb = 2,7^{NS}		F DAA= 17,4^{**}	
Planta inteira (g pote⁻¹)					
Testemunha	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
Glyphosate	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9
	F interação= 0,8^{NS}	F herb = 2,8^{NS}		F DAA= 3,1^{NS}	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de 't' ($P=0,05$) NS = não significativo. ** F significativo ao nível de 1% de significância.

O aumento de NH_4^+ na planta após aplicação de glyphosate pode estar relacionado à indução de senescência. Durante esta fase há aumento na degradação de proteínas e o N liberado é transferido para o glutamato. Posteriormente, o N do glutamato é convertido a NH_4^+ pela ação da enzima glutamato desidrogenase (GDH). A GDH é a enzima do metabolismo do N que, frequentemente, atinge mais alta atividade durante a senescência (RAGSTER; CHRISPEELS, 1981; LAURIÈRE; DAUSSAND, 1983). O NH_4^+ fica disponível para transformação em compostos de transporte de N, como glutamina e asparagina (GHOSH et al., 1995; NAKASATHIEN et al., 2000), sendo parte dos íons convertida a NH_3 , segundo a reação de equilíbrio:

Tabela 2.3 – Concentração de NH_4^+ na parte aérea e nas raízes de *Brachiaria decumbens* e acúmulo de NH_4^+ na planta inteira após aplicação do herbicida glyphosate. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	DAA				
	0	1	3	6	12
Parte aérea (g kg ⁻¹)					
Testemunha	0,3 aA	0,3 aA	0,4 aA	0,3 bA	0,3 bA
Glyphosate	0,3 aB	0,4 aB	0,6 aB	1,1 aB	4,5 aA
F interação= 26,5**		F herb = 44,2 **		F DAA= 26,4**	
Raízes (g kg ⁻¹)					
Testemunha	0,2 aA	0,3 aA	0,4 aA	0,4 bA	0,3 bA
Glyphosate	0,2 aC	0,5 aBC	0,7 aB	2,0 aA	0,7 aB
F interação= 15,1**		F herb = 48,6 **		F DAA= 19,5**	
Planta inteira (mg pote ⁻¹)					
Testemunha	19,1 aA	17,2 aA	26,0 bA	17,5 bA	18,3 bA
Glyphosate	19,1 aD	20,3 aCD	46,6 aBC	55,6 aB	194,1 aA
F interação= 68,3**		F herb = 145,7 **		F DAA= 66,8**	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). ** F significativo ao nível de 1% de significância.

Quando o pH do meio é 9,2, 50% das moléculas estão na forma dissociada (NH_4^+) e 50% estão na forma molecular (NH_3). No citoplasma, o pH é, geralmente, da ordem de 7,2. Nesse valor de pH, somente 1% das moléculas estão na forma de NH_3 . No entanto, é importante destacar que o acúmulo de NH_4^+ no citoplasma pode favorecer a saída de H^+ para o apoplasto, aumentando de forma transiente o pH no interior da célula e, como consequência, a concentração de NH_3 (BRITTO; KRONZUCKER, 2002). Existem evidências de que o NH_3 tem transporte facilitado através das membranas (KLEINER, 1981), podendo ser perdido via estômato.

O aumento de NH_4^+ em plantas dessecadas com glyphosate não deve estar relacionado somente à indução de senescência, visto que o efeito secundário do herbicida no metabolismo da planta também afeta a concentração do íon. A ação herbicida do glyphosate é atribuída à inibição da enzima EPSPS (Enolpiruvil shiquimato fosfato sintase), responsável por uma das etapas de síntese dos aminoácidos triptofano, fenilalanina e tirosina. Porém, como efeito secundário, há

inibição na síntese de compostos fenólicos derivados destes aminoácidos, aumentando a atividade da enzima PAL (fenilalamina amônia-liase), devido ao efeito resposta (DUKE; HOAGLAND, 1985). A PAL atua na lise dos aminoácidos fenilalanina e tirosina, resultando na formação de ácidos fenólicos e NH_4^+ (HOAGLAND; DUKE; ELMORE, 1979).

Neste sentido, Mandersheid et al. (2005) avaliaram a concentração de amônio em cinco espécies de plantas daninhas após aplicação do herbicida glufosinato de amônio e observaram aumento de NH_4^+ em todas as espécies estudadas. Este herbicida inibe a ação da enzima glutamina sintetase, responsável pela síntese de glutamato a partir de amônio e glutamina. Esta rota metabólica é considerada a principal via de assimilação de amônio em compostos orgânicos (SCHJOERRING; HUSTED; MATTSSON, 1998). Como consequência, a aplicação do glufosinato de amônio resulta no acúmulo de NH_4^+ endógeno na planta (MANDERSCHIED et al., 2005).

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que o aumento das perdas de N em *B. decumbens* após a aplicação de glyphosate, também observado por Damin et al. (2008), deve estar relacionado à elevação dos níveis de amônio no tecido vegetal. Portanto, novas pesquisas devem ser desenvolvidas com intuito de avaliar como os ingredientes ativos disponíveis afetam a concentração de amônio nas diversas espécies e as taxas de emissão de NH_3 via foliar. Estas informações podem ser úteis para a elaboração de estratégias de manejo que garantam melhor aproveitamento do N pelas culturas.

2.4 Conclusões

O herbicida glyphosate aumentou a concentração de NH_4^+ na planta, mas não modificou o conteúdo de N-total.

Referências

- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMSAHI, S. (Ed.) **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.
- BRITTO D.T.; KRONZUCKER, H.J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of Plant Physiology**, Rockville, v.159, n.2, p.567-584, 2002
- CARMO, J.B.; ANDRADE, C.A.; CERRI, C.C.; PICOLLO, M.C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N_2O a partir do solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.735-746, 2005.
- DAMIN, V.; FRANCO, H.C.J.; MORAES, M.F.; FRANCO, A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen loss in *Brachiaria decumbens* after application of glyphosate or glufosinate-ammonium. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.402-407, 2008.
- DUKE, S.O.; HOAGLAND, R.E. Effects of glyphosate on metabolism of phenolic compounds. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p. 75-91.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p.
- GHOSH, S.; PALIYATH, P.; PEIRSON, D.; FLETCHER, R.A. Nitrogen mobilization during senescence. In: SRIVASTAVA, H.S.; SINGH, R.P. (Ed.). **Nitrogen nutrition in higher plants**. New Delhi: Associated Publishing, 1995. p. 337-365.
- HOAGLAND, R. E.; DUKE, S. O.; ELMORE, C. D. Effects of glyphosate on metabolism of phenolic compounds. III. Phenylalanine ammonia-lyase activity, free amino acids, soluble protein and hydroxiphenolic compounds in axes of dark-grown soybeans. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 46, n.4, p. 357-366, 1979.
- JAWORSKI, E.G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 20, n. 6, p. 1195-1198, 1972.
- KLEINER, D. The transport of NH_3 and NH_4^+ across biological membranes. **Biochimica and Biophysica Acta**, Netherlands, v.639, n.1, p.41-52, 1981.
- KREMER, R.J.; MEANS, N.E.; KIM, S. Glyphosate affects soybean root exudation and rhizosphere microorganisms. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, Oxfordshire, v. 85, n.15, p. 1165-1174, 2005.
- LAURIÈRE, C.; DAUSSAND, J. Identification of the ammonium dependent isoenzymes of glutamine dehydrogenase as the form induced by senescence or darkness stress in the first leaf of wheat. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v.58, n.1, p. 89-92, 1983.

LIU, L.; PUNJA, Z. K.; RAHE, J. E. Altered root exudation and suppression of induced lignification as mechanisms of predisposition by glyphosate of bean roots (*Phaseolus vulgaris* L.) to colonization by *Pythium* spp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.51, n.2, p. 111-127, 1997.

MANDERSCHIED, R.; SCHAAF, S.; MATTSSON, M.; SCHJOERRING, J.K. Glufosinato treatment of weeds results in ammonia emission by plants. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.109, n.1/2, p. 129-140, 2005.

MATTSSON, M.; HERRMANN, B.; JONES, S.; NEFTEL, A.; SUTTON, M. A.; SCHJOERRING, J. K. Contribution of different grass species to plant-atmosphere ammonia exchange in intensively managed grassland. **Biogeosciences Discussions**, Katlenburg-Lindau, v.5, n.3, p. 2583–2605, 2008.

MATTSSON, M.; SCHJOERRING, J.K. Senescence-induced changes in apoplastic and bulk tissue ammonia concentrations of ryegrass leaves. **New Phytologist**, London, v.160, n.3, p. 489-499, 2003.

NAKASATHIEN, S.; ISRAEL, D. W.; WILSON, R. F.; KWANYUEN, P. Regulation of seed protein concentration in soybean by supra-optimal nitrogen supply. **Crop Science**, Madison, v.40, n.5, p. 1277-1284, 2000.

NIELSEN, K.H.; SCHJOERRING, J.K. Regulation of apoplastic NH_4^+ concentration in leaves of oilseed rape. **Plant Physiology**, Rockville, v.118, n.4, p. 1361-1368, 1998.

RAGSTER, L.E.; CHRISPEELS, M.J. Autodigestion in crude extracts of soybean leaves and isolated chloroplasts as a measure of proteolytic activity. **Plant Physiology**, Rockville, v.67, n.1, p.104-109, 1981.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

REIS, B.F.; VIEIRA, J.A.; KRUG, F.J.; GINÉ, M.F. Development of a flow injections system two analytical paths for ammonium determination in soil extracts by conductometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v.8, n.5, p.523-528, 1997.

SCHJOERRING, J. K.; HUSTED, S.; MATTSSON, M. Physiological parameters controlling plant-atmospheric ammonia exchange. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v.32, n.3, p.491-498, 1998.

SNAPP, S.S.; BORDEN, H. Enhanced nitrogen mineralization in mowed or glyphosate treated cover crops compared to direct incorporation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.270, n.1-2, p.101-112, 2005.

WANG, M.Y.; SIDDIQI, M.Y.; RUTH, T.J.; GLASS, A.D.M. Ammonium uptake by rice roots. I. Fluxes and subcellular distribution of $^{15}\text{NH}_4^+$. **Plant Physiology**, Rockville, v.103, n.4, p.1249-1258, 1993.

3 PERDAS DE NITROGÊNIO DO SISTEMA SOLO-PLANTA APÓS APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM *Pennisetum glaucum*, *Avena strigosa* E *Brachiaria ruziziensis*

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar as perdas de N do sistema solo-planta após aplicação de herbicidas em *Pennisetum glaucum*, *Avena strigosa* e *Brachiaria ruziziensis*. Foram realizados quatro experimentos em casa-de-vegetação, com os seguintes tratamentos: 1- Testemunha 1, sem aplicação de herbicidas, colhida na época de aplicação dos produtos; 2- Dessecação das plantas com o herbicida glyphosate; 3- Dessecação das plantas com o herbicida glufosinato de amônio; 4- Dessecação das plantas com o herbicida paraquat; e 5- Testemunha 2, sem aplicação de herbicidas, colhida na mesma data que os tratamentos 2, 3 e 4. As plantas foram cultivadas em solo arenoso, fertilizado com sulfato de amônio- ^{15}N , na dose de 950 mg pote^{-1} de N. As perdas de N do sistema foram medidas pelo método do balanço de ^{15}N . Em *B. ruziziensis*, foi medida, também, a emissão de NH_3 via foliar, em coletores de espuma. Os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio reduziram o teor de N da parte aérea de todas as espécies. Em *P. glaucum* e *B. ruziziensis*, estes herbicidas aumentaram as perdas de N do sistema solo-planta. Resultados semelhantes foram observados para as medidas de perda de NH_3 via foliar em *B. ruziziensis*. Em *A. strigosa* a recuperação do N no sistema não diferiu entre os tratamentos. O herbicida paraquat não afetou a distribuição de N na planta e a recuperação do nutriente no sistema solo-planta.

Palavras-chave: Amônia; ^{15}N ; Dessecação; Glyphosate; Glufosinato de amônio; Paraquat

Nitrogen loss at soil-plant system after herbicide application on *Pennisetum glaucum*, *Avena strigosa* and *Brachiaria ruziziensis*

Abstract

This work was developed with the objective of evaluating nitrogen losses at soil-plant system after herbicide application on *Pennisetum glaucum*, *Avena strigosa* and *Brachiaria ruziziensis*. Four greenhouse trials were carried out with the following treatments: 1- Check 1, without herbicide application, harvested on the moment of herbicide application; 2- Plant desiccation with the herbicide glyphosate; 3- Plant desiccation with the herbicide ammonium-glufosinate; 4- Plant desiccation with the herbicide paraquat; and 5- Check 2, without herbicide application and harvested at the same moment of the treatments 2, 3 and 4. Plants were grown in sandy soil, fertilized with ammonium sulfate- ^{15}N , in the rate of 950 mg pot^{-1} . System nitrogen loss was measured by ^{15}N isotopic method. In *B. ruziziensis*, foam sampler method was adopted for evaluate NH_3 emission by plant. Glyphosate and ammonium-glufosinate reduced shoot N level in all the species. In *P. glaucum* and *B. ruziziensis*, these herbicides increased N loss at soil-plant system. Similar results were observed by measuring NH_3 leaf loss in *B. ruziziensis*. In *A. strigosa*, N system recovering was not different among treatments. The herbicide paraquat did not affect plant N distribution and nutrient recovering at the soil-plant system.

Keywords: Ammonia; ^{15}N ; Desiccation; Glyphosate; Ammonium-glufosinate; Paraquat

3.1 Introdução

Em áreas agrícolas, as transformações do nitrogênio no solo e nas plantas são influenciadas pelas práticas culturais adotadas, as quais devem ser consideradas na predição da disponibilidade do nutriente às culturas. Neste sentido, deve-se atentar para as implicações decorrentes do uso de herbicidas nos processos relacionados ao ciclo do N, visto que pesquisas recentes têm demonstrado que estas moléculas podem aumentar as perdas de N do sistema solo-planta (CARMO et al., 2005; MANDERCHEID et al., 2005; DAMIN et al., 2008).

As principais vias de saída do N do sistema são: a volatilização de amônia (NH_3) do solo; a lixiviação de nitrato para fora da zona de alcance do sistema radicular; as perdas gasosas de óxidos de nitrogênio (NO_2 , N_2O , NO) e nitrogênio elementar (N_2), tanto pelo solo, como pela planta; e as perdas de N via estômato, na forma de NH_3 (FARQUHAR et al., 1980; HOLTAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994; TRIVELIN, 2000; FRANCO et al., 2008).

Mandercheid et al. (2005) observaram que o potencial de emissão de NH_3 via foliar foi elevado após aplicação do herbicida glufosinato de amônio em cinco espécies de plantas daninhas. Os principais fatores que afetam as perdas de N pelas folhas são: a espécie vegetal, o estágio de desenvolvimento da planta, a disponibilidade de nitrogênio no solo, a condutância dos estômatos, a temperatura da folha e o nível de NH_3 na planta e na atmosfera (PARTON et al., 1988; FRANCIS; SCHEPERS; VIGIL, 1993; SCHJOERRING; HUSTED; MATTSSON, 1998). A senescência é uma das fases do desenvolvimento que apresenta maior potencial de emissão de NH_3 (VALLIS; KEATING, 1994), devido ao aumento dos níveis de NH_4^+ no tecido vegetal. Alguns herbicidas, além de induzir à senescência, afetam o metabolismo do N, podendo aumentar as perdas de N via foliar (MANDERCHEID et al., 2005).

O herbicida glufosinato de amônio bloqueia a síntese de glutamato a partir de amônio e glutamina e, como consequência, aumenta o conteúdo de NH_4^+ na planta (MANDERCHEID et al., 2005). O herbicida glyphosate, como observado no Capítulo anterior, também pode aumentar o conteúdo de NH_4^+ no tecido vegetal. Cabe ressaltar, entretanto, que a elevação dos níveis de NH_4^+ na planta pode não ser acompanhada da emissão de NH_3 , visto que a condutância estomática pode ser reduzida após aplicação de herbicidas (FERNANDEZ; McINNES; COTHREN, 1994; FUCHS et al., 2002).

Informações sobre o efeito dos herbicidas nas perdas de N do sistema solo-planta são particularmente importantes em áreas sob sistemas de manejo conservacionistas, como o de

semeadura direta (“plantio” direto). Nesses sistemas, os herbicidas são usados para dessecação da cultura de cobertura, possibilitando a formação de palhada sobre o solo para o cultivo subsequente. Dentre as principais espécies utilizadas como cobertura, pode-se destacar o milheto (*Pennisetum glaucum*), muito utilizado no Cerrado (OLIVEIRA et al., 2002; BRAZ et al., 2004); e a aveia preta (*Avena strigosa*), de uso difundido na região sul do país (CRUSCIOL et al., 2008).

No sistema de semeadura direta, parte da adubação nitrogenada, destinada à cultura principal, pode ser realizada em pré-semeadura, sendo adubada a planta de cobertura. Essa prática é adotada com o intuito de imobilizar o N proveniente do fertilizante, reduzindo as perdas por lixiviação e favorecendo o fornecimento gradual de N para a cultura em sucessão (OLIVEIRA, 2001). No entanto, se houver perda de N decorrente da dessecação da cultura de cobertura, a eficiência da fertilização nitrogenada no fornecimento de N à cultura de interesse pode ser comprometida.

No cultivo de espécies arbóreas, com destaque ao café (*Coffea* spp.) e a laranja (*Citrus* spp.), é comum a manutenção de plantas para cobertura do solo nas entrelinhas da cultura, visando à proteção deste contra erosão, perda de umidade e variações de temperatura (BREMER NETO et al., 2008). A *Brachiaria ruziziensis* tem sido muito utilizada para este fim, sendo preferida em relação à *B. decumbens* devido à adequada produção de fitomassa e maior facilidade de erradicação. Nesse sistema, é comum a dessecação da braquiária na época seca, visando reduzir a competição por água com a cultura principal. Como o caminhamento do N no solo se dá por fluxo de massa, parte do N destinado à frutífera é absorvida pela braquiária e, portanto, a disponibilidade de N no sistema pode ser reduzida após dessecação das plantas na entrelinha.

Com vista no exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar as perdas de N do sistema solo-planta decorrentes da aplicação dos herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat em *P. glaucum*, *A. strigosa* e *B. ruziziensis*.

3.2 Material e Métodos

Quatro experimentos foram desenvolvidos em casa-de-vegetação, situada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), em Piracicaba - SP, Brasil (22° 42' 30" latitude sul, 47° 38' 00" longitude oeste e 546 m de altitude). As espécies utilizadas foram o milheto (*Pennisetum glaucum*), a aveia preta (*Avena strigosa*) e a braquiária-ruziziense (*Brachiaria ruziziensis*), cultivadas em potes plásticos de 7 L de capacidade, sem orifícios na base. A terra de

preenchimento dos potes foi retirada da camada de 0,0-0,2 m de dois solos classificados como NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos, (EMBRAPA, 1999). A caracterização química dos solos foi realizada de acordo com Raij et al. (2001) e é descrita na Tabela 3.1, sendo a composição granulométrica apresentada na Tabela 3.2. Cada pote recebeu 7 kg de terra seca ao ar, peneirada em malha de 2 mm.

3.2.1 Correção da acidez e fertilidade dos solos

A acidez e fertilidade do solo foram corrigidas antes da semeadura. A quantidade necessária de calcário para correção da acidez foi determinada pelo método da Saturação por Bases e correspondeu a 3,5 g pote⁻¹ de calcário dolomítico, PRNT=100%. O corretivo foi aplicado com 100 mg kg⁻¹ de P na forma de superfosfato simples (8,7 g pote⁻¹), procedendo-se a mistura dos insumos à terra de cada pote. Posteriormente, foram aplicados 100 mL pote⁻¹ de solução contendo 800 mg de K (cloreto de potássio; puro para análise – p.a.), 0,12 mg de Zn (sulfato de zinco p.a.), 0,06 mg de B (ácido bórico p.a.) e 0,08 mg de Cu (sulfato de cobre p.a.). A capacidade máxima de retenção de água do solo foi elevada a 70%, pela adição de 500 mL pote⁻¹ de água destilada, e os potes permaneceram lacrados e em período de incubação por 15 dias.

Tabela 3.1 – Caracterização química dos solos utilizados nos experimentos. Piracicaba – SP, 2006/08

Solo	Caracterização química dos solos											
	pH	M.O.	P	S	K	Ca	Mg	Al	H + Al	T	V	m
	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mmol _c dm ³				%				
RQ₁	4,1	4	1	7	0,3	5	2	8	25	32	21	25
RQ₂	4,4	7	5	15	0,3	6	2	7	34	42	20	46

M.O.= matéria orgânica; T = capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio

Tabela 3.2 – Composição granulométrica dos solos utilizados nos experimentos. Piracicaba – SP, 2006/08

Solo	Composição granulométrica dos solos					
	Argila	Silte	Areia total	Areia grossa	Areia fina	classe textural
	g kg ⁻¹					
RQ₁	122	8	870	630	240	arenosa
RQ₂	127	13	860	720	140	arenosa

3.2.2 Desenvolvimento dos experimentos

No primeiro experimento foi cultivado o milheto (*Pennisetum glaucum*) e no segundo a aveia preta (*Avena strigosa*), sendo a terra de preenchimento dos potes retirada do solo RQ₁. Os experimentos 1 e 2 foram desenvolvidos no período de agosto a novembro de 2006, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), contendo 3 tratamentos e 10 repetições. Os tratamentos utilizados foram: (1) Testemunha 1 – sem aplicação de herbicidas, colhida na data que os produtos foram aplicados; (2) Glyphosate – dessecação das plantas com o herbicida glyphosate; (3) Glufosinato - dessecação das plantas com o herbicida glufosinato de amônio.

As quantidades utilizadas de sementes foram 10 e 40 sementes por pote no primeiro e segundo experimentos respectivamente, sendo 5 mm a profundidade de semeadura em ambos. Aos 25 dias após a semeadura, em 25/09/2006, os potes foram desbastados, mantendo-se duas plantas de *P. glaucum* por pote e 30 de *A. strigosa*. Na mesma data, 950 mg pote⁻¹ de N foram aplicados na forma de sulfato de amônio. Utilizou-se fertilizante marcado com 7% em átomos de ¹⁵N, aplicado na forma de solução (100 mL pote⁻¹). Os potes foram irrigados e pesados diariamente em balança eletrônica, para manutenção da capacidade máxima de retenção de água do solo a 60%. Em 25/10/2006, quando se constatou estágio fenológico de pré-antese (emissão de 1 a 5% de panículas), os herbicidas foram aplicados. Na mesma data realizou-se a colheita do tratamento testemunha. Os demais tratamentos foram colhidos 11 dias após a aplicação dos produtos (DAA), quando se identificou a morte das plantas.

No terceiro e quarto experimentos, cultivados com *A. strigosa* e braquiária-ruziziense (*Brachiaria ruziziensis*), respectivamente, a terra de preenchimento dos potes foi retirada do solo RQ₂. Os experimentos 3 e 4 foram desenvolvidos no período de março a maio de 2008, em

delineamento inteiramente casualizado, contendo 5 tratamentos e 5 repetições. Foram utilizados os mesmos tratamentos dos experimentos 1 e 2, acrescidos de dois tratamentos: (4) Paraquat – dessecação das plantas com o herbicida paraquat; (5) Testemunha 2 - sem aplicação de herbicidas, colhida após completa ação dos herbicidas nos Tratamentos 2, 3 e 4.

A *Avena strigosa* foi semeada no dia 13/03/2008 e a *B. ruziziensis* em 25/03/2008, sendo utilizadas 40 e 100 sementes por pote, respectivamente. Após a germinação e desenvolvimento das plântulas, aplicou-se o fertilizante nitrogenado sulfato de amônio, na dose de 950 mg pote⁻¹ de N, marcado com 2,13% em átomos de ¹⁵N. O N foi aplicado de forma parcelada, aos 8 e 15 dias após a semeadura, sendo aplicados 475 mg pote⁻¹ de N em cada data. Cada pote recebeu 50 mL de solução contendo sulfato de amônio e, em seguida, 50 mL de água destilada. A umidade do solo foi mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água do solo, por meio de irrigação diária dos potes após pesagem em balança eletrônica.

Aos 51 dias após semeadura, quando foi constatado o estágio fenológico de pré-antese, realizou-se a colheita das plantas do tratamento testemunha 1 e a aplicação dos herbicidas nos demais tratamentos. No terceiro experimento, o tratamento com paraquat foi colhido 4 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA), quando o produto completou sua ação. A colheita dos tratamentos glyphosate, glufosinato e testemunha 2 foi realizada 12 DAA. No quarto experimento, a colheita das plantas tratadas com paraquat foi realizada 6 DAA, e os demais tratamentos foram colhidos 16 DAA.

3.2.3 Aplicação dos herbicidas

Em todos os experimentos as formulações comerciais utilizadas foram: Roundup Original® para o glyphosate, na dose de 4 L ha⁻¹, contendo 360 g L⁻¹ de equivalente ácido (e.a.); Finale® para o glufosinato de amônio, na dose de 2 L ha⁻¹, contendo 400 g L⁻¹ de ingrediente ativo (i.a.) e Gramoxone® para o paraquat, na dose de 2 L ha⁻¹, contendo 200 g L⁻¹ de i.a. O produto comercial foi diluído em água deionizada e aplicado com pulverizador costal pressurizado por CO₂, acoplado a uma ponta única do tipo jato plano (XR 80.02), calibrada para volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

3.2.4 Medição das perdas de NH_3 pela parte aérea de *Brachiaria ruziziensis*

A emissão de NH_3 via foliar foi medida em *Brachiaria ruziziensis*, utilizando-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições. Os tratamentos foram organizados em esquema de parcela subdividida no tempo. Nas parcelas foram alocados os tratamentos: glyphosate, glufosinato, paraquat e testemunha 2, descritos no item 3.2.2. Como sub-parcelas foram consideradas as datas de avaliação, contadas em dias após aplicação do herbicida: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 e 16 DAA.

Foram utilizados coletores de amônia semelhantes aos descritos em Oliveira et al. (2008); confeccionados com espumas circulares de 150 mm de diâmetro, 20 mm de espessura e densidade de 20 kg m^{-3} , embebidas em 25 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) 0,5 N. Após o preparo, os absorvedores foram afixados sobre placas de PVC com $160 \times 160 \times 2$ mm de dimensão, utilizando-se fita de politetrafluoroetileno (fita “teflon”), com 110 mm de largura. Os coletores foram armazenados em sacos plásticos hermeticamente fechados até o momento do uso. Dois dias antes da aplicação dos herbicidas os coletores foram afixados a 10 mm da parte superior do dossel das plantas, com auxílio de haste metálica. Na Figura 3.1 é ilustrada a confecção dos coletores e sua instalação nas parcelas.

A troca dos coletores foi efetuada a cada 2 dias até a morte das plantas. Os amostradores retirados foram desmontados e a espuma lavada com, aproximadamente, 300 mL de água deionizada, utilizando-se de funil de Buckner com placa porosa e papel de filtro, ligado a uma bomba de vácuo. Posteriormente, os extratos foram acidificados e colocados em estufa a 50°C para concentração até o volume de 50 mL. Os extratos concentrados foram congelados até o momento da leitura. A determinação do NH_4^+ presente na amostra foi realizada por análise de injeção em fluxo (FIA), segundo Reis et al. (1997).

