UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Ana Carolina Alves

**Métodos para quantificar a volatilização de N-NH₃ em
solo fertilizado com uréia**

Ana Carolina Alves

**Métodos para quantificar a volatilização de N-NH₃ em
solo fertilizado com uréia**

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Valdo Rodrigues Herling

FICHA CATALOGRÁFICA

preparada pela

Biblioteca da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo

A474m

Alves, Ana Carolina

Métodos para quantificar a volatilização de N-NH₃ em solo fertilizado com uréia / Ana Carolina Alves – Pirassununga, 2006.

41 f.

Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo.

Departamento de Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.

Orientador: Prof. Dr. Valdo Rodrigues Herling.

Unitermos: 1. Fertilizante nitrogenado 2. Absorvedor de amônia 3. ¹⁵N 4. Perdas de N-NH₃ I. Título.

RESUMO

As perdas gasosas nitrogenadas são consideráveis em pastagens e a utilização de métodos simples e acessíveis para mensurá-las é de extrema necessidade na avaliação do ciclo de N nesses sistemas. O objetivo desse trabalho foi determinar métodos para quantificar o NH_3 volatilizado de fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo, que tenham pouca interferência nos processos de volatilização.

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco repetições. No primeiro experimento os tratamentos foram: absorvedor de espuma a 1, 10, 20 e 30 cm do solo; absorvedor de papel a 1, 10, 20 e 30 cm do solo; coletor semi-aberto estático; e balanço de 15N (método de referência). E no segundo experimento os tratamentos foram: absorvedor de espuma a 1, 5, 10 e 20 cm do solo; absorvedor de papel a 1, 5, 10 e 20 cm do solo; absorvedor com ácido a 1, 5 e 10 cm do solo; coletor semi-aberto estático; e balanço de 15N (método de referência). Nos dois experimentos quantificou-se o N (NH_3) volatilizado.

As perdas de N- NH_3 determinadas pelo método do balanço de ^{15}N , no experimento 1, foram elevadas (73% do N aplicado) e nenhum dos absorvedores avaliados apresentou volatilização de N- NH_3 igual ao balanço de ^{15}N . Isso provavelmente ocorreu devido ao elevado valor de pH do solo e a intensa corrente de ar formada pelos exaustores da casa de vegetação, o que contribuiu para o aumento da volatilização de N- NH_3 e prejudicou a sua captação pelos absorvedores.

No experimento 2, o coletor semi-aberto, o absorvedor de espuma a 1cm, os absorvedores de papel a 1 e 5 cm e os absorvedores com ácido a 1; 5 e 10 cm apresentaram valores acumulados de N- NH_3 volatilizado iguais ao balanço de ^{15}N , estimando portanto as reais perdas acumuladas de N- NH_3 ($p < 0,0001$). O absorvedor de espuma a 1 cm foi o que apresentou a curva de perdas de N- NH_3 mais semelhante a do coletor semi-aberto, que foi considerado o método de referência para as comparações de perdas de N- NH_3 a cada dois dias durante o período experimental.

ABSTRACT

Gaseous losses are considerable in pastures, therefore the utilization of simple and accessible methods to measure them are extremely necessary to evaluate the cycle of N in these systems. This work aimed to determine methods that quantify volatilized NH_3 of nitrogenous fertilizers applied to soil which have little interference in the volatilization processes.

Two experiments in a greenhouse from Departamento de Zootecnia of Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos were conducted. Completely randomized experimental design was used with five repetitions. Treatments from the first experiment were: foam absorber at 1, 10, 20 and 30 cm from the ground; paper absorber at 1, 10, 20 and 30 cm from the ground; static semi-open collector and ^{15}N balance (reference method). In the second experiment the treatments used were as follows: foam absorber at 1, 5, 10 and 20 cm from the ground; paper absorber at 1, 5, 10 and 20 cm from the ground; acid absorber at 1, 5 and 10 cm from the ground; static semi-open collector and ^{15}N balance (reference method). Both experiments quantified volatilized N - NH_3 .