3.2.5 Colheita

Na colheita dos experimentos, as plantas de cada pote foram separadas em parte aérea e raízes; a parte aérea do *P. glaucum* foi dividida, ainda, em folhas e colmos. Para separação, a parte aérea foi cortada rente à superfície do solo. As raízes foram separadas do solo por peneiramento, em malha de 2 mm, com posterior lavagem para retirada da terra que permaneceu aderida. A parte aérea e as raízes das plantas foram secas em estufa de circulação forçada à

temperatura de 65°C, até massa constante, para obtenção da massa seca. A terra contida nos potes foi pesada e a umidade foi determinada em estufa a 105°C (48 h), para obtenção da massa seca.

3.2.6 Análises

As amostras de tecido vegetal foram trituradas em moinho tipo Wiley e a terra processada em moinho de Bola. Após o preparo das amostras, o N-total e a abundância de ^{15}N foram determinados em espectrômetro de massas contendo analisador automático de N, modelo ANCA-SL, 20-20 da PDZ Europa, Krefe, UK (BARRIE; PROSSER, 1996).

Figura 3.1 – Confeção e instalação dos coletores de NH_3 . **A** – aplicação de ácido fosfórico na espuma. **B/C** – Espuma sobre a placa de PVC sendo envolvida com fita de politetrafluoroetileno. **C** – Instalação dos coletores acima do dossel das plantas. Piracicaba – SP, 2008

3.2.7 Cálculos

3.2.7.1 N-total (g pote⁻¹)

$$N_{total} = MS \cdot \%N \cdot 10$$

Em que:

MS = massa seca de planta ou solo (g)

N = Porcentagem de N na amostra

3.2.7.2 $NPPF$

$$NPPF = \frac{a - c}{b - c} \cdot N_{total}$$

Em que:

$NPPF$ = Nitrogênio na planta e/ou no solo proveniente do N-sulfato de amônio (¹⁵N), (mg pote⁻¹);

a = Abundância de ¹⁵N (% em átomos) na planta ou solo;

b = Abundância de ¹⁵N-sulfato de amônio (% em átomos de ¹⁵N);

c = Abundância natural de ¹⁵N (0,367 % em átomos de ¹⁵N);

N_{total} = Conteúdo de nitrogênio na planta ou no solo (mg pote⁻¹).

3.2.7.3 % R

$$\%R = \frac{NPPF}{D} \cdot 100$$

Em que:

$\%R$ = Porcentagem de nitrogênio na planta e/ou no solo proveniente do N-sulfato de amônio

D = Dose de N aplicada (950 mg pote⁻¹).

3.2.7.4 NH₃ emitido

$$N - NH_3 = \frac{N - NH_4^+}{1000} \cdot V$$

Em que:

$N - NH_3$ = N - NH₃ emitido (mg pote⁻¹)

$N - NH_4^+$ = concentração de amônio na amostra (mg L⁻¹)

V = volume da amostra (mL)

3.2.7.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância e, quando o teste F foi significativo, procedeu-se a comparação de médias de tratamentos qualitativos pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$) ou teste t ($\alpha=0,05$). Para ajuste das datas de avaliação foram utilizadas regressões.

3.3 Resultados

3.3.1 Massa seca, N-total e N proveniente do fertilizante após aplicação de herbicidas em *Pennisetum glaucum*

A massa seca (MS) de colmos e da planta inteira não diferiu entre os tratamentos. A MS de folhas foi menor nos tratamentos com glyphosate e glufosinato em relação à testemunha (Tabela 3.3), o que pode estar relacionado ao transporte de substâncias orgânicas e nutrientes da folha para órgãos de reserva e/ou raízes, durante a senescência (MARSCHNER, 1995). No tratamento com glufosinato, a MS de raízes foi menor do que na testemunha e no tratamento com glyphosate.

Na testemunha, o N-total das folhas e da planta inteira foi maior do que nos tratamentos com herbicidas. A redução do N-total das folhas foi mais acentuada no tratamento com glyphosate (Tabela 3.3), sendo que, neste tratamento o N-total do colmo foi superior ao da testemunha. Estes resultados evidenciam que houve remobilização do nutriente das folhas para o colmo após aplicação de glyphosate em *P. glaucum*. Nas raízes, o N-total do tratamento com

glufosinato foi menor em relação aos demais, o que pode estar relacionado à redução de massa seca de raízes neste tratamento.

Os resultados de N proveniente do sulfato de amônio (*NPPF*) nas folhas, colmo, raízes e planta inteira foram semelhantes aos obtidos para N-total (Tabela 3.4). No solo, o *NPPF* do tratamento com glufosinato foi maior do que nos demais. O aumento do *NPPF* do solo após a aplicação deste herbicida evidencia que o N da planta foi para o solo. A redução de MS de raízes, no tratamento com glufosinato, indica a ocorrência de destacamento radicular, no entanto, o N também pode ter saído da planta devido à exsudação de compostos contendo N pelas raízes.

A recuperação do N proveniente do fertilizante foi de 78% na testemunha e de 68% nos demais tratamentos (Tabela 3.4). Portanto, a dessecação do *P. glaucum* com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio aumentou as perdas de nitrogênio do sistema solo-planta, que foram da ordem de 10% do N aplicado.

Tabela 3.3 – Massa seca e N-total de folhas, colmos, raízes e planta inteira *Pennisetum glaucum*, após aplicação de herbicidas. Piracicaba – SP, 2006

Tratamentos	Folha	Colmo	Raízes	Planta inteira
Massa Seca (g pote⁻¹)				
Testemunha 1	18,4 a	21,2	20,1 a	59,6
Glyphosate	13,8 b	20,8	19,8 a	54,4
Glufosinato	14,6 b	17,5	13,9 b	46,0
P	**	NS	*	NS
DMS	2,4	4,5	4,7	13,6
C.V.(%)	14,5	17,8	21,9	13,9
N-total (mg pote⁻¹)				
Testemunha 1	490,4 a	194,1 b	179,5 a	864,0 a
Glyphosate	192,1 c	315,9 a	146,1 ab	654,0 b
Glufosinato	251,9 b	253,3 ab	104,1 b	609,4 b
P	**	**	**	**
DMS	45,0	72,5	58,3	163,0
C.V.(%)	13,3	25,5	33,1	10,8

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

**Teste F significativo a 1%, * Teste F significativo a 5%, NS = teste F não significativo.

Tabela 3.4 – Recuperação do N proveniente do fertilizante nas folhas, colmo, raízes, planta inteira de *Pennisetum glaucum*, solo e sistema solo-planta. Piracicaba – SP, 2006

Tratamentos	Folha	Colmo	Raízes	Planta inteira	Solo	Solo-Planta
	mg pote ⁻¹					
Testemunha 1	362,6 a	160,9 b	131,2 a	654,6 a	90,7 b	745,4 a
Glyphosate	144,0 c	267,2 a	104,6 ab	515,8 b	129,4 ab	645,1 b
Glufosinato	201,5 b	215,3 a	74,8 b	491,6 b	154,1 a	645,8 b
P	**	**	*	**	*	*
DMS	41,7	53,5	41,8	74,1	63,1	96,0
C.V.(%)	15,9	22,4	32,6	9,1	29,7	15,4
	%					
Testemunha 1	38,2	16,9	13,8	68,9	9,5	78,4
Glyphosate	15,15	28,1	11,0	54,3	13,6	67,9
Glufosinato	21,21	22,7	7,9	51,7	16,2	68,0

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).
 **Teste F significativo a 1%, * Teste F significativo a 5%.

3.3.1 Massa seca, N-total e N proveniente do fertilizante após aplicação de herbicidas em *Avena strigosa*

3.3.1.1 Experimento 2

Na parte aérea, a MS não diferiu entre os tratamentos. Nas raízes e planta inteira, a MS foi menor no tratamento com glyphosate em relação aos demais (Tabela 3.5).

O N-total da parte aérea foi menor nos tratamentos herbicidas em relação à testemunha (Tabela 3.5). Nas raízes, o N-total dos tratamentos não diferiu da testemunha, porém, o N-total do tratamento com glyphosate foi menor do que o tratamento com glufosinato. Na planta inteira, o N-total foi menor no tratamento com glyphosate em relação aos demais, o que deve estar relacionado à redução de massa seca de raízes neste tratamento. A redução da concentração de N (g kg^{-1} ; Tabela 3.5) nas folhas, associada ao aumento nas raízes indica remobilização do N após aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio. A concentração de N da planta inteira não diferiu entre os tratamentos (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 – Massa seca de raízes, parte aérea e planta inteira de *Avena strigosa* após aplicação de herbicidas. Piracicaba – SP, 2006

Tratamentos	Parte aérea	Raízes	Planta inteira
Massa seca (g pote⁻¹)			
Testemunha 1	26,4	18,6 a	45,0 a
Glyphosate	26,2	9,9 b	36,1 b
Glufosinato	26,1	16,3 a	42,4 a
<i>P</i>	NS	*	**
DMS	2,4	3,7	6,1
C.V.(%)	8,6	21,3	9,3
N-total (mg pote⁻¹)			
Testemunha 1	777,7 a	189,1 ab	966,8 a
Glyphosate	655,7 b	123,4 b	779,1 b
Glufosinato	637,0 b	245,0 a	882,0 a
<i>P</i>	**	**	**
DMS	53,3	67,5	89,2
C.V.(%)	7,4	29,2	8,1
Concentração de N (g kg⁻¹)			
Testemunha 1	29,5 a	10,0 c	22,2
Glyphosate	25,1 b	12,5 b	21,7
Glufosinato	24,3 b	15,0 a	20,7
<i>P</i>	**	**	NS
DMS	2,0	2,0	1,7
C.V.(%)	8,2	15,1	7,3

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

**Teste F significativo a 1%, * Teste F significativo a 5%, NS = teste F não significativo.

Os resultados de *NPPF* na parte aérea, raízes e colmo foram semelhantes aos obtidos para N-total (Tabela 3.6). No solo, o *NPPF* dos tratamentos foi maior que o da testemunha, sendo esse aumento mais pronunciado no tratamento com glyphosate do que no tratamento com glufosinato (Tabela 3.6). O aumento do *NPPF* do solo nos tratamentos herbicidas, associado à redução da massa seca de raízes, indica que houve destacamento de raízes e/ou exsudação de compostos nitrogenados. A recuperação do nitrogênio proveniente do fertilizante não diferiu entre os tratamentos, sendo observada recuperação de, aproximadamente, 85% do N do fertilizante (Tabela 3.6). Portanto, a dessecação de aveia preta com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio não afetou as perdas de N do sistema solo-planta.

Tabela 3.6 – Recuperação do N proveniente do fertilizante na parte aérea, raízes, planta inteira de *Avena strigosa*, solo e sistema solo-planta. Piracicaba – SP, 2006

Tratamentos	Parte aérea	Raízes	Planta inteira	Solo	Solo-Planta
<hr/>					
	<hr/> mg pote ⁻¹ <hr/>				
Testemunha 1	613,7 a	135,3 ab	749,1 a	92,9 c	842,1
Glyphosate	529,3 b	86,7 b	616,0 b	174,9 a	790,9
Glufosinato	513,0 b	181,5 a	694,5 a	135,3 b	829,8
<i>P</i>	**	**	**	**	NS
DMS	44,4	50,3	61,4	31,0	64,4
C.V. (%)	7,7	29,9	8,3	21,8	6,8
<hr/>					
	<hr/> % <hr/>				
Testemunha 1	64,6	14,2	78,8	9,8	88,6
Glyphosate	55,7	9,1	64,8	18,4	83,2
Glufosinato	54,0	19,1	73,1	14,2	87,3

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

**Teste F significativo a 1%, * Teste F significativo a 5%, NS = teste F não significativo.

3.3.1.2 Experimento 3

Na parte aérea, a MS de *A. strigosa* foi maior na testemunha 2 em relação aos demais tratamentos (Tabela 3.7), possivelmente devido ao maior período de tempo que as plantas permaneceram metabolicamente ativas. A MS da parte aérea do tratamento com glyphosate foi maior que a do tratamento com paraquat, o que deve estar relacionado ao tempo de ação dos herbicidas. As plantas dessecadas com o herbicida glyphosate morreram 12 DAA, enquanto as tratadas com paraquat morreram 4 DAA. A MS de raízes foi reduzida em, aproximadamente, 60% pela dessecação de *A. strigosa* com herbicidas (Tabela 3.7). A redução de MS de raízes afetou a MS da planta inteira, que foi menor nos tratamentos com glufosinato e paraquat em relação às testemunhas. Conforme esperado, a MS da planta inteira foi maior na testemunha 2 em relação aos demais tratamentos.

O N-total da parte aérea foi menor no tratamento com glufosinato em relação aos demais, os quais não diferiram entre si. Semelhante à MS, o N-total das raízes foi menor nos tratamentos com herbicidas em relação às testemunhas, sendo o conteúdo do nutriente superior na testemunha 2 superior comparativamente à testemunha 1. Na planta inteira, o N-total do tratamento com glufosinato foi menor do que o da testemunha 1 (Tabela 3.7). A concentração de N na parte aérea foi reduzida nos tratamentos com glyphosate e glufosinato em relação ao paraquat e testemunha 1. No tratamento com glyphosate, a redução da concentração de N na parte aérea foi acompanhada pelo aumento nas raízes, evidenciando remobilização do N após aplicação deste herbicida. A concentração de N da planta inteira dos tratamentos com glyphosate e glufosinato não diferiu da testemunha 1. O tratamento com paraquat apresentou maior concentração de N na planta inteira em relação aos demais, o que pode estar relacionado à redução de MS, visto que o conteúdo de N do tratamento com paraquat não diferiu da testemunha 1. A concentração de N na planta inteira da testemunha 2 foi menor que nos demais tratamentos, o que pode estar relacionado ao efeito de diluição causado pelo aumento da MS (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 – Massa seca, N-total e concentração de N na parte aérea raízes e planta inteira de *Avena strigosa*, após aplicação de herbicidas. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Parte aérea	Raízes	Planta inteira
Massa seca (g pote⁻¹)			
Testemunha 1	16,7 bc	7,2 a	23,9 b
Glyphosate	19,3 b	2,2 b	21,5 bc
Glufosinato	16,6 bc	2,5 b	19,1 c
Paraquat	15,7 c	2,6 b	18,2 c
Testemunha 2	25,8 a	7,5 a	33,3 a
<i>P</i>	**	**	**
DMS	3,0	2,0	3,0
C.V.(%)	8,3	23,6	8,4
N-total (mg pote⁻¹)			
Testemunha 1	646,6 a	96,8 b	743,5 ab
Glyphosate	631,9 ab	37,2 c	669,1 bc
Glufosinato	538,2 b	39,3 c	577,6 c
Paraquat	637,3 a	37,2 c	674,4 bc
Testemunha 2	718,8 a	123,2 a	842,0 a
<i>P</i>	**	**	**
DMS	95,1	24,4	99,6
C.V.(%)	7,9	18,8	7,9
Concentração de N (g kg⁻¹)			
Testemunha 1	39,0 a	13,4 b	31,0 b
Glyphosate	32,6 b	16,8 a	30,9 b
Glufosinato	32,3 b	15,8 ab	30,2 b
Paraquat	40,7 a	14,3 ab	37,0 a
Testemunha 2	28,0 c	16,4 ab	25,3 c
<i>P</i>	**	*	**
DMS	2,5	2,7	2,6
C.V.(%)	3,9	2,7	4,5

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

**Teste F significativo a 1%, * Teste F significativo a 5%.

Os resultados de N na planta proveniente do fertilizante (*NPPF*) foram semelhantes aos observados para o N-total (Tabela 3.8). No solo, o *NPPF* foi menor na testemunha 2 em relação aos demais tratamentos, o que pode ser atribuído a maior absorção de N pelas plantas dessatestemunha, visto que permaneceram metabolicamente ativas por maior período de tempo. A recuperação do N proveniente do fertilizante não diferiu entre os tratamentos, com valores variando de 86 a 97% (Tabela 3.8). Portanto, a dessecação de *A. strigosa* com os herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat não afetou as perdas de N do sistema solo-planta, confirmando os resultados obtidos no experimento anterior.

Tabela 3.8 – Recuperação do N proveniente do fertilizante na parte aérea, raízes, planta inteira de *Avena strigosa*, solo e sistema solo-planta. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Parte aérea	Raízes	Planta inteira	Solo	Solo-Planta
	mg pote ⁻¹				
Testemunha 1	592,8 a	77,4 b	670,3 ab	250,4 a	920,6
Glyphosate	575,2 ab	30,1 c	605,3 bc	277,5 a	882,7
Glufosinato	492,4 b	31,9 c	524,3 c	289,0 a	813,4
Paraquat	579,3 a	30,0 c	609,3 bc	281,8 a	891,2
Testemunha 2	653,5 a	103,7 a	757,3 a	113,3 b	870,5
P	**	**	**	**	NS
DMS	85,9	19,6	89,8	76,9	123,8
C.V.(%)	7,8	18,5	7,5	16,3	9,5
	%				
Testemunha 1	62,4	8,1	70,5	26,3	96,9
Glyphosate	60,5	3,2	63,7	29,2	92,9
Glufosinato	51,8	3,4	55,2	30,4	85,6
Paraquat	61,0	3,2	64,1	29,7	93,8
Testemunha 2	68,8	10,9	79,7	11,9	91,6

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

**Teste F significativo a 1%, NS = teste F não significativo.

3.3.3 Massa seca, N-total e N proveniente do fertilizante após aplicação de herbicidas em *Brachiaria ruziziensis*

A MS da parte aérea e da planta inteira foi maior na testemunha 2 em relação aos demais tratamentos, os quais não diferiram entre si (Tabela 3.9). A MS de raízes do tratamento com glyphosate foi menor que a do glufosinato, que não diferiram da testemunha 1. A MS de raízes da testemunha 2 foi superior a dos demais tratamentos.

Na parte aérea, o N-total foi menor nos tratamentos com glyphosate e glufosinato do que na testemunha e paraquat (Tabela 3.10). Nas raízes, o N-total nos tratamentos com glyphosate e glufosinato foi menor do que nas testemunhas, as quais diferiram entre si, sendo observado maior conteúdo de N nas raízes da testemunha 2. Na planta inteira houve redução do N-total nos tratamentos com glyphosate e glufosinato em relação aos demais, sendo essa redução da ordem de 20% em relação à testemunha 1. O tratamento com paraquat não diferiu da testemunha 1 quanto ao conteúdo de N na parte aérea, raízes e planta inteira (Tabela 3.10).

O N-total na parte aérea da testemunha 2 foi menor do que na testemunha 1. O inverso ocorreu nas raízes, sendo observado aumento do conteúdo de N na testemunha 2 em relação a testemunha 1 (Tabela 3.10). Na planta inteira, as testemunhas não diferiram quanto ao N-total, evidenciando que houve remobilização de N na planta devido à proximidade dos estádios reprodutivos.

O N na planta proveniente do fertilizante (*NPPF*) apresentou resultados semelhantes aos observados para o N-total (Tabela 3.11). A dessecação das plantas com os herbicidas glyphosate e glufosinato em relação à testemunha 1 reduziu em, aproximadamente, 20% o *NPPF* na planta. No solo, o *NPPF* foi maior no tratamento com glyphosate em relação aos demais, os quais não diferiram entre si (Tabela 3.11). O aumento do *NPPF* no solo, devido à aplicação de glyphosate, pode estar relacionado ao destacamento radicular e/ou a exsudação de compostos nitrogenados pelas raízes. A recuperação do N proveniente do fertilizante foi menor nos tratamentos com glyphosate e glufosinato em relação aos demais. Portanto, a aplicação destes herbicidas em *Brachiaria ruziziensis* aumentou as perdas de nitrogênio do sistema solo-planta.

Tabela 3.9 – Massa seca da parte aérea, raízes, e planta inteira de *Brachiaria ruziziensis* após aplicação de herbicidas. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Parte aérea	Raízes	Planta inteira
	g pote ⁻¹		
Testemunha 1	29,4 b	8,7 bc	38,1 b
Glyphosate	30,3 b	5,4 c	35,6 b
Glufosinato	27,5 b	8,9 b	36,4 b
Paraquat	30,3 b	8,1 bc	38,5 b
Testemunha 2	40,2 a	18,4 a	58,6 a
P	**	**	**
DMS	5,2	3,4	8,1
C.V.(%)	8,7	18,2	10,3

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

**Teste F significativo a 1%.

Tabela 3.10 – N-total na parte aérea, raízes e planta inteira de *Brachiaria ruziziensis* após aplicação de herbicidas. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Parte aérea	Raízes	Planta inteira
	mg pote ⁻¹		
Testemunha 1	736,6 a	152,9 b	889,5 a
Glyphosate	601,4 bc	78,5 d	679,9 b
Glufosinato	572,7 c	113,3 cd	685,7 b
Paraquat	752,8 a	122,3 bc	875,1 a
Testemunha 2	653,6 b	213,7 a	867,3 a
P	**	**	**
DMS	55,2	38,0	56,0
C.V.(%)	4,4	14,7	3,7

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

**Teste F significativo a 1%.

Tabela 3.11 - Recuperação do ^{15}N -fertilizante na parte aérea, raízes, planta inteira de *Brachiaria ruziziensis*, solo e solo-planta após aplicação de herbicidas. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Parte aérea	Raiz	Planta inteira	Solo	Solo-Planta
mg pote ⁻¹					
Testemunha 1	684,1 a	134,4 b	818,5 a	81,9 b	900,5 a
Glyphosate	551,4 bc	66,8 d	618,2 b	142,3 a	760,6 b
Glufosinato	527,7 c	96,6 cd	624,4 b	88,0 b	712,4 b
Paraquat	693,8 a	107,2 bc	801,0 a	83,0 b	884,0 a
Testemunha 2	599,3 b	181,6 a	780,9 a	86,7 b	867,6 a
<i>P</i>	**	**	**	**	**
DMS	52,5	31,8	52,4	26,0	57,2
CV (%)	4,53	14,28	3,79	14,2	3,6
%					
Testemunha 1	72,0	14,2	86,2	8,6	95,0
Glyphosate	58,0	7,0	65,1	15,0	80,0
Glufosinato	55,6	10,2	65,7	9,3	75,0
Paraquat	73,0	11,3	84,3	8,7	93,2
Testemunha 2	63,1	19,1	82,2	9,1	91,4

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

**Teste F significativo a 1%.

3.3.4 Emissão de NH_3 via foliar após aplicação de herbicidas em *Brachiaria ruziziensis*

A aplicação do herbicida glyphosate aumentou a emissão de N-NH_3 por *Brachiaria ruziziensis* somente a partir do 14^o DAA (Figura 3.2), enquanto maiores emissões de N-NH_3 foram observadas nas plantas dessecadas com glufosinato de amônio em relação à testemunha a partir do 8^o DAA (Figura 3.3). O tratamento com paraquat não diferiu da testemunha (Figura 3.4), o que pode ser atribuído ao mecanismo de ação do herbicida, que não está relacionado ao metabolismo do N e promove morte rápida das plantas. A emissão acumulada de N-NH_3 foi maior no tratamento com glufosinato do que no tratamento com glyphosate (Figura 3.5).

Figura 3.2 – Emissão de N-NH_3 acumulada no tempo após aplicação do herbicida glyphosate em plantas de *Brachiaria ruziziensis*. DAA = dias após aplicação do herbicida. ** Teste de F da equação significativo ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2008

Figura 3.3 – Emissão de N-NH_3 acumulada no tempo após aplicação do herbicida glufosinato de amônio em plantas de *Brachiaria ruziziensis*. DAA = dias após aplicação do herbicida. ** Teste de F da equação significativo ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2008

Figura 3.4 – Emissão de N-NH_3 acumulada no tempo após aplicação do herbicida paraquat em plantas de *Brachiaria ruziziensis*. DAA = dias após aplicação do herbicida. ******Teste de F da equação significativo ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2008

Figura 3.5 – Emissão de N-NH_3 acumulada após aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio em plantas de *Brachiaria ruziziensis*. Piracicaba – SP, 2008

3.4 Discussão

3.4.1 Efeito dos herbicidas na MS de raízes

A MS de raízes foi reduzida pela aplicação de herbicidas, embora este fato não tenha ocorrido em todos os experimentos. Fernandez; McInnes e Cothren (1994) constataram que o herbicida glyphosate, reduziu em cerca de 50% a MS de raízes de trigo. Rogoli et al. (2008) observaram redução de MS de raízes (cenoura) após aplicação de glyphosate oriundo de deriva, em diferentes estádios de desenvolvimento.

Com exceção do terceiro experimento, todos apresentaram maior *NPPF* no solo em pelo menos um dos tratamentos herbicidas; o que pode ser atribuído ao destacamento radicular e/ou à exsudação de compostos nitrogenados pelas raízes, visto que as raízes são mais enriquecidas em ^{15}N do que o solo. Liu; Punja e Rahe (1997) observaram aumento da concentração dos aminoácidos valina, isoleucina e glicina nos exsudados de raiz após a aplicação do herbicida glyphosate. Kremer; Means e Kim (2005) observaram que a exsudação radicular de carboidratos e proteínas foi maior após aplicação de glyphosate em plantas de soja convencional e geneticamente modificada para tolerância ao herbicida, quando comparadas às plantas sem aplicação.

É possível obter uma estimativa da contribuição do destacamento radicular para o enriquecimento do solo em ^{15}N , tomando-se como exemplo a diferença de *NPPF* e de MS de raízes, observada entre o tratamento com glufosinato e a testemunha no solo cultivado com *Pennicetum glaucum*. A diferença de *NPPF* foi de 63 mg pote^{-1} , considerando-se que, no momento da aplicação do herbicida, a massa seca de raiz da testemunha e do tratamento com glufosinato era semelhante e desconsiderando o crescimento das raízes no intervalo entre a aplicação do herbicida e a morte da planta, tem-se redução de $6,2 \text{ g pote}^{-1}$ de MS no tratamento com glufosinato. Multiplicando este valor pela concentração de N nas raízes $((104/13,9)*6,2)$, obtém-se 33 mg pote^{-1} de N, o que corresponde a contribuição do destacamento radicular para o enriquecimento do solo em ^{15}N . A exsudação radicular pode ser a responsável pela diferença de 30 mg de N ($63-33 = 30 \text{ mg}$). No entanto, nas condições em que este experimento foi desenvolvido, não é possível quantificar com precisão a contribuição de cada processo para a redução de MS de raízes e enriquecimento do solo em ^{15}N .

3.4.2 Efeito dos herbicidas no conteúdo de N das plantas

Em todos os experimentos, observou-se redução do conteúdo de N na parte aérea das plantas dessecadas com glyphosate e glufosinato de amônio, o que pode estar relacionado à perda do nutriente para a atmosfera via foliar e/ou a remobilização do N na planta. A perda de N para a atmosfera reduz a recuperação do N proveniente do fertilizante no sistema solo-planta, como observado nos experimentos com *P. glaucum* e *B. ruziziensis*. No entanto, a dessecação de *A. strigosa* com herbicidas não afetou a recuperação do N do fertilizante. Nessa espécie, a redução de N na parte aérea foi acompanhada pelo aumento da concentração do nutriente nas raízes (Tabela 3.5 e 3.7). Em *P. glaucum*, houve redução de N na folha e aumento no caule, após aplicação dos herbicidas (Tabela 3.3). O *NPPF* do solo não foi reduzido, nem o N-total da planta aumentado após aplicação dos herbicidas, o que caracterizaria a absorção do nutriente pelas raízes. Portanto, o N foi remobilizado da parte aérea para as raízes no caso de *A. strigosa*, e para o colmo, no caso de *P. glaucum*, após aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio.

Durante a senescência, a remobilização aumenta devido à maior atividade das hidrolases, peroxidases, polifenol oxidase e proteases, enzimas que degradam proteínas. O N liberado das proteínas é transferido para o glutamato sendo, posteriormente, liberado como NH_4^+ pela ação da enzima glutamato desidrogenase (GDH). Esse NH_4^+ fica disponível para transformação em compostos de transporte de N, como glutamina e asparagina (NAKASATHIEN et al., 2000).

O herbicida paraquat não afetou o conteúdo de N na parte aérea e na planta inteira de *A. strigosa* e de *B. ruziziensis* (Tabela 3.7 e 3.10), o que pode ser atribuído ao modo de ação desse herbicida, que rapidamente destrói as células das folhas, impedindo a translocação de nutrientes (SYNGENTA, 2005).

Sob o ponto de vista prático, o efeito dos herbicidas no N-total das plantas utilizadas para cobertura do solo é importante porque pode afetar a taxa de mineralização da palhada formada, devido à elevação da relação C:N, e a imobilização de N pelos microrganismos do solo, processo que reduz a disponibilidade do nutriente às plantas.

3.4.3 Perdas de N do sistema solo-planta

Diversos processos de transformação do N resultam em saída do nutriente do sistema, sendo eles a lixiviação, a volatilização de NH_3 e as emissões de óxido nitroso e nitrogênio elementar pelo solo; e as perdas de NH_3 e óxidos de nitrogênio pelas plantas. Nas condições em que os experimentos foram desenvolvidos podem ser descartadas as perdas por lixiviação e volatilização de NH_3 do solo; visto que foram usados potes sem orifícios na base e o fertilizante utilizado foi o sulfato de amônio.

Assim, o N pode ter saído do sistema solo-planta na forma de óxidos de nitrogênio e nitrogênio elementar pelo solo e/ou na forma de NH_3 e óxidos de nitrogênio pelas plantas. Os principais processos que resultam em perdas gasosas de óxidos de nitrogênio e nitrogênio elementar pelo solo são a nitrificação e a desnitrificação, sendo a desnitrificação responsável pela maior parte do N perdido por estes processos (TIEDJE, 1994). A desnitrificação pode ser definida como um processo de respiração anaeróbica, no qual o NO_3^- é utilizado como receptor de elétrons. Portanto, fontes de carbono orgânico e condições anaeróbicas são necessárias para que a desnitrificação ocorra. No entanto, os experimentos foram desenvolvidos em solo arenoso, com baixo conteúdo de matéria orgânica (Tabelas 3.1 e 3.2) e a umidade do solo foi mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água durante todo o período experimental, sendo esperada pequena contribuição do processo de desnitrificação. Weier et al. (1996) observaram que as perdas de N por desnitrificação são cerca de 20 vezes menores em solos arenosos quando comparadas as perdas em solos de textura argilosa. Cabe ressaltar que, durante a nitrificação pode ocorrer formação de N_2O em condições aeróbicas, durante a oxidação do NH_4^+ a NO_2 por dismutação química do nitroxil (NOH), ou por ação da redutase do nitrito (SCHIMDT, 1982; BREMNER, 1997).

Carmo et al. (2005) avaliaram o efeito de herbicida nas emissões de N_2 e N_2O pelo solo e observaram aumento de 100% nas perdas após aplicação do produto. Entretanto, as emissões variaram de 2 ng N g^{-1} de solo h^{-1} , no tratamento com herbicida, a 1 ng N g^{-1} de solo h^{-1} , na testemunha, o que resultou em diferença de 1 ng N g^{-1} de solo h^{-1} . Para fins de estimativa, tomando-se como exemplo os resultados obtidos em *P. glaucum*, os tratamentos com herbicidas perderam, aproximadamente, 100 mg pote^{-1} de N a mais que a testemunha, em um período de 11 dias. Estas perdas, expressas na mesma unidade utilizada por Carmo et al. (2005) resultam em $54,5 \text{ ng N g}^{-1}$ de solo h^{-1} ($100 \text{ mg} / (7000\text{g} \cdot (24\text{hs} \cdot 11\text{dias}))$). Portanto, as perdas por

desnitrificação não seriam suficientes para explicar a redução na recuperação do N proveniente do fertilizante no sistema solo-planta após aplicação de herbicidas em *P. glaucum*.

Na planta, o N pode ser perdido tanto na forma de NH_3 como na forma de N_2O . As emissões de N_2O são, geralmente, muito baixas, sendo atribuídas à redução incompleta do NO_2 a NH_3 nos cloroplastos, mediada pela enzima nitrito redutase (SMART; BLOOM, 2001). Como altos níveis de amônio inibem a ação das enzimas nitrato redutase e nitrito redutase, o aumento de amônio em plantas dessecadas com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio deve reduzir a emissão de N_2O . Portanto, as perdas de N do sistema solo-planta, verificadas neste trabalho, podem ser atribuídas principalmente às perdas via foliar na forma de NH_3 .

3.4.3.1 Perdas de NH_3 via foliar

As perdas de NH_3 via foliar podem estar relacionadas ao estágio de desenvolvimento da planta, disponibilidade de nitrogênio no solo, condutância dos estômatos, temperatura da folha, concentração de NH_3 na atmosfera e de amônio na planta, atividade da enzima glutamina sintetase e estresse ambiental (PARTON et al., 1988; SCHJOERRING; HUSTED; MATTSON, 1998). Outro importante fator que afeta não só a intensidade mas também o sentido em que ocorrem as trocas gasosas de amônia entre as folhas e a atmosfera é o ponto de compensação de amônia (PCA), definido por Farquhar et al. (1980). Para concentrações de NH_3 na atmosfera abaixo do PCA observa-se emissão de NH_3 pelas folhas; para a condição contrária, ou seja, a atmosfera com concentração de amônia superior ao PCA, observa-se sua absorção (FARQUHAR et al., 1980; HOLTAN-HARTWIG; BOCKMAN, 1994).

Wetselaar e Farquhar (1980), a partir de trabalhos disponíveis na literatura, estimaram as perdas totais de N pela parte aérea nas culturas de trigo, arroz, sorgo graminífero, algodão e centeio, como sendo da ordem de 16 a 40, 48, 48, 21 e 42 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Para a cultura da cevada, Schjoerring et al. (1993) encontraram perdas de 1-2 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ de N-NH_3 em três níveis de fertilização nitrogenada. Para o milho, Francis; Schepers e Vigil, (1993) encontraram perdas de 45 a 81 kg ha^{-1} de nitrogênio, com taxas de aplicação variando entre 50 e 300 kg ha^{-1} de N. As perdas de NH_3 pela parte aérea da cultura de cana-de-açúcar, estimadas indiretamente por Trivelin (2000), foram da ordem de 90 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Este valor é semelhante à dose de N-fertilizante aplicado nas rebrotas da cultura (soqueiras). Em casa-de-vegetação, Bologna et al. (2006) observaram recuperação de 68% do nitrogênio do fertilizante em plantas de

trigo adubadas com sulfato de amônio. Resultados semelhantes foram observados por Damin et al., em *Brachiaria decumbens*, que encontraram 66% de recuperação do N proveniente do fertilizante sulfato de amônio.

De fato, as perdas de N nas testemunhas variaram entre as espécies (Tabelas 3.4, 3.6, 3.8 e 3.11). Comparando os experimentos 2 e 3, ambos com *A. strigosa*, observa-se que as perdas foram maiores no experimento 2. Em *Brachiaria ruziziensis*, a recuperação do N proveniente do fertilizante no sistema solo-planta foi muito superior à observada por Damin et al. (2008) em plantas do mesmo gênero. Uma possível explicação para estas diferenças é a época do ano em que os experimentos foram desenvolvidos; visto que maiores perdas foram observadas no experimento 2 e *B. decumbens* em relação ao 3 e na *B. ruziziensis*, estes últimos cultivados em períodos com temperaturas mais amenas, principalmente quando as plantas se aproximavam dos estádios reprodutivos. Temperaturas elevadas aumentam as taxas transpiratórias da planta, facilitando a saída de NH_3 via estômato.

3.4.3.2 Perdas de NH_3 via foliar após aplicação dos herbicidas

A senescência é uma das fases de desenvolvimento da planta que apresenta maior potencial de emissão de NH_3 (VALLIS; KEATING, 1994), devido ao aumento dos níveis de NH_4^+ endógenos na planta. Assim, a indução de senescência, pela aplicação de herbicidas, pode aumentar a emissão de NH_3 , conforme observado para os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio aplicados em *B. ruziziensis* (Figuras 3.2 e 3.3). Como o herbicida paraquat não aumentou a emissão de NH_3 , esta é dependente do mecanismo de ação do herbicida.

O herbicida glufosinato de amônio inibe a ação da enzima glutamina sintetase, responsável pela síntese de glutamato a partir de amônio e glutamina. Esta rota metabólica é considerada a principal via de assimilação de amônio em compostos orgânicos (SCHJOERRING; HUSTED; MATTSON, 1998). Como consequência, a aplicação do glufosinato de amônio resulta no acúmulo de NH_4^+ endógeno na planta (MANDERSCHIED et al., 2005). O NH_4^+ , em altas concentrações, é tóxico às plantas, podendo ser perdido na forma de NH_3 via foliar (MATTSON; HUSTED; SCHJOERRING, 1998).

A ação herbicida do glyphosate é atribuída à inibição da enzima EPSPS (Enolpiruvil shiquimato fosfato sintase), responsável por uma das etapas de síntese dos aminoácidos triptofano, fenilalanina e tirosina. Porém, como consequência, o herbicida inibe a síntese de

compostos fenólicos derivados destes aminoácidos e aumenta a atividade da enzima PAL (fenilamina amônia-liase), provavelmente, devido ao efeito resposta ocasionado pela redução da síntese de compostos fenólicos (DUKE; HOAGLAND, 1985). A PAL atua na quebra dos aminoácidos fenilalanina e tirosina, resultando na formação de ácidos fenólicos e NH_4^+ (HOAGLAND; DUKE; ELMORE, 1979).

O herbicida paraquat age no “fotossistema I”, fase da fotossíntese na qual há produção de elétrons livres. Ao interagir com os íons de paraquat os elétrons formam radicais livres que, em presença de oxigênio, produzem superóxidos. Estas moléculas altamente reativas promovem a desintegração das membranas celulares, devido à interação com os ácidos graxos insaturados destas (SYNGENTA, 2005). Portanto, este herbicida promove a morte rápida da planta e seu mecanismo de ação não está relacionado ao metabolismo do nitrogênio.

O mecanismo de ação dos herbicidas utilizados neste trabalho justifica os resultados encontrados, visto que as perdas de N foram maiores após aplicação de glyphosate e glufosinato de amônio em *P. glaucum* e *Brachiaria ruziensis*, enquanto o herbicida paraquat não afetou as perdas de N do sistema solo-planta. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Damini et al. (2008), que observaram perdas de 20% da dose de N aplicada, após dessecação de *B. decumbens* com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio.

Manderscheid et al. (2005) verificaram aumento do potencial de emissão de N pela parte aérea de quatro espécies de plantas daninhas (*Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Solanum nigrum* e *Tripleurospermum inodorum*) após a aplicação do herbicida glufosinato de amônio, sendo estas perdas variáveis entre as espécies. As plantas C_3 apresentaram redução nos teores de N-total, chegando a perder $0,4 \text{ g m}^{-2}$ de N, enquanto, as do tipo C_4 (*Echinochloa crus-galli*) não apresentaram queda no N-total, o que foi atribuído a menor sensibilidade e menor taxa de fotorrespiração da espécie. Os autores avaliaram, também, a fração de NH_4^+ no N-total na planta e observaram que, apenas um dia após a aplicação, a concentração de NH_4^+ aumentou em média 12%. Ao final do experimento, 13 dias após a aplicação do glufosinato, o NH_4^+ variou entre 17,4 e 44% do N-total das plantas.

O nível de NH_4^+ no tecido da folha tem sido utilizado como indicativo do potencial de volatilização de N pelas plantas, devido à estreita correlação entre os níveis de NH_4^+ no tecido e a razão entre os valores de concentração do NH_4^+ e do H^+ no apoplasto (valor $\Gamma = \text{NH}_4^+/\text{H}^+$) (NIELSEN; SCHJOERRING, 1998; MATTSSON; SCHJOERRING, 2003; MANDERSCHIED

et al., 2005; MATTSSON et al., 2008). No entanto, nem sempre a elevação dos níveis de NH_4^+ na planta é acompanhada de aumento na emissão de NH_3 . Witte et al. (2002) observaram, em plantas de batata, que o aumento na concentração de NH_4^+ no tecido foliar não resultou em aumento das perdas de N do sistema solo-planta. Os autores sugeriram que, na batata, o nível de NH_4^+ no simplasto não influenciou o nível deste cátion no apoplasto, podendo o NH_4^+ no simplasto estar compartimentalizado no vacúolo como ocorre nas raízes do milho (LEE; RATCLIFFE, 1991). A compartimentalização do NH_4^+ também foi observada por Wang et al. (1993) em raízes de arroz. Os resultados obtidos neste capítulo e por Witte et al. (2002) indicam que a relação direta entre altas concentrações de NH_4^+ no tecido foliar e o potencial de emissão de NH_3 pelas plantas pode não ser uma regra geral.

Na aveia preta, a compartimentalização do NH_4^+ não seria suficiente para explicar a ausência de perda de N do sistema após aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio, visto que o acúmulo de NH_4^+ em níveis tóxicos faz parte do mecanismo de ação do herbicida glufosinato. Uma possível explicação seria a redução da condutância estomática, impedindo a volatilização de NH_3 e permitindo rápida concentração de NH_4^+ no tecido da planta. A redução da condutância estomática após a aplicação de glyphosate foi observada por Fernandez; McInnes e Cothren (1994) em trigo, e por Fuchs et al. (2002) em *Abutilon theophrasti*.

3.4.3.3 Comparação do método do balanço de ^{15}N e das espumas absorvedoras na medição da perda de NH_3 via foliar decorrente da aplicação de herbicidas.

Os resultados obtidos pelo método com coletores de espumas reforçaram os observados pelo balanço de ^{15}N , sendo as maiores perdas observadas no tratamento com glufosinato, seguida do glyphosate, que foi superior à testemunha e paraquat, os quais não diferiram entre si. Porém, a magnitude das perdas foi muito diferente, sendo cerca de 80 vezes menor no método com coletores de espuma em relação ao balanço de ^{15}N . Oliveira et al. (2008) compararam os dois métodos de medida e observaram resultados similares e de mesma magnitude. Os autores concluíram que o método com coletores de espuma foi capaz de mensurar as perdas de NH_3 via foliar.

No entanto, em Oliveira et al. (2008), as medições foram iniciadas logo após a aplicação dos fertilizantes; as perdas foram menores, graduais e medidas por maior período de tempo; a

plantas tinham altura uniforme e se mantiveram eretas por todo o período de avaliação. No presente trabalho, as perdas foram avaliadas em período de tempo mais curto (16 dias); a quantidade perdida pelo método isotópico foi muito superior a observada em Oliveira et al. (2008), o que pode ter dificultado a captura do NH_3 emitido; a folhagem das plantas não se manteve ereta (Figura 3.1) nem mesmo antes da aplicação dos herbicidas, e após a aplicação a perda da turgescência celular ocasionou acamamento das plantas. Portanto, acredita-se que a diferença na magnitude das perdas esteja mais relacionada às limitações metodológicas do que à forma de saída do N da planta, visto que os resultados obtidos pelos dois métodos foram concordantes.

3.4.4 Considerações Finais

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que a adubação nitrogenada de *A. strigosa*, visando o fornecimento de N à cultura em sucessão, no sistema de semeadura direta, pode ser compensatória; uma vez que a recuperação do N proveniente do fertilizante no sistema solo-planta foi alta e a aplicação de herbicidas não ocasionou a saída do nutriente do sistema. No entanto, os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio modificaram a partição do nutriente da planta, reduzindo o conteúdo de N da parte aérea. Como no sistema de semeadura direta, a parte aérea da cultura de cobertura é mantida na superfície do solo, pode ocorrer redução nas taxas de mineralização dos resíduos culturais depositados sobre o solo e aumento da imobilização de N no solo, com possíveis implicações na produtividade da cultura em sucessão. De fato, tem sido observada redução na absorção de N pela cultura do milho e menor rendimento de grãos quando semeado imediatamente após cultivo de *A. strigosa* (ARGENTA et al., 2001).

Em *P. glaucum* e *B. ruziziensis* as perdas de N do sistema solo-planta, ocasionadas pela aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio, variaram de 10 a 20% do N aplicado via fertilizante. As perdas totais de N do fertilizante (desde a adubação com o fertilizante marcado até a morte das plantas com glyphosate ou glufosinato) foram de, aproximadamente, 30% em *P. glaucum*, 8 a 14% em *A. strigosa* e 20 a 25% em *B. ruziziensis*.

Como a magnitude das perdas foi variável entre as espécies, o desenvolvimento de trabalhos desta natureza em diferentes espécies vegetais é relevante para que se possa, por exemplo, escolher culturas de cobertura que apresentem menor perda de N do sistema solo-

planta, bem como ajustar a escolha dos herbicidas em razão da cultura de cobertura a ser dessecada. Existem, ainda, outros questionamentos importantes a serem respondidos, como:

- Em campo, qual a taxa em que ocorrem as saídas de N após a aplicação dos herbicidas? - Quais herbicidas causam estas perdas e em que magnitude? - Como essas saídas interferem na relação C:N da palha gerada e, conseqüentemente, na mineralização destes resíduos ?

Estas informações poderão ser úteis para elaboração de estratégias de manejo que proporcionem maior eficiência da adubação nitrogenada e menor impacto ambiental decorrente do uso de fertilizantes e herbicidas.

3.5 Conclusões

- A dessecação de *Pennisetum glaucum* e *Brachiaria ruziziensis* com os herbicidas glyphosate e glufosinato aumentou as perdas de N do sistema solo-planta;
- O N-total da parte aérea de *A. strigosa* e *B.ruziziensis* e das folhas de *P. glaucum* foi reduzido após dessecação destas espécies com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio;
- A emissão de NH_3 foi maior após aplicação de glyphosate e glufosinato de amônio em *B. ruziziensis*;
- As perdas de N do sistema solo-planta não foram afetadas pela aplicação de herbicidas em *Avena strigosa*;
- O herbicida paraquat não afetou a emissão de NH_3 por *B. ruziziensis* e as perdas de N do sistema solo-planta nas espécies estudadas.

Referências

- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; FLECK, N. G.; BORTOLINE, C. G.; NEVES, R.; AGOSTINETTO, D. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 6, p. 851-860, 2001.
- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMSAHI, S. (Ed.) **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.
- BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; LANGE, A.; TRIVELIN, P.C.O. Perda de nitrogênio pela parte aérea de plantas de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v. 36, n. 4, p.1106-1111, 2006.
- BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M. da; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.34, n.2, p.83-87, 2004.
- BREMER NETO, H.; VICTORIA FILHO, R.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; MENEZES, G.M.; CANALI, E. Estado nutricional e produção de laranjeira 'Pêra' em função da vegetação intercalar e cobertura morta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.1, p.29-35, 2008.
- BREMNER, J.M. Sources of nitrous oxide in soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Berlin, v.49, n.1/3, p.7-16, 1997.
- CARMO, J.B.; ANDRADE, C.A.; CERRI, C.C.; PICOLLO, M.C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N₂O a partir do solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v.29, n.5, p.735-746, 2005.
- CRUSCIOL, C.A.C.; MORO, E.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.481-489, 2008.
- DAMIN, V.; FRANCO, H.C.J.; MORAES, M.F.; FRANCO, A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen loss in *Brachiaria decumbens* after application of glyphosate or glufosinate-ammonium. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.402-407, 2008.
- DUKE, S.O.; HOAGLAND, R.E. Effects of glyphosate on metabolism of phenolic compounds. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p. 75-91.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p.
- FARQUHAR, G.D.; FIRTH, P. M.; WETSELAAR, R.; WEIR, B. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environmental: determination of the ammonia compensation point. **Plant Physiology**, Rockville, v.66, n.4, p. 710-714, 1980.

FERNANDEZ, C.J.; McINNIS, K.J.; COTHREN, J.T. Carbon balance, transpiration and biomass partitioning of glyphosate-treated wheat (*Triticum aestivum*) plants. **Weed Science**, Champaign, v.42, n.3, p. 333-339, 1994.

FRANCIS, D. D.; SCHEPERS, J. S.; VIGIL, M.F. Post-anthesis nitrogen loss from corn. **Agronomy Journal**, Madison, n.85, n.3, p. 659-663, 1993.

FRANCO, H.C.J; DAMIN, V.; FRANCO, A.; MORAES, M.F; TRIVELIN, P.C.O. Perdas de nitrogênio pela *Brachiaria decumbens* após a antese: relação com a umidade do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.1, p. 96-102, 2008.

FUCHS, M.A.; GEIGER, D.R.; REYNOLDS, T.L.; BOURQUE, J.E. Mechanisms of glyphosate toxicity in velvetleaf (*Abutilon theophrasti* medikus). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, New York, v.74, n.1, p. 27-39, 2002.

HOAGLAND, R. E.; DUKE, S. O.; ELMORE, C. D. Effects of glyphosate on metabolism of phenolic compounds. III. Phenylalanine ammonia-lyase activity, free amino acids, soluble protein and hydroxiphenolic compounds in axes of dark-grown soybeans. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 46, n.4, p. 357-366, 1979.

HOLTAN-HARTWIG, L.; BOCKMAN, O.C. Ammonia exchange between crops and air. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Norwegian, v.14, Supplement, p.1-41, 1994.

KREMER, R.J.; MEANS, N.E.; KIM, S. Glyphosate affects soybean root exudation and rhizosphere microorganisms. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, Oxfordshire, v. 85, n.15, p. 1165-1174, 2005.

LEE, R.B.; RATCLIFFE, R.G. Observation on the subcellular-distribution of the ammonium ion in maize root tissue using invivo ¹⁴N-nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Planta**, Heidelberg, v.183, n.3, p. 359-367, 1991.

LIU, L.; PUNJA, Z. K.; RAHE, J. E. Altered root exudation and suppression of induced lignification as mechanisms of predisposition by glyphosate of bean roots (*Phaseolus vulgaris* L.) to colonization by *Pythium* spp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.51, n.2, p. 111-127, 1997.

MANDERSCHIED, R.; SCHAAF, S.; MATTSSON, M.; SCHJOERRING, J.K. Glufosinato treatment of weeds results in ammonia emission by plants. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.109, n.1/2, p. 129-140, 2005.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd .ed. London, UK: Academic Press, 1995. 889p.

MATTSSON, M.; HUSTED, S.; SCHJOERRING, J. K. Influence of nutrition and metabolism on ammonia volatilization in plants. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, Berlim, v.51, n.1, p. 35-40, 1998.

MATTSSON, M.; HERRMANN, B.; JONES, S.; NEFTEL, A.; SUTTON, M. A.; SCHJOERRING, J. K. Contribution of different grass species to plant-atmosphere ammonia exchange in intensively managed grassland. **Biogeosciences Discussions**, Katlenburg-Lindau, v.5, n.3, p. 2583–2605, 2008.

MATTSSON, M.; SCHJOERRING, J.K. Senescence-induced changes in apoplastic and bulk tissue ammonia concentrations of ryegrass leaves. **New Phytologist**, London, v.160, n.3, p. 489-499, 2003.

NAKASATHIEN, S.; ISRAEL, D. W.; WILSON, R. F.; KWANYUEN, P. Regulation of seed protein concentration in soybean by supra-optimal nitrogen supply. **Crop Science**, Madison, v.40, n.5, p. 1277-1284, 2000.

NIELSEN, K.H.; SCHJOERRING, J.K. Regulation of apoplastic NH_4^+ concentration in leaves of oilseed rape. **Plant Physiology**, Rockville, v.118, n.4, p. 1361-1368, 1998.

OLIVEIRA, P.P.A.; TRIVELIN, P.C.O.; ALVES, A.C.; LUZ, P.H.C.; HERLING, V.R. **Métodos para avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização da superfície do solo e por emissão de amônia pela folhagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Embrapa Pecuária Sudeste: São Carlos, 2008. 41p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento , 16)

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.) **Tópicos em ciência do solo**. v.2. Viçosa : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.393-486.

OLIVEIRA, P.P.A. **Manejo da calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria sp.* em solos arenosos**. 2001. 110p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PARTON, W.J.; MORGAN, J.A.; ALTENHOFEN, J.M.; HARPER, L.A. Ammonia volatilization from spring wheat plants. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.3, p.419-425, 1988.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

REIS, B.F.; VIEIRA, J.A.; KRUG, F.J.; GINÉ, M.F. Development of a flow injections system two analytical paths for ammonium determination in soil extracts by conductometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v.8, n.5, p.523-528, 1997.

ROGOLI, R.P.; FONTANA, L.C.; FIGUEREDO, S.S.; NOLDIN, J.A. Resposta de plantas de beterraba (*Beta vulgaris*) e de cenoura (*Daucus carota*) à deriva simulada de glyphosate e clomazone. **Planta Daninha**, Viçosa , v.26, n. 2, p. 451-456, 2008.

SCHIMIDT, E. Nitrification in soil. In: STEVENSON, F.J.; BREMNER, J.M.; HAUCK, R.D.; KEENEY, D.R. (Ed.) **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. 940p. (Agronomy Series, 22)

SCHJOERRING, J.K.; KYLLINGSBAEK, A.; MORTENSEN, J.V.; BYSKOVI-NIELSEN, S. Field investigations of ammonia exchange between barley plants and the atmosphere. I. Concentration profiles and flux densities of ammonia. **Plant Cell Environment**, Heidelberg, v.16, n.2, p. 161-167, 1993.

SCHJOERRING, J. K.; HUSTED, S.; MATTSSON, M. Physiological parameters controlling plant-atmospheric ammonia exchange. **Atmospheric Environmental**, Amsterdam, v.32, n.3, p. 491-498, 1998.

SMART, D.R.; BLOOM, A.J. Wheat emit nitrous oxides during nitrate assimilation. **PNAS**, Washington, v.98, n.14, p.7875-7878, 2001.

SYNGENTA CROP PROTECTION. **A ciência do paraquat**. Disponível em: <http://www.paraquat.com/Default.aspx?tabid=749>. Acesso em: 17 jul.2008.

TIEDJE, J.M. Denitrifiers. In: WEAVER, W.; ANGEL, J.S.; BOTTOMLEY, P.S. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 2. Microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 245-267.

TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: três casos estudados com uso do traçador ^{15}N** . 2000. 143p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

VALLIS, I; KEATING, B.A. Uptake and losses of fertilizer and soil nitrogen in sugar crops. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Brisbane, v.16, n.1, p.105-113, 1994.

WANG, M.Y.; SIDDIQI, M.Y.; RUTH, T.J.; GLASS, A.D.M. Ammonium uptake by rice roots. I. Fluxes and subcellular distribution of $^{15}\text{NH}_4^+$. **Plant Physiology**, Rockville, v.103, n.4, p.1249-1258, 1993

WEIER, K.L.; McEWAN, C.W.; VALLIS, I.; CATCHPOOLE, V.R.; MYERS, R.J. Potential for biological denitrification of fertilizer nitrogen in sugarcane soils. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.47, n.1, p.67-79, 1996.

WETSELAAR, R.; FARQUHAR, G. D. Nitrogen losses from tops of plants. **Advances in Agronomy**, New York, v.33, n.1, p. 263-302, 1980.

WITTE, C.P.; TILLER, S.A.; TAYLOR, M.A.; DAVIES, H.V. Leaf urea metabolism in potato. Urease activity profile and patterns of recovery and distribution of ^{15}N after foliar urea application in wild-type and urease-antisense transgenics. **Plant Physiology**, Rockville, v.128, n.3, p. 1129-1136, 2002.