N- NH_3 losses determined by ^{15}N balance method in experiment 1 were high (73% of the applied N) and none of the evaluated absorbers presented the same N- NH_3 volatilization as the ^{15}N balance. These results probably occurred due to the high pH value from the soil and the intense airflow generated by the greenhouse fans what allowed the increase of N- NH_3 volatilization and harmed its capture by the absorbers.

In experiment 2, semi-open collector, foam absorber at 1cm, paper absorbers at 1 and 5 cm and acid absorbers at 1; 5 and 10 cm presented equal accumulated values of volatilized N- NH_3 as ^{15}N balance, therefore estimating the real N- NH_3 accumulated losses ($p < 0,0001$). Foam absorber at 1cm presented curves of N- NH_3 losses similar to semi-open collector, considered the reference method to compare N- NH_3 losses on each two days during the experimental period.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1	Adubação Nitrogenada.....	7
2.2	Volatilização de amônia (NH ₃).....	8
2.3	Métodos para quantificação da volatilização de amônia (NH ₃)	10
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A pecuária de corte representa um importante segmento da economia brasileira devido, principalmente, ao crescente aumento das exportações de carne. No Brasil, as pastagens constituem a base da produção de bovinos de corte. E essa fonte de alimento é de grande competitividade econômica comparada aos sistemas que adotam resíduos agroindustriais, cereais e silagem como base da alimentação (HODGSON, 1990). Devido à limitada possibilidade de aumento das áreas de pastagens, a fertilização passa a ser a principal alternativa para se atingir maior produção (BALSALOBRE, 2002).

O conhecimento da melhor eficiência do uso dos fertilizantes no processo de intensificação de pastagens é importante para viabilidade econômica do sistema. Além disso, a maximização da eficiência do uso de fertilizantes deve estar diretamente relacionada com o menor impacto ambiental de seu uso. Dentre os fertilizantes, os nitrogenados são usados em maior quantidade, tratando-se dos mais onerosos e de maior potencial em provocar danos ao meio ambiente.

As perdas gasosas são os principais fatores de ineficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados, contribuindo para emissão de óxido nitroso e amônia para atmosfera. Essas perdas precisam ser bem compreendidas para orientação do manejo de adubação das pastagens visando melhorar o aproveitamento dos fertilizantes aplicados. Porém os métodos utilizados para estimar as perdas por volatilização são de custo elevado ou causam alterações nas condições ambientais próxima à superfície do solo devido à presença da câmara coletora.

Dada a dificuldade da tomada destas medidas em campo e os altos valores das perdas gasosas nitrogenadas em sistemas de pastagens (OLIVEIRA, 2001) o desenvolvimento de métodos simples e acessíveis para a avaliação desses processos é de extrema necessidade na avaliação do ciclo de N. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi determinar a eficiência de métodos para quantificar o N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada sobre solo descoberto, que tenham pouca interferência nos processos de volatilização.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Adubação Nitrogenada

O nitrogênio (N) é considerado o macronutriente mais importante, seja no uso de fertilizantes por todo o mundo ou na constituição química das espécies vegetais (RAIJ, 1991). Dentre os compostos orgânicos indispensáveis à vida das plantas, o N é componente essencial de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hormônios e clorofila.

A atmosfera possui aproximadamente 78% de nitrogênio, principalmente na forma de N_2 , e é a fonte natural desse elemento para a biosfera. Apesar disso, o N_2 é uma fonte natural gasosa e não diretamente aproveitada pelas plantas, para tal, há necessidade de uma transformação prévia para as formas combinadas NH_4^+ (amônio) e NO_3^- (nitrato).

Os processos pelo qual o N é adicionado ao solo, resumidamente são a aplicação de adubos orgânicos ou minerais, a fixação biológica, a adição de matéria orgânica e o acréscimo de N pelas águas das chuvas (MELO, 1978; RAIJ, 1991).