4 EMISSÃO DE NH₃ PELAS PLANTAS E PELO SOLO APÓS APLICAÇÃO DO HERBICIDA GLYPHOSATE EM *Brachiaria decumbens*

Resumo

Objetivou-se com este trabalho avaliar a emissão de NH₃ pelas folhas e pelo solo após aplicação do herbicida glyphosate em *Brachiaria decumbens* e comparar a eficiência de dois métodos de medida direta das perdas de NH₃. O experimento foi desenvolvido em campo, com delineamento inteiramente casualizado, em parcela subdividida no tempo. Os tratamentos alocados nas parcelas foram: 1- testemunha sem aplicação de herbicida; 2- dessecação de *B. decumbens* com o herbicida glyphosate. Como sub-parcelas foram considerados os tempos em dias após aplicação do herbicida (DAA): 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 e 30 dias. A emissão de NH₃ foi medida com coletores de espuma embebida em ácido fosfórico e por bombeamento constante de ar, no qual bombas de circulação de ar foram utilizadas para capturar o NH₃ emitido pelas plantas e bombeá-lo para “traps” de ácido fosfórico. A dessecação de *B. decumbens* com o herbicida glyphosate aumentou a emissão de NH₃ via foliar, sendo o método com coletores de espuma mais eficiente do que o de bombeamento na quantificação das perdas por esta via. O NH₃ volatilizado do solo não foi afetado pela utilização do herbicida.

Palavras-chave: Perdas; Nitrogênio; Amônia; Atmosfera; Dessecação

Plant and soil NH₃ emission after glyphosate application on *Brachiaria decumbens*

Abstract

This work was developed with the objective of evaluating NH₃ leaf and soil emission after glyphosate application on *Brachiaria decumbens* and also comparing the efficiency of two direct methods for NH₃ loss measurement. The experiment was carried out in field conditions, with completely randomized design and split-plot in time treatment scheme. The main treatments were: 1- check without herbicide application; 2- *B. decumbens* desiccation with the herbicide glyphosate. Time evaluations were considered as the split-plots and were achieved several days after herbicide application (DAA): 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 and 30 days. Ammonia emission was measured with foam samplers embedded with phosphoric acid and through constant air pumping, in which air circulating pumps were used for capturing the NH₃ released by plants and pump it into phosphoric acid traps. *B. decumbens* desiccation with the herbicide glyphosate enhanced leaf NH₃ emission, being the foam samplers method more efficient than the one with pumps to quantify the losses through this way. NH₃ volatilization from soil was not affected by herbicide application.

Keywords: Losses; Nitrogen; Ammonia; Atmosphere; Desiccation

4.1 Introdução

A emissão de NH_3 em área agrícolas é uma importante via de saída do nitrogênio do sistema solo-planta, sendo responsável por 10 a 20% das emissões globais de NH_3 (BOUWMAN et al., 1997; ASMAN; SUTTON; SCHJOERRING, 1998). O NH_3 é a principal molécula alcalinizante presente na atmosfera, neutralizando grande parte das substâncias que geram a chuva ácida. No entanto, altas concentrações de NH_3 na atmosfera aumentam a concentração de NH_4^+ na água da chuva, o que pode favorecer a eutrofização de rios e modificar a biodiversidade de espécies nos ecossistemas terrestres (ASMAN; DRUKKER; JANSSEN, 1988). Além do aspecto ambiental, as emissões de NH_3 reduzem a biodisponibilidade do nutriente, com possíveis implicações na produtividade de culturas.

As principais formas de saída do NH_3 dos agroecossistemas são: a volatilização de amônia do solo, associada à utilização de adubos amídicos-amoniacais e à mineralização da matéria orgânica; a emissão de NH_3 devido à queima de biomassa; e as perdas de amônia via foliar. Os principais fatores que afetam as perdas via foliar são a espécie vegetal, o estágio de desenvolvimento da planta, disponibilidade de nitrogênio no solo, condutância dos estômatos, temperatura da folha, concentração de NH_3 na atmosfera e de NH_4^+ na planta, atividade da enzima glutamina sintetase e estresse ambiental (PARTON et al., 1988; LEA, 1991; SUTTON; PITCAIRN; FOWLER, 1993; SCHJOERRING; HUSTED; MATTSSON, 1998).

Outro importante fator que afeta não só a intensidade mas também o sentido em que ocorrem as trocas gasosas de amônia entre as folhas e a atmosfera é o ponto de compensação de amônia (PCA), definido por Farquhar et al. (1980). Para concentrações de NH_3 na atmosfera abaixo do PCA observa-se emissão de NH_3 pelas folhas; para a condição contrária, ou seja, a atmosfera com concentração de amônia superior ao PCA, observa-se sua absorção (FARQUHAR et al., 1980; HOLTAN-HARTWIG; BOCKMAN, 1994).

Alguns herbicidas podem afetar um ou mais dos fatores citados anteriormente e, como consequência, aumentar as perdas de N via foliar. Manderscheid et al. (2005) avaliaram o potencial de emissão de NH_3 via foliar em quatro espécies de plantas daninhas dessecadas com o herbicida glufosinato de amônio e observaram aumento do potencial de emissão de NH_3 após aplicação do herbicida em todas as espécies estudadas. Damin et al. (2008) observaram que 17,5% do N aplicado via fertilização foi perdido após aplicação de glyphosate em *Brachiaria decumbens*.

É importante ressaltar que os resultados obtidos por Mandercheid et al. (2005) e Damini et al. (2008) são referentes a medidas indiretas das perdas de NH_3 via foliar. No método indireto, utilizando o traçador ^{15}N , a quantidade de N perdido via foliar é determinada pela diferença entre a quantidade de N proveniente do fertilizante aplicada e recuperada após determinado período experimental. Trata-se de um método relativamente simples e com resultados precisos, entretanto, pode superestimar a quantidade de N perdido via foliar se ocorrerem perdas por desnitrificação ou volatilização de NH_3 do solo. Além, disso, não considera a fração perdida que foi reabsorvida pela planta.

Nos métodos diretos, mede-se a amônia liberada pelas plantas e pelo solo. As medições em campo, utilizando métodos diretos são onerosas e muito sensíveis a mudanças no clima, como velocidade e direção dos ventos, o que pode dificultar a interpretação dos resultados. No entanto, tem como vantagens o fato de não modificar o solo, a planta ou as condições ambientais que interferem nas perdas de amônia; além da medição do fluxo líquido de amônia, ou seja, quantifica-se apenas a amônia perdida e que não foi reabsorvida pela folha.

As determinações diretas em campo são úteis para se estimar a real magnitude das perdas via foliar. Estas informações são particularmente importantes em regiões tropicais, nas quais trabalhos desta natureza são escassos e os dados obtidos em regiões temperadas nem sempre são aplicáveis, uma vez que o potencial de emissão de NH_3 pode ser aumentado em duas vezes com a elevação de 5°C na temperatura da folha (FARQUHAR et al., 1980; SUTTON; PITCAIRN; FOWLER, 1993; SCHJOERRING; HUSTED; MATTSSON, 1998).

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar a emissão de NH_3 pela folhagem e pelo solo após aplicação do herbicida glyphosate em capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e comparar a eficiência de dois métodos de medida direta das perdas de NH_3 .

4.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em área experimental pertencente ao Pólo Regional Centro-Sul da Agência Paulista de Desenvolvimento de Agronegócio (APTA), situada no município de Piracicaba - SP, Brasil ($22^\circ 42' 30''$ latitude sul, $47^\circ 38' 00''$ longitude oeste e 546 m de altitude), no período compreendido entre outubro de 2007 e novembro de 2008. O solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LV) (Embrapa, 1999). A caracterização química e composição granulométrica do solo são descritas nas Tabelas 4.1. e 4.2.

Tabela 4.1 – Caracterização química do solo da área experimental (realizada segundo RAIJ et al., 2001). Piracicaba – SP, 2007

Profundidade	pH	M.O.	P	S	K	Ca	Mg	Al	H + Al	T	V	m
m	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹									
0,0-0,1	6,2	23	19	19	1,5	39	20	0	20	80,5	75	0
0,1-0,2	5,0	18	7	58	0,6	23	14	0	31	68,6	55	0

M.O.= matéria orgânica; T = capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio

Tabela 4.2 – Composição granulométrica do solo da área experimental. Piracicaba – SP, 2007

Profundidade	Composição granulométrica dos solos			
	Argila	Silte	Areia total	classe textural
m	g kg ⁻¹			
0,0-0,1	220	60	720	Muito argiloso
0,1-0,2	280	80	640	Muito argiloso

Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), com parcela subdividida no tempo. Os tratamentos alocados nas parcelas foram: 1- Testemunha - sem aplicação de herbicida, 2-Glyphosate - dessecação da *B. decumbens* com o herbicida glyphosate. Como sub-parcelas foram consideradas as avaliações periódicas, contadas em dias após aplicação do herbicida (DAA): 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 e 30 dias. Para cada tratamento foram destinadas duas parcelas, cada uma com 49 m² (7x7 m), espaçadas em 2 m entre os perímetros.

Não foi necessário corrigir a acidez e fertilidade do solo antes da semeadura. Em 18/10/2007, cada parcela recebeu 150 g de sementes, incorporadas a aproximadamente 10 mm de profundidade. Após a germinação e desenvolvimento das plantas, o fertilizante nitrogenado sulfato de amônio foi aplicado na dose de 100 kg ha⁻¹ de N. No período compreendido entre novembro de 2007 e julho de 2008, cinco cortes foram realizados para uniformização das parcelas. No último corte, em 07/07/2008, foi aplicado N na forma de nitrato de amônio em dose equivalente a 40 kg ha⁻¹ (Figura 4.1A).

A aplicação do herbicida glyphosate foi realizada em 15/10/2008, quando foi constatado estágio fenológico de pré-antese. Dois dias antes da aplicação, as áreas foram cercadas com lona

preta, até 1,5 m de altura, para evitar a deriva e a contaminação do ar entre áreas tratadas e não tratadas com o herbicida. A lona foi colocada a 1 m de distância do perímetro das parcelas, o que permitiu o caminhar ao redor da área (Figura 4.1B). Na mesma data, iniciaram-se as medições do NH_3 emitido, sendo utilizados dois métodos diretos de medida.

No primeiro método foram utilizados coletores semelhantes aos descritos em Oliveira et al. (2008), confeccionados com espumas circulares, de 150 mm de diâmetro, 20 mm de espessura e densidade de 20 kg m^{-3} . As espumas foram embebidas em 25 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) 0,5 N e colocadas sobre placas de PVC com $160 \times 160 \times 2 \text{ mm}$ de dimensão. A placa de PVC com o absorvedor de espuma foi envolvida por fita de politetrafluoroetileno (fita de “teflon”) de 110 mm de largura. Os coletores foram armazenados em sacos plásticos, hermeticamente fechados, até o momento do uso. Em 13/10/2008, cada parcela recebeu cinco coletores de planta, afixados em haste metálica de 1,5 m de altura e posicionados 10 mm acima do dossel das plantas (Figura 4.1C); e três coletores de solo, colocados a 10 mm da superfície deste. Em área de pousio, adjacente à área experimental, foram colocados três coletores de planta, a 1,5 m da superfície do solo, para quantificação da concentração de NH_3 do ar.

No segundo método, bombas de vácuo foram utilizadas para captar o NH_3 emitido pelas plantas e bombeá-lo em solução de ácido fosfórico. Em cada parcela, um funil com abertura de 100 mm de diâmetro foi colocado sobre o dossel das plantas (Figura 4.1D). Uma caixa de madeira com aberturas para entrada de ar foi colocada no centro da área experimental (Figura 4.1E). Dentro da caixa, foram afixados quatro conjuntos independentes de bombas e “traps”, um conjunto para cada parcela; sendo estes conectados às parcelas (funis) por mangueiras com 5 m de comprimento. Cada bomba foi conectada a dois “traps”, contendo 500 mL de solução de ácido fosfórico (H_3PO_4) 0,5 N. O ar foi bombeado a uma taxa de $0,033 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo a vazão aferida diariamente em rotâmetros instalados na parte externa da caixa (Figura 4.1F).

A aplicação do herbicida glyphosate foi realizada dia 15/10/2008 das 9h00 às 9h20. No momento da aplicação, os parâmetros meteorológicos médios foram: umidade relativa de 74%; temperatura do ar de $26,3^\circ\text{C}$; céu aberto (sem nuvens) e ventos de $0,8 \text{ km h}^{-1}$. A primeira chuva foi registrada 70 horas após a aplicação, com intensidade de 10,7 mm. As precipitações e a temperatura média diária no período que as medições de NH_3 foram realizadas são apresentadas na Figura 4.2.

Figura 4.1 – Desenvolvimento do experimento. **A** – Adubação com nitrato de amônio; **B** – Instalação de lona preta ao redor das parcelas; **C** – Coletor de amônio sobre o dossel da planta; **D** – Funil para captura do NH_3 por bombeamento; **E** – Interior da caixa com as bombas e “traps” de NH_3 ; **F** – Rotômetros instalados na parte externa da caixa para calibração do bombeamento. Piracicaba – SP, 2008

das plantas foi cortada rente à superfície do solo, pesada e sub-amostrada para obtenção da massa seca (MS). O material vegetal seco foi triturado em moinho tipo Wiley e o N-total determinado em espectrômetro de massas contendo analisador automático de N, modelo ANCA-SL, 20-20 da PDZ Europa, Krewe, UK (BARRIE; PROSSER, 1996). Para determinação do NH_4^+ presente no tecido vegetal, 0,1 g de material vegetal seco foi adicionado a potes plásticos (100 mL), contendo 10 mL de solução de KCl 1 N. A suspensão foi agitada por 5 minutos e o sobrenadante retirado. A determinação do NH_4^+ no sobrenadante e nas amostras provenientes dos coletores de amônia foi realizada por análise de injeção em fluxo (FIA), segundo Reis et al. (1997).

O NH_3 emitido foi calculado pela equação:

$$\text{NH}_3 = \left[\frac{\text{NH}_4^+}{1000} \cdot V \right] - \text{branco}$$

Em que:

NH_3 = NH_3 emitido (mg coletor^{-1});

NH_4^+ = concentração de amônio na amostra (mg L^{-1});

V = volume da amostra (mL);

Branco = NH_3 presente no ar na área livre de planta (mg coletor^{-1}).

O N-total das amostras de planta foi obtido por:

$$N_{\text{total}} = MS \cdot \%N \cdot 10$$

Em que:

MS = massa seca de plantas (g);

N = Porcentagem de N na amostra.

O NH_4^+ presente no tecido vegetal foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{NH}_4^+ = \frac{\text{NH}_4^+ (\text{mg / kg})}{10} \cdot MS$$

Em que:

$NH_4^+ = NH_4^+$ no tecido vegetal (mg por $0,5\text{ m}^2$);

$NH_4^+ \text{ (mg/kg)}$ = concentração de amônio na amostra (mg L^{-1});

MS = massa seca (g por $0,5\text{ m}^2$).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância e, quando o teste F foi significativo, procedeu-se a comparação de médias de tratamentos qualitativos pelo teste t ($\alpha=0,05$). Para ajuste das datas de avaliação foram utilizadas regressões.

4.3 Resultados e Discussão

A massa fresca da parte aérea de *Brachiaria decumbens* foi reduzida pela aplicação do herbicida glyphosate, o que pode ser atribuído à ação dessecante do herbicida, visto que a massa seca (MS) não diferiu entre os tratamentos. O N-total da parte aérea não diferiu entre os tratamentos, porém a concentração de NH_4^+ no tecido vegetal foi cerca de quatro vezes e meia maior no tratamento com glyphosate em relação à testemunha (Tabela 4.3).

A emissão de NH_3 via foliar, medida pelos coletores de espumas, foi maior no tratamento com glyphosate do que na testemunha ($F_{\text{tratamento}} = 186,3$; significativo a 1%). Houve interação dos tratamentos com as datas de avaliação ($F_{\text{interação}} = 16,8$; significativo a 1%), sendo o tratamento com glyphosate superior à testemunha a partir do 16º DAA (Figura 4.3). Na testemunha, aproximadamente 5,5 mg de N foram absorvidos por coletor. Considerando que cada coletor sobrepõe $0,0176\text{ m}^2$ de área, a emissão estimada em um hectare para a testemunha foi de, aproximadamente, $3,5\text{ kg ha}^{-1}$ de N em 30 dias. Utilizando o mesmo cálculo, a perda no tratamento com glyphosate foi de $5,4\text{ kg ha}^{-1}$ e, portanto, a diferença foi de cerca de $2,0\text{ kg ha}^{-1}$.

A magnitude das emissões de NH_3 observadas neste experimento está em concordância com a verificada por Schjoerring e Mattsson (2001), que observaram valores de emissão variando de 1 a 5 kg ha^{-1} por plantas de cevada, ervilha e canola em um período de quatro meses. Perdas de NH_3 de ordem semelhante também foram encontradas por Sutton; Pitcairn e Fowler (1993); Holtan-Hartwing e Bockman (1994); Yamulki; Harrison e Goulding (1996); Mannheim;

Braschkat e Marschner (1997). No entanto, Francis; Schepers e Vigil, (1993) observaram perdas de 45 a 71 kg ha⁻¹ em milho.

No solo, a emissão de NH₃ não diferiu entre os tratamentos (Figura 4.4), sendo os valores de ordem semelhante à observada acima do dossel das plantas. Na testemunha, a emissão acumulada de N-NH₃ do solo foi de 6,3 mg por coletor, enquanto na planta foi de 5,5 mg. É possível que uma fração do NH₃ emitido pelo solo tenha sido absorvida pela planta. No entanto, como a volatilização pelo solo não diferiu entre os tratamentos, o aumento de NH₃ captado acima do dossel das plantas, devido à aplicação de glyphosate, não foi influenciado pela volatilização de NH₃ do solo, podendo ser atribuído às perdas via foliar. Oliveira et al. (2008) avaliaram a emissão de NH₃ com coletores de espuma colocados no solo e acima do dossel das plantas após a fertilização de *B. brizantha* cv. Marandu com uréia. Estes autores sugeriram que as perdas de NH₃ captada acima do dossel não foram afetadas pela volatilização, visto que as perdas pelo solo foram maiores e tiveram padrões diferentes daquelas observadas acima do dossel. No solo, ocorreu pico de máxima emissão de NH₃ nos dias subsequentes à adubação, o qual não foi observado acima do dossel das plantas.

Tabela 4.3 – Massa fresca, massa seca, N-total e NH₄⁺ na parte aérea de *Brachiaria decumbens* após aplicação do herbicida glyphosate. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Massa fresca	Massa seca	N-total (g)	N-NH ₄ ⁺ (mg)
	kg			
Testemunha	1,9 a	0,6	9,0	105,6 b
Glyphosate	1,1 b	0,6	7,9	472,9 a
<i>P</i>	**	NS	NS	**
DMS	0,3	0,1	2,0	84,0
C.V.(%)	19,2	20,4	25,3	30,9

Valores referentes à área de 0,5 m². Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste 't' (P=0,05). **Teste F significativo a 1%; NS = teste F não significativo.

Figura 4.3 – Emissão de N-NH_3 via foliar, acumulada no tempo, após aplicação do herbicida glyphosate em plantas de *Brachiaria decumbens*, determinada com coletores de espumas. DAA = dias após aplicação do herbicida. ** Teste F da equação significativo ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2008

Figura 4.4 – Emissão de N-NH_3 pelo solo acumulada no tempo após aplicação do herbicida glyphosate em plantas de *Brachiaria decumbens*. DAA = dias após aplicação do herbicida. ** Teste F da equação significativo ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2008

As perdas de amônia pelo solo podem ser associadas à utilização de adubos amídicos-amoniacais e à mineralização da matéria orgânica, sendo ambos os processos dependentes do pH da solução, como ilustrado na reação de equilíbrio:

A constante de dissociação da reação é $5,86 \times 10^{-10}$ (a 20°C, em soluções aquosas). Assim, quando o pH da solução é 9,2, 50% das moléculas estão na forma protonada (NH_4^+) e 50% estão na forma molecular (NH_3). Porém, quando o pH da solução é 8,2 somente 10% das moléculas estão na forma molecular, sendo essa percentagem reduzida em 10 vezes a cada redução de uma unidade de pH. Portanto, quando o pH da solução é 6,2, como observado na camada superficial do solo (Tabela 1), somente 0,1% permanece na forma de NH_3 . No entanto, no solo, o tamponamento do meio e as interações com os componentes alteram as condições de equilíbrio de forma que a proporção $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ é, geralmente, maior do que aquela prevista em soluções puras (CANTARELLA, 2007).

É possível estimar a contribuição do processo de volatilização do N fornecido via fertilizante nas perdas de NH_3 pelo solo. A dose de nitrato de amônio aplicada no último corte foi de 40 kg ha^{-1} de N, portanto, cada parcela recebeu 98 g de N na forma amoniacal. Se for considerado que 0,1% passaram para a forma de NH_3 , tem-se que até 9,8 g podem ter sido perdidas em uma área de 49 m^2 . Supondo que cada coletor é eficiente em captar apenas o NH_3 emitido pela área que a espuma sobrepõe ($0,0176 \text{ m}^2$), tem-se que a perda por volatilização do N do fertilizante é responsável por 3,5 mg do N quantificado pelos coletores de espumas. No entanto, maiores perdas são comumente observadas nos primeiros dias após a aplicação do fertilizante e as medições começaram somente 100 dias após a fertilização.

De qualquer modo, as perdas de NH_3 devido à adição do fertilizante ao solo não são suficientes para explicar as perdas obtidas, que foram de, aproximadamente, 6,5 mg por coletor. Assim, as perdas de NH_3 pelo solo podem estar associadas, também, ao processo de decomposição dos resíduos de *B. decumbens* depositados sobre este. Durante a mineralização, o N é liberado na forma de NH_3 , passando a NH_4^+ quando em contato com o H^+ do solo. No entanto, parte do NH_3 liberado pode não entrar em contato com solo, sendo perdido diretamente para a atmosfera. A presença de resíduos de *B. decumbens* na área pode ser atribuída à deposição de material vegetal, que ocorreu durante os cortes para uniformização da cultura, visto que não

foi possível remover todo material cortado. Além disso, as folhas que senesceram após o último corte não foram retiradas da área.

A emissão de NH_3 medida por bombeamento do ar em solução de ácido fosfórico foi maior no tratamento com glyphosate em relação à testemunha ($F_{\text{tratamento}} = 8,5$; significativo a 5%); resultado semelhante ao observado com os coletores de espuma. No entanto, não houve interação dos tratamentos com as datas de avaliação ($F_{\text{interação}} = 0,8$; não significativo) (Figura 4.5). Embora o padrão dos resultados obtidos pelos dois métodos tenha sido semelhante, a magnitude das perdas foi diferente. Aos 30 DAA, a emissão acumulada foi de 5,5 mg de N por coletor de espuma na testemunha e de 9,5 mg no tratamento com glyphosate. A emissão acumulada no mesmo período, medida por bombeamento foi de 2,5 mg na testemunha e 3,0 mg no tratamento com herbicida. Estes resultados indicam que a medição do NH_3 com coletores de espuma foi mais sensível que sua medição por bombeamento. Portanto, os coletores de espuma devem ser preferidos, visto que são mais baratos e não necessitam de fonte de energia próxima da área experimental para sua instalação. A menor eficiência da metodologia com uso de bombas de circulação pode estar relacionada à distância relativamente grande (5 m) que o NH_3 precisou percorrer antes de ser retido nos “traps”.

Os resultados obtidos neste capítulo estão de acordo com os obtidos por Damin et al. (2008) que utilizaram o método do balanço de ^{15}N para avaliar as perdas de N do sistema solo-planta após aplicação de glyphosate em *B. decumbens*. No entanto, a magnitude das perdas obtidas no presente capítulo foi muito inferior. Schjoerring e Mattsson (2001), comparando seus resultados com os obtidos em trabalhos anteriores, concluíram que métodos diretos de medida, que não alteram as condições ambientais, apresentam resultados similares aos observados pelo método isotópico quando as taxas de emissão de NH_3 são baixas. De fato, Oliveira et al. (2008) observaram resultados de mesma magnitude pelo método do balanço de ^{15}N comparativamente ao método dos coletores de espuma, com baixas taxas de emissão de NH_3 .

No entanto, Segundo Schjoerring e Mattsson (2001), quando as taxas de emissão são altas o método isotópico pode superestimar as perdas de N via foliar, visto que não considera a fração perdida que foi reabsorvida pela planta. Ainda, o método do balanço de ^{15}N detecta as perdas de N do sistema solo-planta sem distinção às vias de saída do nutriente. Cabe ressaltar, entretanto, que altas taxas de reabsorção de NH_3 , com valores variando de 20 a 43%, foram observadas,

somente, quando o NH_3 foi emitido pelo solo (DENMEAD et al., 1993; FENILLI, 2006) e não pela planta, como observado neste capítulo.

Se por um lado o método do balanço de ^{15}N pode superestimar as perdas via foliar, por outro, os coletores de espuma podem não mensurar a real magnitude das perdas, visto que pode haver a formação de camada saturada na superfície da espuma, dificultando a absorção de novas moléculas de NH_3 . Este processo é particularmente importante quando quantidades relativamente grandes de NH_3 são emitidas em pequeno intervalo de tempo. Outra dificuldade é a comparação das metodologias, visto que é difícil determinar qual o volume ou massa de plantas que influencia a emissão observada nos coletores. Outras considerações a respeito da comparação dos dois métodos são apresentadas no item 3.4.3.3 do Capítulo anterior.

Figura 4.5 – Emissão de N-NH_3 acumulada no tempo, após aplicação do herbicida glyphosate em plantas de *Brachiaria decumbens*, determinada por bombeamento em solução de ácido fosfórico. DAA = dias após aplicação do herbicida. Piracicaba – SP, 2008

Os resultados obtidos em trabalhos anteriores e neste trabalho de tese evidenciam que a quantificação da real magnitude das perdas de NH_3 via foliar é difícil. Porém, os resultados do presente capítulo confirmam que o herbicida glyphosate aumenta as perdas de NH_3 via foliar e evidenciam que a volatilização de amônia do solo não contribui para o aumento das perdas de N do sistema solo-planta após aplicação de glyphosate. Portanto, a diferença observada no capítulo anterior e em Damim et al. (2008), entre o tratamento com glyphosate e a testemunha, pode estar relacionada, além das perdas via foliar, ao processo de desnitrificação. Neste sentido, novas pesquisas devem ser desenvolvidas a fim de quantificar como os herbicidas afetam as perdas por desnitrificação. Além do aspecto econômico, a quantificação das perdas de N_2O por desnitrificação é relevante visto que este gás tem potencial de aquecimento global 296 vezes maior que o CO_2 , e é um dos intermediários do processo de destruição da camada de ozônio na estratosfera (TABATABAI et al., 1981; GRIFFITH, 2005).

4.4 Conclusões

- A dessecação de *Brachiaria decumbens* com o herbicida glyphosate aumentou as perdas de NH_3 pela parte aérea das plantas;
- A volatilização de NH_3 do solo não foi afetada pela aplicação do herbicida glyphosate;
- O método com coletores de espuma foi mais eficiente que o por bombeamento em solução de ácido fosfórico para quantificação da emissão de NH_3 .

Referências

- ASMAN, W.A.H.; DRUKKER, B.; JANSSEN, A.J. Modelled historical concentration and depositions of ammonia and ammonium in Europe. **Atmospheric Environmental**, Amsterdam, v.22, n.4, p. 725-735, 1988.
- ASMAN, W.A.H.; SUTTON, M.A.; SCHJORRING, J.K. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. **New Phytologist**, Sheffield, v.139, n.1, p.27-48, 1998.
- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMSAHI, S. (Ed.) **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.

BOUWMAN, A.F.; LEE, D.S.; ASMAN, WAH; DENTENER, F.J.; VAN DER HOER, K.W.; OLIVIER, J.G.J. A global high-resolution emission inventory for ammonia. **Global Biogeochemical Cycles**, Mainz, v.11, n.4, p.561-587, 1997.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, G.H.; BARROS N.F.; FONTES R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

DAMIN, V.; FRANCO, H.C.J.; MORAES, M.F.; FRANCO, A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen loss in *Brachiaria decumbens* after application of glyphosate or glufosinate-ammonium. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4 p.402-407, 2008.

DENMEAD, O.T.; FRENEY, J.R.; DUNIN, F.X.; HACKSON, A.V.; REYEBGA, W.; SAFFIGNA, P.G.; SMITH, J.W.B.; WOOD, A.W. Effect of canopy development on ammonia uptake and loss from sugarcane fields fertilized with urea. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologist**, Brisbane, v.15, n.1, p.285-292, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p.

FARQUHAR, G.D.; FIRTH, P. M.; WETSELLAR, R.; WEIR, B. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environmental: determination of the ammonia compensation point. **Plant Physiology**, Rockville, v.66, n.4, p. 710-714, 1980.

FENILLI, T.A.B. **Destino do nitrogênio (¹⁵N) do fertilizante em uma cultura de café**. 2006. 100p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

FRANCIS, D.D.; SCHEPERS, J.S.; VIGIL, M.F. Post-anthesis nitrogen loss from corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.3, p. 659-663, 1993.

GRIFFITH, J. **Nitrogen pollution turn bays and rivers into dead zones**. Ithaca: College of Agriculture and Life Sciences News, Cornell University, 2005. p.19-21.

HOAGLAND, R.E.; DUKE, S.O.; ELMORE, C.D. Effects of glyphosate on metabolism of phenolic compounds. III. Phenylalanine ammonia-lyase activity, free amino acids, soluble protein and hydroxiphenolic compounds in axes of dark-grown soybeans. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 46, n.4, p. 357-366, 1979.

HOLTAN-HARTWIG, L.; BOCKMAN, O.C. Ammonia exchange between crops and air. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Norwegian, v.14, Supplement, p.1-41, 1994.

LEA, P.J. The inhibition of ammonia assimilation: a mechanism of herbicide action. In: BAKER, N.R.; PERCIVAL, M.P. (Ed.) **Herbicides**. Amsterdam: Elsevier Science, 1991. p.267-298.

- MANDERSCHIED, R.; SCHAAF, S.; MATTSSON, M.; SCHJOERRING, J.K. Glufosinato treatment of weeds results in ammonia emission by plants. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.109, n.1/2, p. 129-140, 2005.
- MANNHEIM, T.; BRASCHKAT, J.; MARSCHNER, H. Ammonia emissions from senescing plants and during decomposition of crop residues. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.160, n.2, p.125-132, 1997.
- OLIVEIRA, P.P.A.; TRIVELIN, P.C.O.; ALVES, A.C.; LUZ, P.H.C.; HERLING, V.R. **Métodos para avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização da superfície do solo e por emissão de amônia pela folhagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Embrapa Pecuária Sudeste: São Carlos, 2008. 41p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 16)
- PARTON, W.J.; MORGAN, J.A.; ALTENHOFEN, J.M.; HARPER, L.A. Ammonia volatilization from spring wheat plants. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.3, p.419-425, 1988.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.
- REIS, B.F.; VIEIRA, J.A.; KRUG, F.J.; GINÉ, M.F. Development of a flow injections system two analytical paths for ammonium determination in soil extracts by conductometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v.8, n.5, p.523-528, 1997.
- SCHJOERRING, J. K.; HUSTED, S.; MATTSSON, M. Physiological parameters controlling plant-atmospheric ammonia exchange. **Atmospheric Environmental**, Amsterdam, v.32, n.3, p.491-498, 1998.
- SCHJOERRING, J. K.; MATTSSON, M. Quantification of ammonia exchange between agricultural cropland and the atmosphere: Measurements over two complete growth cycles of oilseed rape, wheat, barley and pea. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.228, n.1, p.105-115, 2001.
- SUTTON, M.A.; PITCAIRN, C.E.R.; FOWLER, D. The exchange of ammonia between the atmosphere and plant communities. In: BEGON, M.; FITTER, A.H. **Advances in Ecological Research**, New York, v.24. p.301-393, 1993.
- TABATABAI, M.A.; BURWELL, R.E.; KEENEY, D.R.; LOGAN, T.J.; NELSON, E.W.; OLSON, R.A.; RANDALL, G.W.; TIMMONS D.R.; VERRY, E.S.; WHITE, E.M. **Nutrient concentrations and accumulations in precipitation over the North Central Region**. Ames: Iowa State University, 1981. 142p. (Research Bulletin, 594)
- YAMULKI, S.; HARRISON, R.M.; GOULDING, K.W.T. Ammonia surface-exchange above an agricultural field in Southeast England. **Atmospheric Environmental**, Amsterdam, v.30, n.1, p.101 -118, 1996.

5 EXSUDAÇÃO DE COMPOSTOS NITROGENADOS E DESTACAMENTO DE RAÍZES EM *Brachiaria decumbens* APÓS APLICAÇÃO DE HERBICIDAS

Resumo

Objetivou-se com este trabalho avaliar a exsudação de compostos nitrogenados e o destacamento radicular em *Brachiaria decumbens* após aplicação dos herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. Os tratamentos foram organizados em esquema de parcela subdividida no tempo. Os tratamentos alocados nas parcelas foram: (1) Testemunha - sem aplicação de herbicidas; (2) Glyphosate - dessecação de *B. decumbens* com o herbicida glyphosate; (3) Glufosinato - dessecação de *B. decumbens* com o herbicida glufosinato de amônio; e (4) Paraquat - dessecação de *B. decumbens* com o herbicida paraquat. Como sub-parcelas foram consideradas as avaliações periódicas, contadas em dias após aplicação (DAA) do herbicida: 0, 1, 2, 4, 6, 8 e 11 DAA. As plantas foram cultivadas em solução nutritiva contendo sulfato de amônio enriquecido em 2% em átomos de ^{15}N . Quinze dias antes da aplicação dos herbicidas, retirou-se o sulfato de amônio enriquecido em ^{15}N da solução, sendo adicionado o fertilizante com abundância natural deste isótopo. A exsudação de compostos nitrogenados e o destacamento radicular foram aumentados pela dessecação de *Brachiaria decumbens* com os herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat.

Palavras-chave: Rizodeposição; Nitrogênio; Glyphosate; Glufosinato de Amônio, Paraquat

Nitrogen compounds exudation and root detachment in *Brachiaria decumbens* after herbicide application

Abstract

This work was developed with the objective of evaluating the nitrogen compounds exudation and root detachment in *Brachiaria decumbens* after the application of the herbicides glyphosate, ammonium-glufosinate and paraquat. Completely randomized design was adopted with five replicates. Treatments were organized according to split plot in time scheme. The treatments in the plots were: (1) Check - without herbicide application; (2) Glyphosate - *B. decumbens* desiccation with the herbicide glyphosate; (3) Glufosinate - *B. decumbens* desiccation with the herbicide ammonium-glufosinate; and (4) Paraquat - *B. decumbens* desiccation with the herbicide paraquat. Time periodical evaluations were considered in the split plots, counted on days after herbicide application (DAA): 0, 1, 2, 4, 6, 8 and 11 DAA. Plants were grown in nutritive solution with ammonium sulfate enriched with 2% of ^{15}N atoms. Fifteen days prior to herbicide application, enriched ^{15}N -ammonium sulfate was removed from nutritive solution, being replaced by fertilizer with the natural abundance of this isotope. Nitrogen compounds exudation and root detachment were enhanced by *Brachiaria decumbens* desiccation with the herbicides glyphosate, ammonium-glufosinate and paraquat.

Keywords: Rhizodeposition; Nitrogen; Glyphosate; Ammonium-glufosinate; Paraquat

5.1 Introdução

A rizosfera pode ser definida como a zona do solo influenciada pelas raízes. A deposição de exsudados e fragmentos de raízes nesta região favorece o crescimento e atividade da comunidade microbiana do solo, que têm importantes funções na ciclagem e no fornecimento de nutrientes às plantas, com destaque ao nitrogênio. Cerca de 15% do total de CO₂ fixado pelas plantas é depositado na rizosfera em um ciclo de cultivo de cereais (NGUYEN, 2003), sendo os açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos, fenóis, exoenzimas e íons como o NH₄⁺ os principais compostos exsudados pelas raízes (KRAFFCZYK; TROLLDENIER; BERINGER, 1984; MARSCHNER, 1995; DAKORA; PHILLIPS, 2002; NGUYEN, 2003; PATERSON, 2003).

A exsudação pode ser uma importante via de saída do nitrogênio da planta. Klein; Frederick e Biondini (1988) estimaram que a relação C:N dos compostos exsudados por espécies da família *Poaceae* variou de 2 a 2,7. No entanto, outros trabalhos têm demonstrado que a exsudação de compostos contendo N é muito baixa, sendo os exsudados ricos em açúcares (DEUBEL; GRANSEE; MERBACH, 2000; PATERSON, 2003; MERBACH et al., 2003). Os principais fatores que afetam a quantidade e a composição dos exsudados de raízes são: a espécie vegetal, o estágio de desenvolvimento da planta, os estresses ambientais, o estado nutricional, as injúrias, a aplicação de produtos químicos e a atividade e composição da comunidade microbiana do solo (MARSCHNER, 1995; HOLLAND; CHENG; CROSSLEY, 1996). Os herbicidas podem afetar alguns dos fatores citados e, como consequência, a exsudação radicular.

Kremer; Means e Kim (2005) avaliaram a exsudação de aminoácidos e carboidratos após aplicação do herbicida glyphosate em soja convencional e geneticamente modificada para tolerância ao herbicida e concluíram que a exsudação foi maior em ambos os cultivos após aplicação do produto. Resultados similares foram obtidos em plantas de feijão dessecadas com glyphosate (LIU; PUNJA; RAHE, 1997). Damin et al. (2008) observaram aumento do N proveniente do fertilizante no solo e redução na planta após aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio em *Brachiaria decumbens*, indicando que os herbicidas aumentaram a exsudação e/ou destacamento radicular. O aumento da exsudação pode estar relacionado ao mecanismo de ação do produto, visto que tanto o herbicida glyphosate como o glufosinato de amônio podem aumentar a concentração de NH₄⁺ em níveis tóxicos às plantas (SCHJOERRING; HUSTED; MATTSSON, 1998).

Além de reduzir o teor de N da planta, a exsudação e o destacamento radicular podem afetar a composição e atividade da microbiota presente na rizosfera e, como consequência, todos os processos ligados a ela. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar a exsudação de compostos nitrogenados (^{15}N) após aplicação dos herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat em *Brachiaria decumbens*.

5.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em casa-de-vegetação localizada no CENA/USP, Piracicaba – SP (22° 42' 30" latitude sul, 47° 38' 00" longitude oeste e 546 m de altitude), no período compreendido entre agosto e dezembro de 2007. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), com parcela subdividida no tempo. Os tratamentos alocados nas parcelas foram: (1) Testemunha - sem aplicação de herbicidas; (2) Glyphosate - dessecação de *Brachiaria decumbens* com o herbicida glyphosate; (3) Glufosinato - dessecação de *B. decumbens* com o herbicida glufosinato de amônio; (4) Paraquat – dessecação de *B. decumbens* com o herbicida paraquat. Como sub-parcelas foram consideradas as avaliações periódicas, contadas em dias após aplicação do herbicida (DAA): 0, 1, 2, 4, 6, 8 e 11 DAA. Cada tratamento contou com cinco repetições.

As plantas foram cultivadas em solução nutritiva (HOAGLAND; ARNON, 1950; modificada por EPSTEIN; BLOOM, 2005) com aeração constante, cuja composição nutricional é descrita na Tabela 5.1. A semeadura de *B. decumbens* foi realizada em bandejas com vermiculita e, 20 dias após a semeadura, as plantas foram transferidas para potes com 2,5 L de capacidade. Cada pote recebeu duas plantas, as quais foram afixadas à tampa pelo caule, com auxílio de espuma plástica. A solução nutritiva foi trocada a cada duas semanas, sendo incluído o sulfato de amônio enriquecido em 2% de átomos de ^{15}N . Durante todo experimento o volume da solução (2 L) foi completado diariamente pela adição de água destilada e o pH corrigido para $4,5 \pm 0,2$ pela adição de HCl ou NaOH uma vez por semana.

Quinze dias antes da aplicação dos herbicidas, a solução nutritiva foi substituída e, a partir desta data, foi utilizado o fertilizante sulfato de amônio com abundância natural de ^{15}N . Dois dias antes da aplicação dos herbicidas, a solução nutritiva foi novamente substituída, para evitar a contaminação da solução com moléculas marcadas em ^{15}N , localizadas no apoplasto das raízes.

Em 17/11/2007, quando se constatou estágio fonológico de pré-antese, os herbicidas

foram aplicados. As formulações comerciais utilizadas foram: Roundup Original® para o glyphosate, na dose de 4 L ha⁻¹, contendo 360 g L⁻¹ de equivalente ácido (e.a.); Finale® para o glufosinato de amônio, na dose de 2 L ha⁻¹, contendo 400 g L⁻¹ de ingrediente ativo (i.a.); e Gramoxone® para o paraquat, na dose de 2 L ha⁻¹, contendo 200 g L⁻¹ de i.a. O produto comercial foi diluído em água deionizada e aplicado com pulverizador costal pressurizado por CO₂, acoplado a uma ponta única do tipo jato plano (XR 80.02), calibrada para volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

A solução nutritiva foi substituída aos 0, 1, 2, 4, 6, 8 e 11 DAA. As soluções retiradas foram filtradas a vácuo em papel faixa azul, previamente lavado com ácido sulfúrico 0,5 N para remoção de quantidades traço de N. As raízes retidas nos filtros foram retiradas, secadas em estufa a 50°C e pesadas para obtenção da massa seca. Os filtrados foram acidificados e concentrados em estufa a 50°C até o volume de 20 mL, sendo armazenados a -5°C.

A colheita das plantas foi realizada quando os produtos completaram sua ação, o que ocorreu aos 4 DAA no tratamento com paraquat e 11 DAA nos tratamentos com glyphosate e glufosinato. A testemunha também foi colhida aos 11 DAA. Na colheita, as plantas foram separadas em parte aérea e raízes, secadas em estufa a 50°C até massa constante e pesadas para obtenção da massa seca. Posteriormente, o material vegetal foi triturado em moinho tipo Wiley. Para determinação do NH₄⁺, 0,1 g de material vegetal seco foi adicionado a potes plásticos (100 mL), contendo 10 mL de solução de KCl 1 N. A suspensão foi agitada por 5 minutos e o sobrenadante analisado por injeção em fluxo (FIA), segundo Reis et al. (1997).

A abundância de ¹⁵N e o N-total na solução nutritiva e no material vegetal foram determinados em espectrômetro de massas contendo analisador automático de N, modelo ANCA-SL, 20-20 da PDZ Europa, Kewee, UK (BARRIE; PROSSER, 1996).

Tabela 5.1 – Composição química da solução nutritiva utilizada no experimento. Piracicaba – SP, 2007

Concentração de nutrientes (mg L ⁻¹)														
N	K	Ca	P	S	Mg	Cl	B	Mn	Zn	Cu	Mo	Fe	Ni	Si
224	235	160	62	32	24	1,77	0,27	0,11	0,13	0,03	0,05	1,12	0,03	28

O conteúdo de N da planta proveniente da solução nutritiva foi calculado pela equação:

$$NPPS = \frac{a - c}{b - c} \cdot N_{total}$$

Em que:

$NPPS$ = Nitrogênio na planta proveniente do N-sulfato de amônio (^{15}N), (mg pote⁻¹);

a = Abundância de ^{15}N (% em átomos) na planta;

b = Abundância de ^{15}N -sulfato de amônio (2% em átomos de ^{15}N);

c = Abundância natural de ^{15}N (0,367% em átomos de ^{15}N);

N_{total} = Conteúdo de nitrogênio na planta (mg pote⁻¹).

O N exsudado pelas raízes foi calculado pela seguinte equação:

$$NSPP = \frac{d - c}{e - c} \cdot N_{total}$$

Em que:

$NSPP$ = Nitrogênio na solução proveniente da planta (^{15}N), (mg pote⁻¹);

a = Abundância de ^{15}N (% em átomos) na solução;

b = Abundância de ^{15}N na planta (% em átomos de ^{15}N);

c = Abundância natural de ^{15}N (0,366% em átomos de ^{15}N);

N_{total} = Conteúdo de nitrogênio na solução (mg pote⁻¹).

O conteúdo de NH_4^+ no tecido vegetal foi calculado por:

$$\text{NH}_4^+ = \frac{\text{NH}_4^+ (\text{ppm})}{10} \cdot MS$$

Em que:

NH_4^+ = NH_4^+ no tecido vegetal (mg pote⁻¹)

$\text{NH}_4^+ (\text{ppm})$ = concentração de amônio na amostra (mg L⁻¹)

MS = massa seca (g pote⁻¹)

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância e, quando o teste F foi significativo, procedeu-se a comparação de médias de tratamentos qualitativos pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$) ou teste t ($\alpha=0,05$). Para ajuste das datas de avaliação foram utilizadas regressões.

5.3 Resultados e Discussão

A exsudação acumulada de compostos nitrogenados nos tratamentos com glyphosate e glufosinato diferiu da testemunha a partir dos 8 DAA, como observado pela diferença mínima significativa (DMS) do teste de “t”(Figuras 5.1 e 5.2). Resultados semelhantes foram obtidos por Kremer; Means e Kim (2005), que observaram aumento da exsudação de açúcares e aminoácidos após aplicação de glyphosate em soja convencional e geneticamente modificada para tolerância ao herbicida. Liu; Punja e Rahe (1997), também observaram aumento da exsudação de aminoácidos após aplicação do herbicida glyphosate em feijão. Estes autores encontraram ácido aspártico, ácido glutâmico, serina, glicina, ácido aminobutírico, valina, isoleucina, leucina, tirosina, fenilalanina e prolina nos exsudados de raízes; e observaram que as concentrações de valina, isoleucina e glicina foram maiores nas plantas dessecadas com o produto.

O herbicida Paraquat também aumentou a exsudação acumulada, diferindo da testemunha a partir dos 2 DAA (Figura 5.3). O paraquat, ao contrário do glyphosate e do glufosinato de amônio, não tem sua ação relacionada ao metabolismo do N na planta. Como todos os herbicidas aumentaram a exsudação de compostos nitrogenados, este processo possivelmente não está relacionado, de forma exclusiva, ao mecanismo de ação do produto. Eventos fisiológicos característicos da senescência poderiam justificar os resultados obtidos neste trabalho. No entanto, Kremer; Means e Kim (2005) observaram que a exsudação de açúcares e aminoácidos foi maior em soja geneticamente modificada para tolerância ao herbicida glyphosate do que em soja convencional. Neste caso, o aumento da exsudação não esteve relacionado ao desenvolvimento de senescência após a aplicação do herbicida.

O destacamento radicular foi maior nos tratamentos herbicidas comparativamente à testemunha. O tratamento com glyphosate diferiu da testemunha somente aos 11 DAA (Figura 5.4), o Glufosinato a partir dos 8 DAA (Figura 5.5) e o Paraquat aos 4 DAA (Figura 5.6). Resultados semelhantes foram obtidos por Liu; Punja e Rahe (1997), que observaram redução da MS de plântulas de feijão aos 5 DAA do herbicida glyphosate. O maior destacamento de raízes

após a aplicação de herbicidas pode ser atribuído à senescência da planta. Embora o destacamento radicular tenha aumentado, as perdas foram da ordem de miligramas e, portanto, insuficientes para explicar a redução de MS do sistema radicular, observada após aplicação dos herbicidas em experimentos anteriores (item 3.4.1, Capítulo 3). No entanto, no solo, a magnitude das perdas por este processo pode ser maior, devido ao atrito das partículas com as raízes, favorecendo seu desprendimento.

A MS da parte aérea e da planta inteira foi maior na testemunha do que nos tratamentos com glyphosate e glufosinato. Todos os herbicidas reduziram a MS de raízes, sendo a redução mais acentuada no tratamento com glufosinato do que naqueles com glyphosate e paraquat. Na testemunha, as plantas permaneceram metabolicamente ativas por maior período de tempo do que nos tratamentos herbicidas, o que pode justificar os resultados de MS obtidos (Tabela 5.2).

Figura 5.1 – Exsudação de N acumulada no tempo após aplicação do herbicida glyphosate em plantas de *Brachiaria decumbens*. **DMS_{eixo y} = 6,7**. DAA = dias após aplicação do herbicida. **Teste de F das equações significativos ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2007

Figura 5.2 – Exsudação de N acumulada no tempo após aplicação do herbicida glufosinato de amônio em plantas de *Brachiaria decumbens*. $DMS_{eixo\ y} = 6,2$. DAA = dias após aplicação do herbicida. **Teste de F das equações significativos ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2007

Figura 5.3 – Exsudação de N acumulada no tempo após aplicação do herbicida paraquat em plantas de *Brachiaria decumbens*. $DMS_{eixo\ y} = 3,7$. DAA = dias após aplicação do herbicida. **Teste de F das equações significativos ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2007

Figura 5.4 – Destacamento radicular acumulado (expresso em massa seca) após aplicação do herbicida glyphosate em plantas de *Brachiaria decumbens*. **DMS_{eixo y} = 9,6**. DAA = dias após aplicação do herbicida. **Teste de F das equações significativos ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2007

Figura 5.5 – Destacamento radicular acumulado (expresso em massa seca) após aplicação do herbicida glufosinato em plantas de *Brachiaria decumbens*. **DMS_{eixo y} = 9,2**. DAA = dias após aplicação do herbicida. **Teste de F das equações significativos ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2007

Figura 5.6 – Destacamento radicular acumulado (expresso em massa seca) após aplicação do herbicida paraquat em plantas de *Brachiaria decumbens*. **DMS_{eixo y} = 7,2**. DAA = dias após aplicação do herbicida. ******Teste de F das equações significativos ao nível de 1% de significância. Piracicaba – SP, 2007

O acúmulo de NH_4^+ na parte aérea foi maior nos tratamentos com glyphosate e glufosinato comparativamente à testemunha. Houve maior acúmulo de NH_4^+ após aplicação do herbicida glufosinato em relação ao glyphosate, o que pode ser atribuído ao modo de ação dos herbicidas (Tabela 5.2). Enquanto o glufosinato atua na principal rota de assimilação de amônio em compostos orgânicos, o herbicida glyphosate, conforme discutido no Capítulo 2, afeta o conteúdo de NH_4^+ da planta devido à sua ação secundária sobre a síntese de compostos fenólicos. Como era esperado, o herbicida paraquat não afetou o conteúdo de NH_4^+ na parte aérea, uma vez que seu mecanismo de ação não está relacionado ao metabolismo do N na planta.

Nas raízes, o NH_4^+ foi maior no tratamento com paraquat e na testemunha do que nos demais tratamentos (Tabela 5.2). Como houve aumento da exsudação radicular após aplicação dos herbicidas é possível que parte do N tenha sido exsudado na forma de NH_4^+ , reduzindo o conteúdo do íon nas raízes. De fato, o NH_4^+ , juntamente com os aminoácidos serina e glicina, é um dos principais compostos de N exsudados pelas raízes (BROPHY; HEICHEL, 1989; OFUSO-BUDU; FUJITA; OGATA, 1990; PAYNEL; MURRAY; CLIQUET, 2001). Na planta inteira, o conteúdo de NH_4^+ foi maior no tratamento com glufosinato do que nos demais (Tabela 5.2). Resultados semelhantes foram encontrados por Manderscheid et al. (2005), que observaram

aumento do conteúdo de amônio na planta após a aplicação do herbicida glufosinato de amônio em cinco espécies de plantas daninhas.

O N na parte aérea proveniente da solução nutritiva enriquecida em ^{15}N (*NPPS*) foi reduzido pela aplicação do herbicida glufosinato (Tabela 5.3). Nas raízes, na planta inteira e no sistema planta-solução, o *NPPS* da testemunha foi superior ao dos tratamentos com glyphosate e glufosinato. Como o *NPPS* das raízes foi calculado pela soma do *NPPS* de raízes colhidas e destacadas, a redução de *NPPS* nas raízes não está relacionada ao destacamento radicular (Tabela 5.3). A menor recuperação do nitrogênio proveniente da fonte marcada, após aplicação de glyphosate e glufosinato de amônio em plantas do gênero *Brachiaria*, também foi observada no Capítulo 3 e em Damin et al. (2008).

Tabela 5.2 – Massa seca e NH_4^+ na parte aérea, raízes e planta inteira de *Brachiaria decumbens* após aplicação de herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamento	Parte aérea	Raízes	Planta inteira
Massa seca (g pote⁻¹)			
Testemunha	59,6 a	6,5 a	66,1 a
Glyphosate	43,6 b	3,5 bc	47,1 b
Glufosinato	39,6 b	3,2 c	42,8 b
Paraquat	46,4 ab	4,7 b	51,1 ab
<i>P</i>	*	**	**
DMS (5%)	15,4	1,3	16,3
CV (%)	17,4	15,7	16,7
NH_4^+ (mg pote⁻¹)			
Testemunha	19,9 c	39,1 a	59,0 b
Glyphosate	86,6 b	9,6 b	96,2 b
Glufosinato	162,6 a	23,7 ab	186,4 a
Paraquat	22,8 c	38,5 a	61,4 b
<i>P</i>	**	**	**
DMS (5%)	48,2	20,6	52,0
CV (%)	36,4	41,0	28,5

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

**Teste F significativo a 1%, *Teste F significativo a 5%.

Os resultados de recuperação do N proveniente da fonte marcada no sistema planta-solução evidenciam que a perda via foliar é o principal mecanismo de saída do N do sistema após aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato, visto que, nas condições em que este experimento foi desenvolvido, as perdas de N por desnitrificação devem ser mínimas. A desnitrificação é um processo de respiração anaeróbica, no qual o NO_3^- é utilizado como aceptor de elétrons. Portanto, para que este processo ocorra é necessário o fornecimento de fontes de carbono prontamente disponível, a presença de NO_3^- e condições anaeróbicas. Como o N enriquecido foi fornecido na forma de NH_4^+ (sulfato de amônio), os exsudados contendo ^{15}N devem ser compostos orgânicos ou NH_4^+ . Assim, seria necessário que o N exsudado fosse convertido a NO_3^- , processo que ocorre em meio aeróbico, e posteriormente reduzido a N_2 e N_2O em meio anaeróbico; sendo que o intervalo de tempo entre a exsudação do composto e sua saída na forma de N_2 e N_2O não poderia ser superior a 48 horas.

O N exsudado não diferiu entre os tratamentos herbicidas, variando de 1,9% do N da planta no tratamento com paraquat a 3,0% no tratamento com glufosinato (Tabela 5.3). O destacamento radicular, por sua vez, representou 0,09% do N da planta ($0,5 \text{ mg pote}^{-1}$) no tratamento com glyphosate; 0,1% ($0,6 \text{ mg pote}^{-1}$) naquele com glufosinato; 0,05% ($0,2 \text{ mg pote}^{-1}$) para o Paraquat; e 0,04% ($0,2 \text{ mg pote}^{-1}$) na testemunha. Estes resultados evidenciam que a exsudação é o principal processo que contribui para o enriquecimento do solo em ^{15}N , observado no Capítulo 3 e em Damin et al. (2008), após aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio. Cabe ressaltar que as perdas por exsudação e destacamento radicular somadas representaram menos de 4% do *NPPS* da planta inteira e, portanto, não devem afetar de forma relevante o conteúdo de N da mesma.