A adição de N ao solo pelo uso de fertilizantes nitrogenados, juntamente com outras práticas de adubação, correção e manejo das plantas forrageiras eleva a produtividade destas e aumenta os indicadores de desempenho animal (MONTEIRO; EUCLIDES, 2005). Por ter influência positiva na síntese de proteínas e na produção de matéria seca das gramíneas, a adubação nitrogenada possibilita maior capacidade de suporte das pastagens (WENER et al., 1968; CORSI, 1980).

As principais causas da ineficiência na adubação nitrogenada em pastagens de gramíneas tropicais são as perdas gasosas, principalmente por volatilização (MARTHA JÚNIOR, 2003).

2.2 Volatilização de amônia (NH_3) .

A agricultura é responsável pela liberação de diversos gases que poluem o meio-ambiente como: a amônia (NH_3) que contribui para acidificação e eutrofização dos solos e das águas; e o óxido nitroso (N_2O) que contribui para o aquecimento global e destruição da camada de ozônio. Na Europa em 1990, aproximadamente 16% das emissões NH_3 totais eram provenientes do uso de fertilizantes nitrogenados e 2% da sua produção (KLAASSEN, 1994).

A volatilização é um processo físico-químico resultante do equilíbrio entre NH_3 na fase gasosa e em solução. A quantidade de N perdido por volatilização, após a aplicação de uréia sobre a superfície do solo, pode atingir valores extremos de até 80% do N aplicado em altos valores de pH (MARTHA JÚNIOR, 1999). Essas perdas variam muito em função das condições climáticas, do tipo de solo e do manejo da adubação.

Dos fatores climáticos, a temperatura e a precipitação pluviométrica geralmente são os de maior importância no processo de perdas, ainda que outros fatores, como a velocidade do vento, tenham influência (HARPER; SHARPE, 1995; MARTHA JÚNIOR, 2003). Altas temperaturas potencializam volatilizações de NH_3 , devido ao aumento na taxa de várias reações e na atividade da urease (TISDALE; NELSON; BEATON, 1985). As perdas de NH_3 por volatilização também são acentuadas quando as condições de umidade do solo ou de precipitação pluvial, após a aplicação da uréia, são insuficientes para proporcionar a movimentação do adubo para camadas mais profundas do solo. (RODRIGUES; KIEHL, 1986, DENMEAD; FRENEY; JACKSON, 1990; MARTHA JÚNIOR, 2003). Primavesi et al. (2001) observaram que para chuvas em torno de 10 mm, as perdas de N-uréia ficaram abaixo de 17% nas áreas tratadas com 100 kg/ha/corte de N, chegando a ser superiores a 22%, na mesma dose de N-uréia sem a ocorrência de chuvas. Em condições de elevadas temperaturas, ausência de precipitação após a adubação e altas taxas de evaporação de água do solo, Martha Júnior (1999) encontrou perdas de N- NH_3 de até 80% do N aplicado na forma de uréia. Sommer, Jensen e Schjorring (1993) verificaram que em pastagens de estrutura aberta como as de capim Tanzânia, onde não há redução da velocidade do vento no interior

da cobertura vegetal, as perdas de N-NH_3 para a atmosfera são facilitadas e as chances do N-NH_3 ser absorvido pelas folhas é menor.

No solo os fatores que mais influenciam a volatilização de NH_3 são o pH, a capacidade de troca de cátions (CTC), o poder tampão e a matéria orgânica (TRIVELIN; LARA CABEZAS; BOARETTO, 1994; FENN; HOSSNER, 1985; MARTHA JÚNIOR, 2003). O pH altera o equilíbrio entre NH_4^+ e NH_3 na solução do solo, de forma que em solos com baixos valores de pH, a forma de N amoniacal predominante é NH_4^+ e o potencial de volatilização é baixo, já em solos com altos valores de pH a forma predominante é o NH_3 e o potencial de volatilização é alto (HARRISON; WEBB, 2001). Arévalo (1986), avaliando a aplicação de uréia ou adubos orgânicos em capim colômbio, na presença ou ausência da correção do pH do solo e com aplicação de corretivos incorporados, encontrou valores da ordem de 56 a 69% de perdas gasosas de nitrogênio. Em solos de baixo poder tampão e CTC, a taxa de perda de NH_3 por volatilização ocorrem por mais tempo (FENN; HOSSNER, 1985; MARTHA JÚNIOR, 2003). A baixa CTC possibilita menor retenção do íon amônio, diminuindo a permanência do íon na forma trocável e aumentando as possibilidades de perdas (OLIVEIRA, 2001). A presença de resíduos orgânicos e conseqüente atividade da enzima urease também estimulam as perdas por volatilização de N-NH_3 (OLIVEIRA, 2001).