A exsudação de compostos nitrogenados, no entanto, pode modificar a composição e atividade da comunidade microbiana do solo, devido ao fornecimento de fontes de carbono altamente solúveis e prontamente disponíveis. No solo, existe grande diversidade de microrganismos, os quais, de acordo com o tipo de nutrição, podem ser agrupados em fotolitotróficos, fotorganotróficos, quimiolitotróficos e quimiorganotróficos. Os microrganismos fototróficos (fotolitotróficos e fotorganotróficos) são raros, sendo os quimiotróficos muito abundantes no solo. Todos os fungos são quimiorganotróficos, ou seja, utilizam moléculas orgânicas como fonte de carbono e energia, enquanto as bactérias e actinomicetos podem ser de grupos variados. Processos como a nitrificação e a fixação biológica de N são mediados,

principalmente, por organismos quimiolitotróficos, que utilizam o CO₂ como fonte de carbono e obtém energia da oxidação de compostos inorgânicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Devido ao tipo de nutrição, o fornecimento de fontes de carbono orgânico facilmente decomponíveis, ocasionado pela exsudação, oferece vantagem competitiva aos microrganismos quimiorganotróficos, modificando a proporção das populações de microrganismos na comunidade microbiana do solo. Além disso, os quimiorganotróficos podem ser favorecidos pela utilização de herbicidas como o glyphosate e o glufosinato, que atuam em rotas metabólicas presentes somente em organismos litotróficos (fotolitotróficos e quimiolitotróficos).

Dentre os microrganismos quimiorganotróficos de relevância para a agricultura estão os decompositores de resíduos orgânicos e a maioria dos patógenos de plantas. Kremer; Means e Kim (2005) observaram aumento da biomassa de fungos do gênero *Fusarium* sp. após aplicação de glyphosate em soja. Liu; Punja e Rahe (1997) observaram aumento do número de colônias e maior desenvolvimento de fungos do gênero *Pytium* sp. após adição ao meio de cultivo de glyphosate ou exsudados de raízes de feijão dessecado com o herbicida. Como o glyphosate também pode ser exsudado pelas raízes (KREMER; MEANS; KIM, 2005; TUFFI SANTOS et al., 2008), é possível que o aumento da população de microrganismos patogênicos após aplicação do herbicida esteja relacionado tanto à exsudação de compostos nitrogenados quanto à presença do herbicida.

Tabela 5.3 – Nitrogênio proveniente da solução nutritiva enriquecida em ¹⁵N na parte aérea, raízes e planta inteira de *Brachiaria decumbens* e nitrogênio exsudado pelas raízes proveniente da planta após aplicação de herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamento	Parte aérea	Raízes	Planta inteira	Exsudados de raiz	Planta – solução ¹
	mg vaso ⁻¹				
Testemunha	466,9 a	54,0 a	520,8 a	4,5	676,3 a
Glyphosate	413,1 ab	33,5 bc	446,6 b	15,2	598,8 b
Glufosinato	338,7 b	31,9 c	370,6 b	15,8	523,3 b
Paraquat	474,3 a	46,5 ab	520,7 a	9,8	667,7 a
<i>P</i>	**	**	**	-	**
DMS (5%)	84,2	13,1	71,3	-	74,3
CV (%)	10,6	16,8	9,7	-	7,2

¹Valores referentes ao recuperado na planta, nos exsudados de raízes e nas soluções retirada antes da aplicação dos herbicidas. Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). **Teste F significativo a 1%.

Além desses processos, a maior colonização de raízes por microrganismos patogênicos pode estar relacionada aos efeitos do herbicida no sistema de defesa da planta. Liu; Punja e Rahe (1997) observaram, também, que plântulas de feijão crescendo em meio com *Pythium* sp. apresentaram maior conteúdo de lignina quando não foi adicionado glyphosate ao meio. Estudos em meios estéreis têm demonstrado que o aumento da incidência de *Pythium* e *Fusarium* sp. está relacionado à eficácia do herbicida glyphosate (JOHAL; RAHE, 1984; LEVESQUE; RAHE, 1992; LEVESQUE; RAHE; EAVES, 1992; LEVESQUE; RAHE; EAVES, 1993; DESCALZO et al., 1996).

É possível que outros microrganismos quimiorganotróficos, como os desnitrificantes, sejam favorecidos pela utilização de glyphosate e glufosinato, visto que a maior exsudação resulta em aumento na disponibilidade de C e N no solo e estas moléculas, ao contrário do herbicida paraquat, não afetam a microbiota quimiorganotrófica do solo. Neste sentido novas pesquisas devem ser desenvolvidas a fim de avaliar como o aumento das taxas de exsudação de compostos nitrogenados, decorrente da aplicação de herbicidas, interfere nos microrganismos da rizosfera e nos processos relacionados a ela.

5.4 Conclusão

A exsudação de compostos nitrogenados e o destacamento radicular foram aumentados pela dessecação de *Brachiaria decumbens* com os herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat.

Referências

- BARRIE, A.; PROSSER, S.J.; Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMSAHI, S. (Ed.) **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.
- BROPHY, L.S.; HEICHEL, G.H. Nitrogen release from roots of alfafa and soybean grown in sand culture. **Plant and soil**, Dordrecht, v.116, n.1, p.77-84, 1989.
- DAKORA, F.D.; PHILLIPS, D.A. Roots exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.245, n.1, p.35-47, 2002.

- DAMIN, V.; FRANCO, H.C.J.; MORAES, M.F.; FRANCO, A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen loss in *Brachiaria decumbens* after application of glyphosate or glufosinate-ammonium. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.402-407, 2008.
- DESCALZO, R.D.; PUNJA, Z.K.; LEVESQUE, C.A.; RAHE J.E. Identification and role of *Pythium* species as glyphosate synergists on bean (*Phaseolus vulgaris* L. Topcrop) grown in different soils. **Mycological Research**, Cambridge, v.100, n.8, p.971-978, 1996.
- DEUBEL, A.; GRANSEE, A.; MERBACH, W. Transformation of organic rhizodepositions by rhizosphere bacteria and its influence on the availability of tertiary calcium phosphate. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.163, n.4, p.387-392, 2000.
- EPSTEIN, E.; BLOOM A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkeley: University of California, 1950. 32p.
- HOLLAND, J.N.; CHENG, W.; CROSSLEY, D.A. J. Herbivore induced changes in plant carbon allocation assessment of below-ground C fluxes using carbon-14. **Oecologia**, Berlin, v.107, n.1, p.87-94, 1996.
- JOHAL, G.S.; RAHE J.E. Effect of soilborne plant-pathogenic fungi on the herbicidal action of glyphosate on bean seedlings. **Phytopathology**, Lancaster, v.74, n.7, p. 950-955, 1984.
- KLEIN, D.A.; FREDERICK, B.A.; BIONDINI, M.J.T. Rhizosphere microorganisms effects on soluble amino acids, sugars and organic acids in the root zone of *Agropyron cristatum*, *A. smithii* and *Bouteloua gracilis*. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.110, n.1, p.19-25, 1988.
- KRAFFCZYK, I.; TROLLDENIER, G.; BERINGER, H. Soluble root exudates of maize (*Zea mays* L.): influence of potassium supply and rhizosphere microorganisms. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.16, n.4, p.315-322, 1984.
- KREMER, R.J.; MEANS, N.E.; KIM, S. Glyphosate affects soybean root exudation and rhizosphere microorganisms. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, Oxfordshire, v. 85, n.15, p. 1165-1174, 2005.
- LEVESQUE, C.A.; RAHE, J.E. Herbicide interactions with fungal root pathogens, with special reference to glyphosate. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.30, n.1, p.579-602, 1992.
- LEVESQUE, C.A.; RAHE, J.E.; EAVES, D.M. Fungal colonization of glyphosate-treated seedlings using a new root plating technique. **Mycological Research**, Cambridge, v.97, n.3, p.299-306, 1993.
- LEVESQUE, C.A.; RAHE, J.E.; EAVES, D.M. The effect of soil heat treatment and microflora on the efficacy of glyphosate in seedlings. **Weed Research**, Oxford, v. 32, n.5, p.363-373, 1992.

LIU, L.; PUNJA, Z. K.; RAHE, J. E. Altered root exudation and suppression of induced lignification as mechanisms of predisposition by glyphosate of bean roots (*Phaseolus vulgaris* L.) to colonization by *Pythium* spp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.51, n.2, p. 111-127, 1997.

MANDERSCHIED, R.; SCHAAF, S.; MATTSSON, M.; SCHJOERRING, J.K. Glufosinato treatment of weeds results in ammonia emission by plants. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.109, n.1/2, p. 129-140, 2005.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd .ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MERBACH, W.; SCHLZE, J.; RICHERT, M.; RROCCO, E.; MENGEL, K. A comparison of different ¹⁵N application techniques to study the net rhizodeposition in the plant-soil system. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.163, n.3, p.375-379, 2003.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

NGUYEN, C. Rhizodeposition of organic C by plant, mechanisms and controls. **Agronomie**, Paris, v.23, n.5/6, p.375-396, 2003.

OFUSO-BUDU, K.G.; FUJITA, K.; OGATA, S. Excretion ureide and other nitrogenous compounds by the root system of soybean at different growth stages. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.128, n.2, p.135-142, 1990.

PATERSON, E. Importance of rhizodeposition in the coupling of plant and microbial productivity. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.54, n.4, p.741-750, 2003.

PAYNEL, F.; MURRAY, P.J.; CLIQUET, J.B. Root exudates, a pathway for short-term transfer from clover and ryegrass. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.229, n.2, p.235-243, 2001.

REIS, B.F.; VIEIRA, J.A.; KRUG, F.J.; GINÉ, M.F. Development of a flow injections system two analytical paths for ammonium determination in soil extracts by conductometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v.8, n.5, p.523-528, 1997.

SCHJOERRING, J. K.; HUSTED, S.; MATTSSON, M. Physiological parameters controlling plant-atmospheric ammonia exchange. **Atmospheric Environmental**, Amsterdam, v.32, n.3, p.491-498, 1998.

TUFFI SANTOS, L.D.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, F.A.; OLIVEIRA, J.A.; BENTIVENHA, S.; MACHADO, A.F.L. Exsudação radicular de glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto. **Planta Daninha**, Viçosa , v.26, n.2, p.369-374, 2008.

6 MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DA PALHA DE AVEIA PRETA DESSECADA COM HERBICIDAS E APROVEITAMENTO PELO MILHO

Resumo

Objetivou-se com este trabalho avaliar a mineralização do nitrogênio (N) proveniente da palha de aveia preta dessecada ou não com herbicidas e o aproveitamento do N mineralizado por plantas de milho. O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e dez repetições. Os tratamentos foram: (A) Testemunha – milho cultivado sobre palha de aveia sem aplicação de herbicidas; (B) Glyphosate – milho cultivado sobre palha de aveia dessecada com o herbicida glyphosate; e (C) Glufosinato – milho cultivado sobre palha de aveia dessecada com o herbicida glufosinato de amônio. A massa seca da palha de aveia preta remanescente sobre o solo foi menor na testemunha em relação aos tratamentos Glyphosate e Glufosinato. Na testemunha, a palha de aveia preta liberou 30 e 20% mais carbono e nitrogênio, respectivamente, do que nos tratamentos com herbicidas. O carbono da biomassa microbiana, o N-total e o N-mineral no solo provenientes da palha de aveia preta foram reduzidos pela utilização dos herbicidas. A dessecação da aveia preta com glyphosate reduziu o N-total do milho em 16%, porém a massa seca da cultura não diferiu entre os tratamentos. O conteúdo de N proveniente da palha nos grãos, folha e planta inteira de milho foram reduzidos pela dessecação da aveia preta com herbicidas. A mineralização líquida do N da palha de aveia preta é afetada pela dessecação da cultura com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio.

Palavras-chave: Decomposição; *Avena strigosa*; Glyphosate; Glufosinato de amônio

Nitrogen mineralization from straw of herbicide-desiccated black oat straw and corn usefulness

Abstract

This work was developed with the objective of evaluating nitrogen (N) mineralization from black oat straw, with or without herbicide desiccation, and corn usefulness of the mineral nitrogen. Trial was carried out in completely randomized design, with three treatments and ten replicates. Treatments were: (A) Check – corn grown on black oat straw without herbicide application; (B) Glyphosate – corn grown on glyphosate-desiccated black oat straw; and (C) Glufosinate – corn grown on ammonium-glufosinate-desiccated black oat straw. On the soil surface, the remaining black oat straw was smaller in the check than at Glyphosate and Glufosinate treatments. In the check, black oat straw released 30 and 20% more carbon and nitrogen, respectively, than herbicide treatments. Microbial biomass carbon, total and mineral soil N, proceeded of black oat straw, were reduced by herbicide adoption. Black oat desiccation with glyphosate reduced 16% of corN-total-N, however crop dry mass was not different among the treatments. Desiccation of black oat straw with herbicides reduced total amount of straw-released nitrogen in corn kernels, leaves and at the whole plant. Net nitrogen mineralization from black oat straw is affected by glyphosate and ammonium-glufosinate crop desiccation.

Keywords: Decomposition; *Avena strigosa*; Glyphosate; Amonnium-glufosinate

6.1 Introdução

A disponibilidade de nitrogênio (N) às plantas, em áreas agrícolas, é influenciada pelo sistema de cultivo adotado. No solo, cerca de 95% do N está na forma orgânica e o sistema de cultivo afeta as taxas de mineralização do N de resíduos culturais e da matéria orgânica edáfica do solo. Sistemas conservacionistas, como o sistema de semeadura direta (“plantio direto”), aumentam o aporte de matéria orgânica (M.O.) no solo, devido à utilização de cultura de cobertura, e reduzem as taxas de mineralização devido ao não revolvimento do solo. Estas mudanças modificam a ciclagem de nitrogênio nos agroecossistemas e, como consequência, a disponibilidade do nutriente às plantas e microrganismos.

O manejo da cultura de cobertura com herbicidas é um fator que não tem sido considerado mas que pode modificar as taxas de decomposição de resíduos vegetais. Argenta et al. (2001) observaram aumento da relação C:N na parte aérea de aveia preta 16 dias após a aplicação dos herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat. Em *Brachiaria decumbens*, Damin et al. (2008) observaram redução de até 40% do N da planta, proveniente do fertilizante, após a aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio. A redução do N pode aumentar a relação C:N da palhada e, como consequência, reduzir sua taxa de mineralização. É amplamente aceito que resíduos culturais com relação C:N superior a 30 têm decomposição lenta no solo e favorecem a imobilização em detrimento da mineralização, enquanto resíduos com relação C:N inferior a 30 são rapidamente decompostos, favorecendo a mineralização e, consequentemente, aumentando a biodisponibilidade de N (TRINSOUTROT et al., 2000; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Alem de reduzir o N da palha, os herbicidas podem alterar as taxas de decomposição de resíduos vegetais devido ao destacamento de folhas e raízes durante a senescência. Assim, os herbicidas podem ter efeito físico favorável à mineralização da palhada (SNAPP; BORDEN, 2005). Além disso, estas moléculas podem alterar a comunidade microbiana do solo e ocasionar tanto aumento como diminuição da mineralização, dependendo dos microrganismos afetados.

A espécie utilizada como cultura de cobertura, no sistema de plantio direto, também deve ser considerada para predição da mineralização e da biodisponibilidade do N da palhada. No Brasil, a aveia preta (*Avena strigosa*) é a espécie mais utilizada como cultura de cobertura na Região Sul do país, devido à elevada produção de massa seca da espécie (SÁ, 1996), cobertura adequada do solo (DA ROS; AITA, 1996), sistema radicular bem desenvolvido e eficiência na

ciclagem de N (REEVES, 1994). No entanto, pode ocorrer redução na absorção de N (TEIXEIRA; TESTA; MIELNICZUK, 1994) e no rendimento de grãos do milho (SÁ, 1996), quando semeado em sucessão à aveia preta, possivelmente, devido a elevada relação C:N da palha. Nessa situação, a adubação nitrogenada pode ser empregada com intuito de reduzir a relação C:N do resíduo, garantindo adequado fornecimento de N à cultura principal (SANTI; AMADO; ACOSTA, 2003).

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho: 1- avaliar a mineralização do N proveniente da palha de aveia preta dessecada com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio; e 2 – avaliar a absorção do N, proveniente da palha tratada com estes herbicidas por plantas de milho.

6.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido no Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA/USP, Piracicaba - SP, Brasil (22° 42' 30" latitude sul, 47° 38' 00" longitude oeste e 546 m de altitude), no período compreendido entre março e julho de 2007. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos e 10 repetições. Os tratamentos foram: (A) Testemunha – milho cultivado em solo com palha de aveia preta colhida sem aplicação de herbicida; (B) Glyphosate – milho cultivado em solo com palha de aveia preta dessecada com o herbicida glyphosate; e (C) Glufosinato – milho cultivado em solo com palha de aveia preta dessecada com o herbicida glufosinato de amônio.

Cada unidade experimental constou de um pote (7 L) sem orifícios na base, preenchido com 7 kg de terra fina seca ao ar (TFSA), retirada da camada de 0,0-0,2 m de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (EMBRAPA, 1999). A caracterização química (RAIJ et al., 2001) e a composição granulométrica do solo encontram-se na Tabela 6.1. A acidez e a fertilidade do solo foram corrigidas antes da semeadura do milho (*Zea mays*). A quantidade aplicada de calcário, determinada pelo método da Saturação por Bases, correspondeu a 3,5 g pote⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 100%). O corretivo foi aplicado com 100 mg kg⁻¹ de P na forma de superfosfato simples (8,7 g pote⁻¹), procedendo-se a mistura dos insumos à terra dos potes. Posteriormente, foram aplicados 100 mL pote⁻¹ de solução contendo 1400 mg de K (cloreto

de potássio, puro para análise - p.a.), 0,24 mg de Zn (sulfato de zinco p.a.), 0,12 mg de B (ácido bórico p.a.) e 0,16 mg de Cu (sulfato de cobre p.a.).

Após as correções de acidez e fertilidade do solo, a capacidade máxima de retenção de água do solo foi elevada a 70%, pela adição de 500 mL pote⁻¹ de água destilada, e os potes permaneceram lacrados e em período de incubação por 15 dias. Em 09/03/2007, três sementes de milho (*Zea mays*, híbrido simples Pioneer 30F80) foram enterradas em cada pote, a 10 mm de profundidade. Na mesma data, a palha de aveia preta (*Avena strigosa*) foi adicionada ao solo, em dose equivalente a 7 Mg ha⁻¹ de massa seca. A palha foi obtida em experimento anterior, descrito no item 3.2.2 do Capítulo 3, e sua caracterização química é apresentada na Tabela 6.2. O cálculo da quantidade de palha adicionada em cada pote considerou a densidade do solo de 1,2 g cm⁻³ e a profundidade de 0,2 m, o que resultou em taxa de aplicação de 21 g pote⁻¹ de palha de aveia, sendo 13 g de parte aérea e 8 g de raiz. Todo o material vegetal foi cortado em pedaços de, aproximadamente, 30 mm. As raízes foram incorporadas ao solo (previamente à semeadura do milho) e a parte aérea da aveia preta depositada na superfície.

Tabela 6.1 – Caracterização química e composição granulométrica do solo NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (NQ). Piracicaba – SP, 2007

Solo	Caracterização química dos solos											
	pH	M.O.	P	S	K	Ca	Mg	Al	H +Al	T	V	m
	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mmol _c dm ³				%				
NQ	4,1	4	1	7	0,3	5	2	8	25	32	21,8	25
	Composição granulométrica dos solos											
	Argila		Silte		Areia total		Areia grossa		Areia fina		classe textural	
	g kg ⁻¹											
NQ	122		8		870		630		240		arenosa	

M.O.= matéria orgânica; T = capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio

Tabela 6.2 – Carbono (C), nitrogênio (N) e relação C:N da palha de *Avena strigosa* utilizada no experimento. Piracicaba – SP, 2007

Tipo de palha	Parte aérea			Raízes	Planta inteira	
	C	N	C:N	N	N	¹⁵ N
	g pote ⁻¹	mg pote ⁻¹		mg pote ⁻¹	mg pote ⁻¹	%
Sem herbicida	5,2	385,2	13,3	85,5	470,9	5,2
Glyphosate	4,8	331,4	14,6	98,5	424,6	5,3
Glufosinato	5,0	318,5	15,9	122,23	442,9	5,3

Após a germinação e desenvolvimento das plântulas, em 26/03/2007 (17 dias após a semeadura - DAS) realizou-se desbaste do milho, mantendo-se duas plantas por pote. Na mesma data, o fertilizante sulfato de amônio foi aplicado na dose de 1600 mg pote⁻¹, na forma de solução. Em 10/04/2007, 32 DAS, outro desbaste foi realizado, mantendo-se uma planta por pote. As plantas retiradas foram secas em estufa a 65°C até massa constante, para determinação da massa seca, e reservadas para análise de N-total e ¹⁵N. Os potes foram irrigados e pesados diariamente em balança eletrônica, para manutenção da capacidade máxima de retenção de água do solo a 60%.

A colheita foi realizada em 19/07/2007, 101 DAS, quando a cultura completou seu ciclo. A parte aérea das plantas de milho foi cortada rente à superfície do solo e separada em folha, colmo, inflorescência, grãos, palha da espiga e sabugo com estruturas reprodutivas femininas (complexo estilo-estigma). A palhada de aveia preta remanescente sobre o solo foi coletada e as raízes foram separadas do solo por peneiramento em malha de 2 mm. A palhada e as raízes foram lavadas e todo material vegetal foi secado em estufa a 65°C, até massa constante, para determinação da massa seca.

A massa de solo úmido foi pesada e quatro sub-amostras retiradas para determinação: (1) da umidade, em estufa a 105°C por 48 horas; (2) do N-total e ¹⁵N proveniente da palha; (3) do carbono da biomassa microbiana (C-BM); e (4) do N-mineral e N-total do solo. Para determinação do C-BM, as amostras de terra foram armazenadas em câmara fria (5°C) por 48 horas. O C-BM foi determinado pelo método da fumigação-extração, descrito por Vance; Brookes e Jenkinson (1987). Para determinação do N-mineral, 30 g de terra (amostra úmida conservada à -10°C) receberam 60 mL de KCl 2 mol L⁻¹. A suspensão foi agitada e filtrada,

procedendo-se a destilação dos extratos com MgO e liga de Devarda para obtenção do N-mineral do solo, segundo Bremner e Keeney (1966). As análises de ^{15}N -mineral nos destilados foram realizadas por espectrometria de massas segundo Trivelin; Salati e Matsui (1973).

O material vegetal seco foi triturado em moinho tipo Wiley e o solo (TFSA) passado em moinho de Bola. Os conteúdos de ^{15}N , N-total e C das amostras foram quantificados em espectrômetro de massas, contendo analisador automático de N e C, modelo ANCA-SL, 20-20 da PDZ Europa, Krefe, UK (BARRIE; PROSSER, 1996).

A recuperação do nitrogênio na planta e no solo proveniente do resíduo vegetal foi calculada pela expressão:

$$N_{ppfm} = \frac{a - c}{b - c} \cdot N_{total}$$

Em que:

N_{ppfm} = Nitrogênio na planta ou solo proveniente da fonte marcada (mg pote^{-1});

a = Abundância de ^{15}N (% em átomos) na planta ou solo;

b = Abundância de ^{15}N -resíduo vegetal (% em átomos de ^{15}N);

c = Abundância natural de ^{15}N (0,366% em átomos de ^{15}N);

N_{total} = Conteúdo de nitrogênio na planta ou no solo (mg pote^{-1}).

A recuperação percentual do N do resíduo vegetal foi calculada pela expressão:

$$\%R = \frac{N_{ppfm}}{D} \cdot 100$$

Em que:

$\%R$ = Porcentagem de nitrogênio na planta e/ou no solo proveniente do N-resíduo vegetal;

D = Dose de N adicionada ao sistema pela palhada (mg pote^{-1}).

A mineralização líquida (ML) foi obtida pela seguinte expressão:

$$ML = \left(\frac{A}{B} \cdot C \right) + \left(\frac{D}{B} \cdot E \right)$$

Em que:

ML = Mineralização líquida (mg pote⁻¹);

A = Abundância de ¹⁵N na cultura (% de átomos em excesso);

B = Abundância de ¹⁵N no resíduo vegetal utilizado (% de átomos em excesso);

C = Conteúdo de N-total no milho (mg pote⁻¹);

D = Abundância de ¹⁵N no N-mineral do solo (% de ¹⁵N em átomos excesso);

E = Conteúdo de N-mineral no solo (mg pote⁻¹).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância e, quando o teste F foi significativo, procedeu-se a comparação das médias de tratamentos pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

6.3 Resultados e Discussão

O N-total do solo foi menor no tratamento Glufosinato em relação à Testemunha (Tabela 6.3), porém o N-mineral não diferiu entre os tratamentos. Na testemunha, o N-total e o N-mineral no solo proveniente da palha de aveia preta (*Nppfm*) foram maiores do que nos tratamentos Glyphosate e Glufosinato. O carbono da biomassa microbiana (C-BM) também foi reduzido pela utilização de palha de aveia dessecada com herbicidas comparativamente à Testemunha (Figura 6.1).

A massa seca (MS) da palha de aveia preta remanescente na superfície do solo foi maior nos tratamentos em relação à Testemunha (Tabela 6.4). Após 101 dias de residência no solo, 50% da MS foi reduzida na Testemunha, enquanto nos tratamentos Glyphosate e Glufosinato essa redução foi de 34 e 28%, respectivamente (Tabela 6.4). A palha da Testemunha perdeu, aproximadamente, 20% mais N e 30% mais C do que a palha dos tratamentos. Em todos os tratamentos a redução de N da palha foi mais acentuada que a de C e MS (Tabela 6.4), o que pode estar associado à mineralização diferenciada das frações orgânicas no resíduo vegetal.

Tabela 6.3 – N-total e N-mineral no solo e proveniente da palha de aveia de preta dessecada com herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	Total		Proveniente da palha	
	N - mineral	N-total	N-mineral	N – total
	g pote ⁻¹	----- mg pote ⁻¹ -----		
Testemunha	62,4	1,8 a	2,8 a	102,4 a
Glyphosate	59,8	1,6 ab	2,1 b	75,2 b
Glufosinato	51,9	1,4 b	1,9 b	61,4 b
<i>P</i>	NS	*	**	**
DMS (5%)	11,3	0,3	0,6	17,1
C.V. (%)	16,6	17,2	24,4	18,3

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

*Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%; NS = Teste F não significativo.

Figura 6.1 – Carbono da biomassa microbiana no solo sob palha de aveia preta dessecada com herbicidas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). Piracicaba – SP, 2007

Tabela 6.4 – Massa seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N) e relação C:N da palha de aveia preta (parte aérea) dessecada com herbicidas, após 101 dias de residência no solo. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	MS	C	N	C:N	ΔMS	ΔC	ΔN
	g pote ⁻¹		mg pote ⁻¹		%		
Testemunha	6,5 b	2,6 b	117,2 b	22,6 b	49,9 a	49,4 a	69,6 a
Glyphosate	8,5 a	3,7 a	159,9 a	24,3 b	34,1 b	22,1 b	51,8 b
Glufosinato	9,3 a	3,8 a	160,2 a	28,6 a	28,3 b	23,2 b	49,7 b
P	**	**	**	*	**	**	**
DMS (5%)	1,5	0,5	27,7	3,4	11,3	11,3	8,2
C.V. (%)	15,5	13,6	16,2	12,4	25,6	30,3	12,3

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).
 *Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%. Δ = fração não recuperada / total adicionado

Na etapa inicial da mineralização de resíduos orgânicos, substâncias facilmente decomponíveis como os aminoácidos, ácidos orgânicos e açúcares são metabolizadas por uma grande diversidade de microrganismos. Posteriormente, são degradadas moléculas com maior complexidade estrutural, como a celulose e a hemicelulose. Substâncias recalcitrantes, como a lignina, são decompostas por um grupo bastante especializado de microrganismos (WOLF; WAGNER, 2005). Como as proteínas e aminoácidos têm conteúdo de N elevado, cerca de 18% do seu peso molecular (HAVLIN et al., 1999), a mineralização diferenciada das frações orgânicas do resíduo pode reduzir o N-total da palha e, como consequência, elevar a relação C:N do resíduo remanescente sobre o solo.

Durante o processo de decomposição de resíduos orgânicos ocorre, geralmente, redução da relação C:N. Isto porque a medida que o processo de mineralização avança o carbono é perdido para a atmosfera na forma de CO₂, enquanto o N mineralizado permanece no sistema. No entanto, após 101 dias de residência no solo, houve aumento da relação C:N da palha depositada sobre a superfície (Tabela 6.2). A baixa relação C:N inicial da palha de aveia preta (Tabela 6.2), associada à maior mineralização do N em relação ao C e à lixiviação do N mineralizado para o solo, devido à irrigação, podem ser as causas do aumento observado na relação C:N da palha.

No milho, o N-total e o N oriundo da palha de aveia preta (*Nppfm*) não diferiram entre os tratamentos até 32 dias após a semeadura - DAS (Tabela 6.5), o que pode ser atribuído à espécie

de cobertura utilizada. Heinzmann (1985) estudou a dinâmica de N após adubação verde com aveia preta e observou que a liberação de N ocorreu nos estádio de florescimento e enchimento de grãos em cultivos de soja, feijão e milho.

Tabela 6.5 – N-total e N proveniente da palha (*Nppfm*) na parte aérea do milho cultivado sob palha de aveia dessecada com herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	N-total	<i>Nppfm</i>	
	mg pote ⁻¹	mg pote ⁻¹	%
17 dias após a semeadura			
Testemunha	31,7(10)	8,4	1,8
Glyphosate	32,6 (8)	8,2	1,8
Glufosinato	37,2 (6)	8,8	2,0
<i>P</i>	NS	NS	NS
DMS (5%)	16,8	4,9	1,0
C.V. (%)	21,6	23,1	22,6
32 dias após a semeadura			
Testemunha	289,4 (9)	28,6	6,0
Glyphosate	224,5 (8)	22,3	5,1
Glufosinato	264,5 (9)	27,3	6,1
<i>P</i>	NS	NS	NS
DMS (5%)	143,8	16,5	3,8
C.V. (%)	22,0	25,1	25,8
101 dias após a semeadura			
Testemunha	924,2 a	140,9 a	27,4 a
Glyphosate	764,5 b	100,8 b	21,8 b
Glufosinato	844,3 ab	91,1 b	18,8 c
<i>P</i>	*	**	**
DMS (5%)	152,3	14,6	2,8
C.V. (%)	15,3	11,2	10,6

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).

*Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%; NS = teste F não significativo. Valores entre parentes aos 17 e 32 DAS são referentes ao número de repetições de cada tratamento.

Ao final do ciclo da cultura (101 DAS), observou-se menor N-total nas folhas, palha da espiga e planta inteira de milho no tratamento Glyphosate em relação à Testemunha. Nas demais partes da planta, o N-total não diferiu entre os tratamentos (Tabela 6.6). O *Nppfm* nos grãos, folhas, palha da espiga, sabugo mais estruturas reprodutivas e planta inteira de milho foi menor nos tratamentos Glyphosate e Glufosinato em relação à Testemunha (Tabela 6.7). Na Testemunha, cerca de 32% do N da palha foi absorvido pelo milho, e esse N correspondeu a 16% do N-total da planta. No tratamento Glyphosate e Glufosinato, 26 e 23% do N da palha foram absorvidos pela cultura do milho, o que correspondeu a 14 e 12% do N da planta (Tabela 6.7). A pequena participação do N da palhada no N-total da planta evidencia que a redução do N-total do milho não esteve relacionada, somente, a menor absorção do N da palha. O menor conteúdo de N da palha de aveia preta dessecada com herbicidas possivelmente favoreceu o processo de imobilização, reduzindo a disponibilidade de N no solo. Embora o N-total da planta tenha sido reduzido, a produção de massa seca da planta e dos grãos de milho não foi afetada pela dessecação da aveia preta com herbicidas (Tabela 6.6).

A mineralização líquida (ML) do N da palhada de aveia preta dessecada com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio foi menor comparativamente à Testemunha (Tabela 6.8). Não houve diferença nas perdas do N proveniente da palha no sistema solo-planta (não recuperado, Tabela 6.8). A porcentagem de N proveniente da palha de aveia recuperada no sistema solo-planta não diferiu entre os tratamentos. A menor mineralização nos tratamentos com herbicidas pode estar associada ao efeito negativo destes produtos sobre a microbiota do solo, ou ao efeito dos herbicidas na composição química da palhada.

A mineralização de substâncias orgânicas é mediada, principalmente, por microrganismos quimiorganotróficos, os quais, como discutido no Capítulo anterior, não devem ser prejudicados pela aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio, visto que estes herbicidas atuam em rotas metabólicas características de organismos litotróficos. Acinelli et al. (2002) observaram que a aplicação das doses recomendadas dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio não interferiu na atividade e no carbono da biomassa microbiana dos solos. A aplicação de doses superiores às recomendadas resultou em maior atividade microbiana, o que pode estar relacionado à morte dos microrganismos litotróficos, garantindo vantagem competitiva aos heterotróficos. Resultados similares foram encontrados para o herbicida Glyphosate por Haney et al. (2000); Ratcliffe; Busse e Shestak (2006); e Zabaloy e Gómez (2008).

Tabela 6.6 – Produção de massa seca e N-total da parte aérea (folha, colmo, inflorescência, espiga) e de raízes de milho cultivado em palha de aveia preta dessecada com herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	Folha	Colmo	Inflorescência	Espiga			Raiz	Planta inteira
				Grão	Palha	SR ¹		
	Massa seca (g pote ⁻¹)							
Testemunha	20,2	27,3	1,9	33,4	7,9	8,5	12,8	112,1
Glyphosate	18,8	26,9	2,1	33,0	7,3	8,3	13,3	109,7
Glufosinato	19,3	27,2	1,7	33,2	7,8	9,0	13,4	111,5
<i>P</i>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
DMS (5%)	2,3	4,8	0,4	7,2	1,6	1,6	3,9	16,7
C.V. (%)	10,1	45,2	14,7	18,5	17,4	16,2	25,2	12,8
	N-total (mg pote ⁻¹)							
Testemunha	318,3 a	70,7	24,0	411,6	28,1 a	71,5	88,8	1013,0 a
Glyphosate	230,8 b	70,8	23,9	360,9	18,5 b	66,5	84,3	848,8 b
Glufosinato	276,5 ab	75,7	22,4	375,7	24,5 ab	69,6	89,7	934,0 ab
<i>P</i>	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	*
DMS (5%)	72,4	19,1	8,5	77,2	8,2	25,4	31,5	156,5
C.V. (%)	22,4	22,4	31,0	17,1	29,3	31,1	30,5	14,00

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). * Teste F significativo a 5%; NS = não significativo; ¹SR – sabugo e estruturas reprodutivas femininas.

Tabela 6.7 – Nitrogênio na planta proveniente (Ndff) da palha na parte aérea (folha, colmo, inflorescência, espiga) e nas raízes de milho cultivado em palha de aveia dessecada com herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	Folha	Colmo	Inflorescência	Espiga			Raiz	Total
				Grão	Palha	SR ¹		
----- mg pote ⁻¹ -----								
Testemunha	39,7 a	9,9	3,5	71,2 a	4,5 a	12,0 a	20,2	161,1 a
Glyphosate	26,2 b	8,9	2,9	52,0 b	2,5 b	9,2 ab	17,4	118,3 b
Glufosinato	25,1 b	7,9	2,4	44,9 b	2,7 b	7,9 b	19,5	110,5 b
<i>P</i>	**	NS	NS	**	**	*	NS	**
DMS (5%)	6,3	2,2	1,2	8,4	1,4	3,2	8,7	15,8
C.V. (%)	17,8	21,0	35,0	12,7	36,5	28,4	38,8	10,3
----- % -----								
Testemunha	8,4 a	2,1	0,7	15,1 a	1,0 a	2,5 a	4,3	31,7 a
Glyphosate	6,2 b	2,1	0,7	12,2 b	0,6 b	2,2 ab	4,1	25,9 b
Glufosinato	5,7 b	1,8	0,5	10,1 c	0,6 b	1,8 b	4,4	23,2 b
<i>P</i>	**	NS	NS	**	**	*	NS	**
DMS (5%)	1,4	0,5	0,3	1,9	0,3	0,7	2,0	3,1
C.V. (%)	17,9	21,4	34,0	12,6	35,4	28,2	39,2	9,8

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). ** Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%. ¹SR – sabugo e estruturas reprodutivas femininas.

Tabela 6.8 – Mineralização líquida, fração não-recuperada e recuperação no sistema solo-planta do nitrogênio proveniente da palha de aveia preta dessecada com herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	Mineralização líquida	Não-recuperado	Solo – Planta
----- mg pote ⁻¹ -----			
Testemunha	201,2 a	52,9	418,0 a
Glyphosate	150,0 b	43,9	383,9 ab
Glufosinato	148,5 b	74,6	368,3 b
<i>P</i>	**	NS	*
DMS (5%)	17,2	36,7	41
C.V. (%)	8,8	54,6	8,9
----- % -----			
Testemunha	42,3 a	11,2	88,8
Glyphosate	35,3 b	10,3	90,2
Glufosinato	33,5 b	16,8	83,1
<i>P</i>	**	NS	NS
DMS (5%)	3,8	8,3	9,1
C.V. (%)	8,7	55,4	8,8

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$).
 *Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%.

Alguns trabalhos têm demonstrado que a mineralização do N do solo é aumentada pela aplicação do herbicida glyphosate (GROSSBARD, 1985; HANEY; SENSEMAN; HONS, 2002). Estes resultados, associados ao modo de ação dos herbicidas glyphosate e glufosinato, evidenciam que a redução da mineralização líquida e da biomassa microbiana do solo, observada no presente capítulo, esteve relacionada ao efeito dos herbicidas na composição química da palha de aveia preta e não à ação direta dos herbicidas sobre a microbiota do solo.

Argenta et al. (2001) observaram aumento da relação C:N na parte aérea de aveia preta 16 dias após a aplicação dos herbicidas glyphosate, glufosinato e paraquat. Em *Brachiaria decumbens*, Damini et al. (2008) observaram redução de até 40% do N proveniente do fertilizante no tecido vegetal após a aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio. A redução

do N após a aplicação de herbicidas pode estar associada à remobilização do nutriente que ocorre durante a senescência (MARSCHNER, 1995) e à saída do N do sistema, discutida no Capítulo 3.

A menor mineralização de palha nos tratamentos com herbicida resulta em sua menor efetividade no suprimento de nutrientes às plantas, podendo ocasionar, em condições de baixa disponibilidade de nutrientes, redução na produção. Este fato é particularmente importante em regiões com temperaturas mais amenas, nas quais as taxas de decomposição dos resíduos podem ser baixas.

6.4 Conclusões

- A mineralização líquida do N da palha de aveia preta foi reduzida pela dessecação da cultura com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio.
- A dessecação da aveia preta com glyphosate reduziu o N-total do milho.
- A dessecação da aveia preta com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio reduziu o conteúdo de N do milho proveniente da palha.
- A produção de massa seca e de grãos de milho não foi afetada pela utilização de palha de aveia preta dessecada com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio.

Referências

- ACCINELLI, C.; SCREPANTI, C.; DINELLI, G.; VICARI, A. Short-time effects of pure and formulated herbicides on soil microbial activity and biomass. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, Barcelona, v.82, n.8/9, p. 519–527, 2002.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; FLECK, N. G.; BORTOLINE, C. G.; NEVES, R.; AGOSTINETTO, D. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 6, p. 851-860, 2001.
- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMSAHI, S. (Ed.) **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.
- BREMMER, J.M.; KEEENEY, D.R. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soil. III. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam-distillation methods. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v.30, n.5, p.577-582, 1966.

DA ROS, A.O.; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.1, p.135-140, 1996.

DAMIN, V.; FRANCO, H.C.J.; MORAES, M.F.; FRANCO, A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen loss in *Brachiaria decumbens* after application of glyphosate or glufosinate-ammonium. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.402-407, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p.

GROSSBARD, E. Effects of glyphosate on the microflora: with reference to the decomposition of treated vegetation and interaction with some plant pathogens. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. Londres: Butterworths, 1985. p.159-185.

HANEY R.L.; SENSEMAN, S.A.; HONS, R.M.; ZUBERER, D.A. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. **Weed Science**, Lawrence, v.48, n.1, p.89-93, 2000.

HANEY, R. L.; SENSEMAN, S. A.; HONS, F. M. Effect of Roundup Ultra on microbial activity and biomass from selected soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, n. 3, p.730-735, 2002.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizer: An introduction to nutrients management**. 6th.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 499p.

HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.9, p.1021-1030, 1985.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RATCLIFFE, A.W.; BUSSE, M.D.; SHESTAK, C.J. Changes in microbial community structure following herbicide (glyphosate) additions to forest soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.34, n.2/3, p.114-124, 2006.

REEVES, D.W. Cover crops and rotations. In: HATFIELD, J.L.; STEWART, B.A. (Ed.). **Crops residues management**. Lewis: J. Wiley, 1994. p.125-172. (Advances in Soil Science).

SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23p.

SANTI, A.; AMADO, T.J.C.; ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I - Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1075-1083, 2003.

SNAPP, S.S.; BORDEN, H. Enhanced nitrogen mineralization in mowed or glyphosate treated cover crops compared to direct incorporation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.270, n.1, p.101-112, 2005.

TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p. 207-214, 1994.

TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINÈRES, M.; CHÈNEBY, D.; NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under non-limiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.3, p.918-926, 2000.

TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de Amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massas**. Piracicaba: CENA, 1973. 41 p. (Boletim Técnico, 2).

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

WOLF, D.C.; WAGNER, G.H. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D.M.; HARTEL, P.G.; FUHRMANN, J. J.; ZUBERER, D.A. (Ed.) **Principles and applications of soil microbiology**. 2nd.ed. New Jersey: Pearson Education, 2005. p.285-329.

ZABALOY, M. C.; GÓMEZ, M. A. Microbial respiration in soils of the Argentine pampas after metsulfuron-methyl, 2,4-D, and glyphosate treatments. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.39, n.3/4, p.370-385, 2008.

7 MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DA PALHADA DE MILHETO DESSECADO COM HERBICIDAS E APROVEITAMENTO PELO MILHO

Resumo

Objetivou-se com este trabalho avaliar a mineralização do nitrogênio (N) proveniente da palha de milho dessecada ou não com herbicidas e o aproveitamento do N mineralizado por plantas de milho. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. Os tratamentos foram resultado de combinação fatorial entre três condições de palhada de milho: (A) Testemunha – milho cultivado sobre palha de milho colhido sem aplicação de herbicida; (B) Glyphosate – milho cultivado sobre palha de milho dessecado com o herbicida glyphosate; e (C) Glufosinato – milho cultivado sobre palha de milho dessecado com o herbicida glufosinato de amônio; e dois tipos de solo (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico - RQ e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico - LV). O N-mineral proveniente da palha de milho, o carbono da biomassa microbiana e conteúdo de nitrato no solo foram inferiores nos tratamentos em que o milho foi dessecado com herbicidas em relação à Testemunha. A mineralização do N da palha de milho foi reduzida pela dessecação com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio. A massa seca e o conteúdo de N da cultura do milho não foram afetados pelo manejo da palha.

Palavras-chave: Decomposição; *Pennisetum glaucum*; Glyphosate; Glufosinato de amônio

Nitrogen mineralization from straw herbicide-desiccated millet and corn usefulness

Abstract

This work was developed with the objective of evaluating nitrogen (N) mineralization from millet straw, with or without herbicide desiccation, and corn usefulness of the mineral nitrogen. Trial was carried out in completely randomized design with five replicates. Treatments resulted of a factorial combination between three conditions of millet straw: (A) Check – corn grown on straw of millet without herbicide application; (B) Glyphosate – corn grown on straw of glyphosate-desiccated millet; and (C) Glufosinate – corn grown on straw of ammonium-glufosinate-desiccated millet; and two soil types (TYPIC QUARTZIPSAMMENT – RQ and RED OXISOIL – LV). The mineral nitrogen proceeded of millet straw; the microbial biomass carbon and the nitrate amount in the soil were smaller in the treatments which millet was previously desiccated with herbicides when compared to the check without herbicide. Nitrogen mineralization of millet straw was reduced by desiccation with the herbicides glyphosate and ammonium-glufosinate. Millet desiccation with herbicides did not affect dry mass and nitrogen amount in the corn crop.

Keywords: Decomposition; *Pennisetum glaucum*; Glyphosate; Ammonium-glufosinate

7.1 Introdução

O sistema semeadura direta (“plantio direto”) prevê a rotação de culturas, o cultivo em solo sem revolvimento e a manutenção de resíduos vegetais sobre o solo. No entanto, em ecossistemas tropicais, como o Cerrado, a deficiência nutricional dos solos dificulta a produção de massa da cultura de cobertura, enquanto as condições climáticas favorecem a decomposição dos restos vegetais, resultando em reduzida cobertura do solo (LANDERS, 1996). Neste sentido, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas a fim de selecionar espécies vegetais e práticas de manejo adequadas às diferentes condições edafo-climáticas.

No Cerrado, o milheto (*Pennisetum glauum*) é uma das principais espécies utilizadas como cultura de cobertura, devido à elevada resistência ao déficit hídrico, alto acúmulo de massa e macronutrientes e baixo custo de sementes (OLIVEIRA et al., 2002; BRAZ et al., 2004). Em adição, possui relação C:N elevada, o que favorece a decomposição lenta de seus resíduos, mantendo o solo coberto por mais tempo (LARA CABEZAS et al., 2004). Conforme mencionado no capítulo anterior, existe consenso de que resíduos culturais com relação C:N superior a 30 têm decomposição lenta no solo e favorecem à imobilização em detrimento à mineralização, enquanto resíduos com relação C:N inferior a 30 apresentam rápida mineralização, aumentando a disponibilidade de N às plantas e microrganismos (TRINSOUTROT et al., 2000; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Além da espécie utilizada, o manejo da cultura de cobertura também pode interferir no aporte e manutenção de palhada sobre o solo, com implicações na produtividade das culturas. Argenta et al. (2001) observaram aumento da relação C:N na parte aérea de aveia preta 16 dias após a aplicação dos herbicidas glyphosate, glufosinato e paraquat. Em *Brachiaria decumbens*, Damin et al. (2008) observaram redução de até 40% do N da planta, proveniente do fertilizante, após a aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio. O aumento da relação C:N pode reduzir a taxa de mineralização da palhada, mantendo o solo coberto por maior tempo. No entanto, a disponibilidade de N à cultura subsequente pode ser reduzida.

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho: 1- avaliar a mineralização do nitrogênio proveniente da palha de milheto após dessecação com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio; e 2 – avaliar a absorção do N mineralizado da palha dessecada com esses herbicidas por plantas de milho.

7.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em casa-de-vegetação localizada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP, Piracicaba – SP, Brasil (22° 42' 30" latitude sul, 47° 38' 00" longitude oeste e 546 m de altitude), no período compreendido entre julho e novembro de 2007. Foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com cinco repetições. Os tratamentos foram resultado de combinação fatorial entre três condições de palhada de milho (Testemunha – milho cultivado sobre palha de milho colhido sem aplicação de herbicida; Glyphosate – milho cultivado sobre palha de milho dessecado com o herbicida glyphosate; e Glufosinato – milho cultivado sobre palha de milho dessecado com o herbicida glufosinato de amônio) e dois tipos de solo (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico - RQ e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico - LV) (EMBRAPA, 1999).

Cada unidade experimental constou de um pote (7 L) sem orifícios na base, preenchido com 5 dm³ (7 kg de RQ ou 6 kg de LV) de terra fina seca ao ar (TFSA), retirada da camada de 0,0-0,2 m dos solos. A caracterização química (RAIJ et al., 2001) e a composição granulométrica do solo encontram-se na Tabela 7.1. A acidez e a fertilidade do solo foram corrigidas antes da semeadura do milho (*Zea mays*). A quantidade aplicada de calcário foi determinada pelo método da Saturação por Bases e correspondeu a 3,5 e 14,7 g vaso⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 100%), para os solos RQ e LV, respectivamente. O corretivo foi aplicado com 100 e 200 mg kg⁻¹ de P na forma de superfosfato simples nos solos RQ e LV respectivamente, procedendo-se a mistura dos insumos à terra dos potes. Posteriormente, foram aplicados 100 mL vaso⁻¹ de solução contendo 1800 mg de K (cloreto de potássio, puro para análise - p.a.), 0,3 mg de Zn (sulfato de zinco p.a.), 0,15 mg de B (ácido bórico p.a.) e 0,2 mg de Cu (sulfato de cobre p.a.). Após as correções de acidez e fertilidade do solo, a capacidade máxima de retenção de água do solo foi elevada a 70% e os potes permaneceram lacrados e em período de incubação por 15 dias.

Em 05/08/2007, cinco sementes de milho (híbrido simples Pioneer 30F80) foram enterradas em cada pote, a 10 mm de profundidade. Na mesma data, a palha de milho (*Pennisetum glaucum*) foi adicionada ao solo, em dose equivalente a 10 Mg ha⁻¹ de massa seca. A palha foi obtida em experimento anterior, descrito no item 3.2.2 do Capítulo 3, e sua caracterização química é apresentada na Tabela 7.2. O cálculo da quantidade de palha adicionada em cada pote considerou a densidade do solo de 1,2 g cm⁻³ e a profundidade de 0,2 m, o que resultou em uma taxa de aplicação de 30 g pote⁻¹ de palha de milho, sendo 11 g de folhas, 8 g

de colmos e 11 g de raízes. Todo o material vegetal foi cortado em pedaços de, aproximadamente, 30 mm. As raízes foram incorporadas ao solo (previamente à semeadura do milho) e a parte aérea (folhas e colmos) de milheto depositada na superfície.

Tabela 7.1 – Caracterização química e composição granulométrica dos solos NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (RQ) e LATASSOLO VERMELHO Distrófico típico (LV). Piracicaba – SP, 2007

Solo	Caracterização química dos solos											
	pH	M.O.	P	S	K	Ca	Mg	Al	H +Al	T	V	m
	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mmolc dm ⁻³						%		
RQ	4,1	4	1	7	0,3	5	2	8	25	32	21,8	25
LV	4,2	25	9	20	0,6	11	8	12	98	118	17,0	38
Composição granulométrica dos solos												
	Argila		Silte		Areia total		Areia grossa		Areia fina		classe textural	
	g kg ⁻¹											
RQ	122		8		870		630		240		arenosa	
LV	490		140		370		190		180		argilosa	

M.O.= matéria orgânica; T = capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio

Tabela 7.2 – Carbono (C), nitrogênio (N) e relação C:N da palha de *Pennisetum glaucum* utilizada no experimento. Piracicaba – SP, 2007

Tipo de palha	Parte aérea			Raízes	Planta inteira	
	C	N	C:N	N	N	¹⁵ N
	g pote ⁻¹	mg pote ⁻¹		mg pote ⁻¹	mg pote ⁻¹	%
Sem herbicida	7,6	347,2	22,0	89,8	437,1	5,4
Glyphosate	6,9	308,8	22,4	83,0	392,8	5,3
Glufosinato	7,3	303,2	24,0	87,7	389,5	5,4

Aos 25 dias após a semeadura (DAS), realizou-se desbaste, sendo mantida uma planta por pote. Na mesma data, o fertilizante sulfato de amônio foi aplicado na dose de 2000 mg pote⁻¹, na forma de solução. As plantas retiradas foram secas em estufa a 65°C até massa constante, para determinação da massa seca, e reservadas para análise de N-total e ¹⁵N. Durante o período experimental, os potes foram irrigados e pesados diariamente em balança eletrônica, para manutenção da capacidade máxima de retenção de água do solo a 60%.

Aos 90 DAS, procedeu-se a colheita das plantas. A parte aérea do milho foi cortada rente à superfície do solo e separada em folha, colmo, inflorescência e espiga. A palhada de milho remanescente sobre o solo foi coletada e as raízes foram separadas do solo por peneiramento em malha de 2 mm. A palhada e as raízes foram lavadas e todo material vegetal foi secado em estufa a 65°C, até massa constante, para determinação da massa seca.

A massa de solo úmido foi pesada e quatro subamostras retiradas para determinação: (1) da umidade em estufa a 105°C por 48 horas; (2) do N-total e ¹⁵N proveniente da palha; (3) do carbono da biomassa microbiana (C-BM); e (4) do N mineral e N-total do solo. Para determinação do C-BM, as amostras de terra foram armazenadas em câmara fria (5°C) por 48 horas. O C-BM foi determinado pelo método da fumigação-extração, descrito por Vance; Brookes e Jenkinson (1987). Para determinação do N-mineral, 30 g de terra (amostra úmida conservada à -10°C) receberam 60 mL de KCl 2 mol L⁻¹. A suspensão foi agitada e filtrada, procedendo-se a destilação dos extratos com MgO e liga de Devarda para obtenção do N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ do solo, segundo Bremner e Keeney (1966). As análises de ¹⁵N-NH₄⁺ e ¹⁵N-NO₃⁻ nos destilados foram realizadas por espectrometria de massas segundo Trivelin; Salati e Matsui, (1973).

O material vegetal seco foi triturado em moinho tipo Wiley e o solo (TFSA) passado em moinho de Bola. Os conteúdos de ¹⁵N, N-total e C das amostras foram quantificados em espectrômetro de massas, contendo analisador automático de N e C, modelo ANCA-SL, 20-20 da PDZ Europa, Krefeld, Germany (BARRIE; PROSSER, 1996).

A recuperação do nitrogênio na planta e no solo proveniente do resíduo vegetal foi calculada pela expressão:

$$N_{ppfm} = \frac{a - c}{b - c} \cdot N_{total}$$

Em que:

N_{ppfm} = Nitrogênio na planta ou solo proveniente da fonte marcada (mg pote⁻¹);

a = Abundância de ¹⁵N (% em átomos) na planta ou solo;

b = Abundância de ¹⁵N-resíduo vegetal (% em átomos de ¹⁵N);

c = Abundância natural de ¹⁵N (0,366% em átomos de ¹⁵N);

N_{total} = Conteúdo de nitrogênio na planta ou no solo (mg pote⁻¹).

A recuperação percentual do N do resíduo vegetal foi calculada pela expressão:

$$\%R = \frac{N_{ppfm}}{D} \cdot 100$$

Em que:

$\%R$ = Porcentagem de nitrogênio na planta e/ou no solo proveniente do N-resíduo vegetal

D = Dose de N adicionada ao sistema pela palhada (mg pote⁻¹).

A mineralização líquida (ML) foi obtida pela seguinte expressão:

$$ML = \left(\frac{A}{B} \cdot C \right) + \left(\frac{D}{B} \cdot E \right)$$

ML = Mineralização líquida (mg pote⁻¹);

A = Abundância de ¹⁵N na cultura (% de átomos em excesso);

B = Abundância de ¹⁵N no resíduo vegetal utilizado (% de átomos em excesso);

C = Conteúdo de N-total no milho (mg pote⁻¹);

D = Abundância de ¹⁵N no N-mineral do solo (% de ¹⁵N em átomos excesso);

E = Conteúdo de N-mineral no solo (mg pote⁻¹).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância e, quando o teste F foi significativo, procedeu-se a comparação das médias de tratamentos pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

7.3 Resultados e discussão

Após 90 dias de residência no solo, o carbono da biomassa microbiana (C-BM) foi afetado pelo manejo da palha de milho com herbicidas (Tabela 7.3). No solo LV, houve redução do C-BM nos tratamentos em relação à testemunha. No solo RQ somente o tratamento Glufosinato impactou negativamente o C-BM.

A MS e o N-total da palha de milho, remanescente na superfície, foram maiores nos tratamentos Glyphosate e Glufosinato comparativamente à Testemunha (Tabela 7.4). Do total de palha aplicada na superfície (19 g vaso^{-1}), 60% da MS foi reduzida na Testemunha, enquanto nos tratamentos Glyphosate e Glufosinato essa redução foi de 53 e 46%, respectivamente. O tipo de solo não afetou a MS e o N-total da palha. O mesmo efeito verificado na MS foi observado para o conteúdo de N na palha remanescente sobre o solo (Tabela 7.4). O carbono da palha não diferiu entre os tratamentos. Na relação C:N da palha remanescente, foi observada interação dos fatores manejo da cultura de cobertura e tipo de solo (Tabela 7.4). No solo RQ, a redução da relação C:N, nos tratamentos Glyphosate e Glufosinato, pode ser justificada pelo maior conteúdo de N na palha remanescente nestes tratamentos em relação à Testemunha, visto que o conteúdo de carbono (C) não diferiu entre os tratamentos.

A dessecação do milho com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio não afetou o conteúdo de N-NH_4^+ , N-mineral e N-total dos solos (Tabela 7.5). No entanto, o conteúdo de nitrato (N-NO_3^-) diferiu entre os tratamentos, sendo observada interação dos fatores manejo da cultura de cobertura e tipo de solo. No solo RQ o conteúdo de N-NO_3^- foi maior na Testemunha em relação aos tratamentos e no solo LV o N-NO_3^- não diferiu entre os tratamentos. Na testemunha e no tratamento Glufosinato o RQ apresentou maior N-NO_3^- do que o LV.

O menor conteúdo de N-NO_3^- nos tratamentos Glyphosate e Glufosinato, no solo RQ, pode ser atribuído à redução nas taxas de nitrificação. A este respeito, duas considerações devem ser feitas: 1) A nitrificação é mediada, principalmente, por microrganismos quimiolitotróficos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Conforme discutido no Capítulo 5, estes microrganismos podem apresentar as rotas metabólicas que são bloqueadas pelos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio; 2) O solo LV tem maior capacidade sortiva que o RQ, como pode ser observado pelo conteúdo de argila, CTC e matéria orgânica dos solos (Tabela 7.1). Como efeito, a disponibilidade de NH_4^+ aos microrganismos nitrificantes é menor no LV do que no RQ, devido à maior adsorção do íon à fração coloidal do solo. Além disso, o herbicida glyphosate apresenta

grande afinidade com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (PRATA et al., 2000), comuns nos solos da classe Latossolos. A forte ligação do herbicida a estas frações reduz a biodisponibilidade do produto aos microrganismos.

Tabela 7.3 – Carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo) do solo após 90 dias de residência da palha de milho dessecado com herbicidas. Piracicaba-SP, 2007

Tratamentos	RQ	LV	Média
Testemunha	0,19 aA	0,21 aA	0,20
Glyphosate	0,17 aA	0,12 bB	0,14
Glufosinato	0,09 bA	0,11 bA	0,10
Média	0,15	0,15	CV=21,4%
F dos fatores	$F_{\text{herb}} = 24,00^{**}$		$F_{\text{solo}} = 0,01$ ns
F da interação	3,97*		

RQ – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico; LV – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). *Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%; ns – Teste F não significativo.

A redução da nitrificação evidencia o impacto negativo dos herbicidas sobre a microbiota quimiolitotrófica do solo. No entanto, é importante destacar que a menor conversão de NH_4^+ a NO_3^- no solo implica em menor risco de contaminação de águas subsuperficiais com nitrato e maior disponibilidade do nutriente às culturas.

O N- NH_4^+ no solo, proveniente da palha de milho (*Nppfm*), não foi afetado pelo tipo de solo, mas diferiu entre a Testemunha e o tratamento Glufosinato. O padrão dos resultados de N- NO_3^- derivado da palha foi semelhante aos de N- NO_3^- no solo (Tabela 7.5). Cabe ressaltar que, como o conteúdo de amônio (*Nppfm*) foi menor no tratamento Glufosinato em relação à Testemunha, neste tratamento a redução do N- NO_3^- (*Nppfm*) pode estar relacionada, ainda, à menor quantidade de amônio (*Nppfm*) disponível para os microrganismos nitrificantes.

Na Testemunha, a contribuição da palha para o N-mineral do solo (*Nppfm*) foi maior em relação aos tratamentos (Tabela 7.5), indicando que a dessecação do milho com os herbicidas afetou negativamente o processo de mineralização do resíduo. O tipo de solo também interferiu no N-mineral (*Nppfm*) sendo maior no RQ em relação ao LV. O solo LV, como discutido anteriormente, possui maior capacidade sortiva e, portanto, a disponibilidade do N do resíduo orgânico aos microrganismos pode ser reduzida, diminuindo a mineralização. O N da palha no

N-total do solo (*Nppfm*) foi afetado pelo manejo da cultura de cobertura e pelo tipo de solo (Tabela 7.5). Na testemunha e tratamento Glyphosate, o conteúdo de N-total derivado da palha (*Nppfm*) foi maior que no tratamento Glufosinato. No solo LV o *Nppfm* foi maior que no RQ.

Aos 25 dias após a semeadura (DAS), somente 2% do N da palha foram absorvidos pelas plantas de milho. Boer et al. (2007) observaram que 7% do N da palha do milheto foram liberados 30 dias após o manejo da cultura de cobertura do solo. A massa seca (MS), N-total e N do milho proveniente da palha de milheto (*Nppfm*) não diferiram entre os tratamentos até 25 DAS (Tabela 7.6).

Aos 90 DAS, a dessecação do milheto com herbicidas não interferiu na produção de massa seca do milho (Tabela 7.7). A MS da parte aérea, raízes e planta inteira foram maiores no solo LV em relação ao RQ, o que pode ser atribuído à maior fertilidade química do primeiro (Tabela 7.1). O manejo da cultura de cobertura não afetou o N-total da parte aérea, raízes e planta inteira de milho. O N-total foi maior na parte aérea do milho no RQ, enquanto as raízes apresentaram maior N-total no LV, porém o N-total da planta inteira não diferiu entre os solos (Tabela 7.7).

O *Nppfm* foi menor na parte aérea e na planta inteira de milho no tratamento Glufosinato em relação aos demais, evidenciando que a dessecação do milheto com este herbicida resultou na menor efetividade da palha no suprimento de N à cultura do milho. O tipo de solo também afetou o *Nppfm* da parte aérea da cultura, sendo maior no solo RQ em relação ao LV (Tabela 7.8).

Embora o conteúdo de N-mineral no solo proveniente da palha e o *Nppfm* do milho tenham sido maiores na testemunha, a mineralização líquida (ML) não foi afetada pelo manejo da cultura de cobertura. O tipo de solo interferiu na ML, sendo maior no RQ em relação ao LV (Tabela 7.9). Como discutido anteriormente, a maior mineralização da palha no solo RQ pode ser atribuída à menor quantidade de sítios sortivos presentes nestes solos, os quais protegem a matéria orgânica do ataque microbiano.

A recuperação do N da palha no sistema solo-planta foi menor na testemunha em relação aos tratamentos (Tabela 7.9). É possível que, na testemunha, o N da palha tenha sido disponibilizado para a cultura mais cedo que nos tratamentos, ficando o nutriente susceptível a perdas por maior período de tempo. Os processos que resultam em perdas de N do sistema, como desnitrificação, perdas pela parte aérea, volatilização de NH_3 do solo ou mesmo perda de sementes, requerem, necessariamente, que tenha havido mineralização. Portanto, a fração perdida pode ser considerada como mineralizada.

Tabela 7.4 – Massa seca, nitrogênio (N), carbono (C) e relação C:N da palha da parte aérea de milho dessecado com herbicidas após 90 dias de residência no solo. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	MS (g pote ⁻¹)			N (mg pote ⁻¹)			C (g pote ⁻¹)			C:N		
	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média
Testemunha	7,4	7,7	7,5 c	121,2	137,9	129,5 b	2,3	2,2	2,3	19,2 aA	16,2 aB	17,7
Glyphosate	8,9	8,9	8,9 b	149,9	147,3	148,6 a	2,0	2,2	2,1	13,2 bA	14,9 aA	14,0
Glufosinato	10,4	10,0	10,2 a	154,5	156,9	155,7 a	2,4	2,4	2,4	15,8 bA	15,8 aA	15,8
Média	8,9	8,9	CV= 7,9%	141,9	147,4	CV=11,5%	2,2	2,3	CV=11,9%	16,1	15,7	CV=11,7%
F dos fatores	F _{herb} =36,13**		F _{solo} = 0,06 ns	F _{herb} = 6,66**		F _{solo} = 0,82 ns	F _{herb} =2,68 ns		F _{solo} = 0,16 ns	F _{herb} =9,82**		F _{solo} = 0,43 ns
F da interação	0,71 ns			0,92 ns			0,87 ns			4,13*		

RQ – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico; LV – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). *Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%; ns – Teste F não significativo

Tabela 7.5 – Conteúdo de NH_4^+ , NO_3^- , N-mineral e N-total no solo e proveniente da palha após dessecação do milho com herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	NH ₄ ⁺			NO ₃ ⁻			N- mineral			N-total				
	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média		
	-----Total – mg vaso ⁻¹ -----									----- g vaso ⁻¹ -----				
Testemunha	229,7	297,7	263,7	117,2 aA	31,5 aB	74,4	347,0	329,2	338,1	2,4	7,0	4,7		
Glyphosate	197,7	331,6	264,5	59,3 bA	34,2 aA	46,8	257,0	365,8	311,4	2,2	7,1	4,7		
Glufosinato	212,6	314,5	263,5	82,6 bA	21,4 aB	52,0	295,2	335,9	315,5	2,4	7,0	4,7		
Média	213,3 b	314,6 a	CV=21,3%	86,4	29,1	CV=41,1%	299,7	343,6	CV=19,6%	2,3 b	7,1 a	CV=5,0%		
F dos fatores	F _{herb} = 0,00 ns		F _{solo} = 24,32**		F _{herb} = 3,82*		F _{solo} = 43,73**		F _{herb} =0,52 ns		F _{solo} =3,62 ns		F _{herb} =0,20 ns F _{solo} =299,39**	
F interação	0,86 ns				4,12*				2,51 ns				2,28 ns	
	----- Proveniente da palha de milho – mg vaso ⁻¹ -----													
Testemunha	9,2	9,9	9,6 a	6,6 aA	0,9 aB	3,7	15,8	10,9	13,3 a	83,8	97,9	90,9 a		
Glyphosate	7,4	8,5	8,0 ab	2,5 bA	1,2 aA	1,8	9,9	9,7	9,8 b	74,3	89,2	81,8 ab		
Glufosinato	6,6	7,5	7,0 b	3,3 bA	0,3 aB	1,9	9,8	8,1	9,0 b	79,5	78,0	78,7 b		
Média	7,7	8,7	CV=22,4%	4,1	0,9	CV=69,3%	11,8 a	9,6 b	CV=27,5%	79,2 b	88,3 a	CV=12,6%		
F dos fatores	F _{herb} = 4,78*		F _{solo} = 2,10 ns		F _{herb} = 3,86*		F _{solo} = 25,67**		F _{herb} = 6,10**		F _{solo} = 4,36*		F _{herb} = 3,55* F _{solo} = 5,55*	
F interação	0,03 ns				4,05*				1,66 ns				1,89 ns	

RQ – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico; LV – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). *Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%; ns – Teste F não significativo

Tabela 7.6 – Massa seca (MS), N-total e N proveniente da palha de milho dessecado com herbicidas (*Nppfm*), em plantas de milho, 25 dias após a semeadura (DAS). Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	MS (g vaso ⁻¹)			N-total (g vaso ⁻¹)			<i>Nppfm</i> (mg planta ⁻¹)		
	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média
Testemunha	8,6	8,1	8,2	194,9	318,5	256,7	38,6	32,8	35,7
Glyphosate	6,9	8,0	7,5	186,1	326,2	256,1	22,9	32,7	27,8
Glufosinato	7,8	7,7	7,7	187,8	255,0	221,4	35,2	32,2	33,7
Média	7,7	7,9	CV= 14,5%	189,6 b	299,4 a	CV=16,3%	32,2	32,6	CV=39,3%
F dos fatores	F _{herb} = 1,20 ns		F _{solo} = 0,43 ns	F _{herb} =2,58 ns		F _{solo} = 57,50**	F _{herb} = 1,03 ns		F _{solo} = 0,01 ns
F da interação	0,91 ns			2,30 ns			1,06 ns		

RQ – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico; LV – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). *Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%; ns – Teste F não significativo.

Tabela 7.7 – Produção de massa seca (g vaso⁻¹) e N-total na parte aérea (folha, colmo, inflorescência, espiga), raiz e planta inteira de milho cultivado em palha de milho dessecado com herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	Parte aérea			Raiz			Planta inteira		
	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média
	----- Massa seca (g vaso ⁻¹) -----								
Testemunha	49,7	58,0	53,8	12,5	18,0	15,2	62,1	76,0	69,1
Glyphosate	53,4	54,1	56,7	13,2	17,2	15,2	66,6	71,3	69,0
Glufosinato	54,0	59,0	56,5	12,5	18,0	15,2	66,5	77,0	71,7
Média	52,3 b	57,0 a	CV=6,3%	12,7 b	17,7 a	CV=18,9%	65,1 b	74,8 a	CV=8,1%
F dos fatores	F _{herb} = 2,02 ns		F _{solo} = 13,72**	F _{herb} = 0,00 ns		F _{solo} = 22,67**	F _{herb} = 0,76 ns		F _{solo} = 22181**
F interação	2,98 ns			0,25 ns			F _{int} = 1,65 ns		
	----- N-total (mg vaso ⁻¹) -----								
Testemunha	1220,8	1204,1	1212,4	198,4	240,2	219,3	1,4	1,4	1,4
Glyphosate	1274,3	1108,7	1191,5	205,2	243,8	224,5	1,5	1,3	1,4
Glufosinato	1298,2	1172,6	1235,4	194,0	224,0	209,0	1,5	1,4	1,4
Média	1264,4 a	1161,8 b	CV=5,9%	199,2 b	235,0 a	CV=15,6%	1,4	1,4	CV=6,5%
F dos fatores	F _{herb} = 0,95 ns		F _{solo} = 15,54**	F _{herb} =0,54 ns		F _{solo} = 8,77**	F _{herb} =0,23 ns		F _{solo} = 3,73 ns
F interação	2,92 ns			F _{int} = 0,08 ns			F _{int} = 1,84 ns		

RQ – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico; LV – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). **Teste F significativo a 1%; ns – Teste F não significativo

Tabela 7.8 – Nitrogênio proveniente da palha na parte aérea, raízes e planta inteira de milho cultivado em palha de milheto dessecado com herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	Parte aérea			Raízes			Planta inteira		
	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média
	----- <i>Nppfm</i> (g vaso ⁻¹) -----								
Testemunha	60,3	55,4	57,8 a	25,9	21,1	23,5	86,1	76,5	81,3 a
Glyphosate	61,4	45,9	53,7 a	34,5	22,3	28,3	95,9	68,2	82,0 a
Glufosinato	45,8	35,3	40,6 b	30,7	26,2	28,5	78,3	61,6	69,9 b
Média	55,8 a	45,5 b	CV=11,8%	30,3 a	23,2 b	CV=26,1%	86,8 a	68,8 b	CV=11,8%
F dos fatores	F _{herb} = 14,49**		F _{solo} =23,24**	F _{herb} = 0,54 ns		F _{solo} = 8,77**	F _{herb} = 0,54 ns		F _{solo} = 8,77**
F interação	2,28 ns			F _{int} = 0,08 ns			F _{int} = 0,08 ns		

RQ – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico; LV – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$). **Teste F significativo a 1%; ns – Teste F não significativo.

Tabela 7.9 – Mineralização líquida, ML somada à fração não recuperada e recuperação do N proveniente da palha após dessecação do milheto com herbicidas. Piracicaba – SP, 2007

Tratamentos	Mineralização Líquida (ML)			ML + Fração Não Recuperada			Recuperação		
	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média	RQ	LV	Média
	----- mg vaso ⁻¹ -----								
Testemunha	140,5	120,3	130,4	247,8	212,2	230,0 a	329,7	345,2	337,4
Glyphosate	128,7	119,7	119,0	178,4	166,0	172,2 b	343,1	337,4	340,3
Glufosinato	123,4	101,9	112,7	165,3	162,7	164,0 b	347,6	328,7	338,1
Média	130,9 a	110,9 b	CV=13,7%	197,2 a	180,3 b	CV=8,5%	340,1	337,1	CV=4,6%
F dos fatores	F _{herb} = 2,91 ns		F _{solo} = 10,87**	F _{herb} = 50,08**		F _{solo} = 8,25**	F _{herb} = 0,09 ns		F _{solo} = 0,29 ns
F interação	0,03 ns			2,79 ns			3,09 ns		
	----- % -----								
Testemunha	32,1	27,5	29,8	56,7	48,5	52,6 a	75,4	79,0	77,2 b
Glyphosate	32,8	28,2	30,5	45,4	42,3	43,8 b	87,4	85,0	86,6 a
Glufosinato	31,7	26,2	28,9	42,4	41,8	42,1 b	89,2	84,4	86,8 a
Média	32,2 a	27,3 b	CV=14,0%	48,2 a	44,2 b	CV=8,6%	84,0	83,1	CV=4,7%
F dos fatores	F _{herb} =0,35 ns		F _{solo} = 10,35**	F _{herb} = 19,99**		F _{solo} = 7,52*	F _{herb} = 19,63**		F _{solo} = 0,41 ns
F interação	0,04 ns			2,29 ns			2,88 ns		

RQ – NEOSSOLO F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%; ns – Teste F não significativo

Considerando mineralizada a fração não recuperada (Tabela 7.9), 53% do N da palha de milho da testemunha foi mineralizado em 90 dias. Resultados semelhantes foram encontrados por Moraes (2001) em condições de campo. Este autor observou que 50% do N da palha de milho foi mineralizado após 89 dias de residência no solo. A mineralização da palha foi reduzida em 9 e 20% quando o milho foi dessecado com os herbicidas glyphosate e glufosinato, respectivamente.

Grossbard (1985) avaliou o efeito do herbicida glyphosate na mineralização do N do solo e observou aumento da mineralização quando o herbicida foi utilizado. Haney; Senseman e Hons (2002) avaliaram, em condições de laboratório, o efeito da aplicação de atrazina e da mistura de atrazina e glyphosate na mineralização do C-total e N-total presente no solo. Estes autores observaram maior mineralização do C e do N no solo tratado com a mistura. Estes resultados evidenciam que o herbicida glyphosate favoreceu a microbiota quimiorganotrófica, ocasionando aumento da mineralização da matéria orgânica edáfica do solo. De fato, diversos trabalhos têm relatado que a atividade e o carbono da biomassa microbiana não são negativamente afetados pelo herbicida glyphosate (ACINELLI et al., 2002; RATCLIFFE; BUSSE; SHESTAK, 2006; ZABALOY; GÓMEZ, 2008). Portanto, a redução da mineralização nos tratamentos Glyphosate e Glufosinato comparativamente à Testemunha não deve estar relacionada à ação direta dos produtos sobre a microbiota quimiorganotrófica do solo, mas à menor efetividade da palha de milho dessecado com os herbicidas no suprimento de N e C aos microrganismos.

Em sistema de semeadura direta no Cerrado, a redução da mineralização da palhada depositada sobre o solo é desejável, visto que aumenta o tempo de residência do resíduo sobre o solo. No entanto, a menor efetividade do resíduo no fornecimento de N às plantas e microrganismos pode reduzir a produtividade quando o suprimento de N via adubação não é adequado. Isto porque a adição ao solo de resíduos orgânicos com baixo teor de N resulta na imobilização do nutriente pela microbiota, reduzindo sua disponibilidade às plantas. Portanto, a utilização de herbicidas para dessecção da cultura de cobertura, em sistema de semeadura direta, deve ser considerada nas tomadas de decisão referentes ao manejo da adubação nitrogenada.

7.4 Conclusões

- O N-mineral proveniente da palha de milheto, o carbono da biomassa microbiana e o conteúdo de nitrato no solo foram menores nos tratamentos em que o milheto foi dessecado com herbicidas em relação à testemunha.
- A mineralização do N da palha de milheto foi reduzida pela dessecação com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio.
- A dessecação do milheto com herbicidas não afetou a massa seca e o conteúdo de N da cultura do milho.

Referências

- ACCINELLI, C.; SCREPANTI, C.; DINELLI, G.; VICARI, A. Short-time effects of pure and formulated herbicides on soil microbial activity and biomass. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, Barcelona, v.82, n.8/9, p. 519–527, 2002.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; FLECK, N. G.; BORTOLINE, C. G.; NEVES, R.; AGOSTINETTO, D. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 6, p. 851-860, 2001.
- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMSAHI, S. (Ed.) **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.
- BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.9, p.1269-1276, 2007.
- BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M. da; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.34, n.2, p.83-87, 2004.
- BREMMER, J.M.; KEEENEY, D.R. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soil. III. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam-distillation methods. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v.30, n.5, p.577-582, 1966.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p.
- GROSSBARD, E. Effects of glyphosate on the microflora: with reference to the decomposition of treated vegetation and interaction with some plant pathogens. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. Londres: Butterworths, 1985. p.159-185.

HANEY, R.L.; SENSEMAN, S.A.; HONS, F.M. Effect of Roundup Ultra on microbial activity and biomass from selected soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, n. 3, p.730-735, 2002.

LANDERS, J.N. O plantio direto na agricultura: o caso do Cerrado. In: LOPES, I. V. (Ed). **Gestão ambiental no Brasil: experiência e sucesso**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1996. p.3-33.

LARA CABEZAS, W.A.R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; SANTANA, D.G. de. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1005-1013, 2004.

MORAES, R.N.S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milheto, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto**. 2001. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.393-486.

PRATA, F.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J.B.; TORNISIELO, V.L. Influência da matéria orgânica na sorção e dessorção do glifosato em solos com diferentes atributos mineralógicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.947-951, 2000.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RATCLIFFE, A.W.; BUSSE, M.D.; SHESTAK, C.J. Changes in microbial community structure following herbicide (glyphosate) additions to forest soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.34, n.2/3, p.114–124, 2006.

TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINÈRES, M.; CHÈNEBY, D.; NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under non-limiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.3, p.918–926, 2000.

TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de Amostras para análise de ¹⁵N por espectrometria de massas**. Piracicaba: CENA, 1973. 41 p. (Boletim Técnico, 2).

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

ZABALOY, M. C.; GÓMEZ, M. A. Microbial respiration in soils of the Argentine pampas after metsulfuron-methyl, 2,4-D, and glyphosate treatments. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.39, n.3/4, p.370-385, 2008.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados obtidos neste trabalho de tese, conclui-se que os herbicidas podem afetar processos importantes relacionados ao ciclo do nitrogênio, como a emissão de NH_3 via foliar, a exsudação de compostos nitrogenados pelas raízes e a mineralização do N de resíduos vegetais, reduzindo a disponibilidade do nutriente às plantas.

Quanto às perdas de nitrogênio do sistema solo-planta, observou-se que elas ocorreram em taxas variadas entre espécies e que, somente em *Avena strigosa*, essas perdas não foram afetadas pela utilização de herbicidas. Estes resultados evidenciam que a adubação em pré-semeadura pode não ser compensatória quando *Pennisetum glaucum*, *Brachiaria ruziziensis* e *B. decumbens* são utilizados como cultura de cobertura.

Os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio modificaram a partição do N nas plantas, com redução do conteúdo de N nas folhas. Como a parte aérea é, geralmente, menos lignificada do que as raízes, a alteração da partição do N na planta pode reduzir as taxas de mineralização dos resíduos culturais, mesmo quando a saída do nutriente do sistema solo-planta não é afetada após aplicação dos herbicidas, como observado em *A. strigosa*.

As perdas de N ocorreram, mesmo quando *B. decumbens* foi cultivada em solução nutritiva substituída em períodos de 48 hs. Nestas condições, a possibilidade de perdas por desnitrificação é reduzida, visto que em 48 horas o N teria que ser exsudado, convertido a NO_3^- em meio com disponibilidade reduzida de O_2 , para então ser reduzido a N_2O e/ou N_2 . Com base nestes resultados e nos obtidos para volatilização de NH_3 pelo solo, conclui-se que as perdas de N via foliar foram a principal via de saída do nutriente do sistema solo-planta após a aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio.

A exsudação de compostos nitrogenados por *B. decumbens* foi maior após aplicação dos herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e paraquat. Embora os exsudados de raízes tenham representado uma pequena fração do N-total da planta, estas substâncias modificam a rizosfera, podendo alterar a proporção das populações de microrganismos na comunidade microbiana do solo e, como consequência, os processos mediados pela microbiota.

A mineralização de resíduos culturais de aveia preta e milho foi reduzida pela dessecação dessas espécies com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio, porém a produção de massa seca do milho cultivado em solo com a palha dessas culturas não foi afetada. No entanto, devem ser desenvolvidos experimentos em campo para avaliar como a produção do

milho é afetada pela dessecação da cultura de cobertura com herbicidas, visto que neste trabalho de tese o N foi fornecido em níveis ótimos, visando garantir o desenvolvimento adequado da cultura.

O herbicida paraquat não afetou a partição do N na planta e as perdas de N do sistema solo-planta. Porém, é importante ressaltar que o herbicida é altamente tóxico à biota, podendo afetar negativamente os processos do ciclo do N mediados por microrganismos, como a mineralização, a fixação biológica, a desnitrificação e a nitrificação.

Os resultados deste trabalho de tese evidenciaram que maior atenção deve ser dada ao efeito dos herbicidas nos processos do ciclo do nitrogênio. Como a maioria dos experimentos foi realizada em casa-de-vegetação, propõe-se, como pesquisas futuras, o desenvolvimento de experimentos em condições de campo, com intuito de conhecer a real magnitude dos impactos causados pelo uso de herbicidas nos processos estudados. Além disso, alguns questionamentos importantes surgiram a partir deste trabalho de tese:

Como a desnitrificação é afetada pelos herbicidas?

Como os processos estudados afetam as culturas geneticamente modificadas para tolerância ao herbicida glyphosate?

As informações obtidas nesta tese e pesquisas futuras relacionadas ao tema podem ser úteis para elaboração de estratégias de manejo que aumentem o aproveitamento do N pelas culturas e reduzam o impacto ambiental ocasionado pelo uso de fertilizantes nitrogenados e herbicidas.