Outro fator que influencia a volatilização é o manejo de adubação através das fontes de nitrogênio utilizadas, doses e a forma de aplicação. Martha Júnior (1999) encontrou perdas de volatilização de 19 a 30% para o uso de sulfato de amônio em pastagem, enquanto que para uréia as perdas foram de 44 a 48% em solos com alta saturação por bases. As perdas por volatilização também podem ser reduzidas pela aplicação do fertilizante associado com sais inorgânicos do tipo superfosfato simples e cloreto de potássio (OLIVEIRA, 2001) e pela incorporação da uréia ao solo (RODRIGUES; KIEHL, 1986). Oliveira (2001) encontrou perdas gasosas variando de 14 a 38% para *Brachiaria brizantha*, sendo as menores perdas quando a uréia foi incorporada, fato que reduz as perdas pela volatilização de amônia. No trabalho de Primavesi et al. (2001) as perdas de N, em *Cynodon*, por volatilização da uréia ficaram

entre 1,1% a 52,9% dependendo da dose de uréia aplicada e das condições climáticas em cada período de avaliação.

As perdas por volatilização de N-NH_3 ocorrem mais intensamente na primeira semana após a aplicação da uréia (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990, COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003). Isso ocorre devido à elevação do pH do solo causada pela hidrólise da uréia (OLIVEIRA, 2001), após esse período as perdas diminuem, provavelmente, em consequência da queda do pH do solo associada ao consumo de OH durante a volatilização e a nitrificação do amônio (WHITEHEAD, 1995).

2.3 Métodos para quantificação da volatilização de amônia (NH_3)

As perdas por volatilização de amônia do solo, que recebeu aplicação de fertilizantes nitrogenados, podem ser estimadas por métodos diretos ou indiretos (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990). Os métodos diretos necessitam de aparelhos específicos e são basicamente: método micrometeorológico; e métodos com câmaras fechadas ou semi-abertas, estático, semi-estático ou dinâmico com fluxo de ar ou gás inerte de arraste isento de amônia. Os métodos indiretos podem ser realizados, segundo Trivelin (2001), utilizando fertilizante isotopicamente marcado (^{15}N).

O método micrometeorológico integra o fluxo de entrada e saída de amônia em uma grande área, a vantagem desse método em relação aos métodos com câmaras é que ele não interfere nos processos de volatilização, uma vez que não altera as condições ambientais próximas a superfície do solo (TRIVELIN, 2001). Porém, requerem a utilização de aparelhos sofisticados e caros, como microanemômetro e detectores de gases (DENMEAD, 1983).

Os métodos com câmaras são relativamente simples e próprios para experimentos com parcelas pequenas e com vários tratamentos numa mesma área, uma das desvantagens desse sistema é a formação de microclimas e a modificação das condições ambientais no seu interior, como: intensidade e comprimento de onda da luz; temperatura; ventilação; umidade relativa e a formação do orvalho que certamente

influenciam a volatilização de NH_3 quando comparado com condições naturais (TRIVELIN, 2001; LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990;).

Os coletores descritos por Nönmik (1973), com sistema semi-aberto estático são utilizados em estudos de campo e também apresentam limitações. Apesar de possibilitarem o intercâmbio relativamente livre do ar entre a superfície do solo e a atmosfera permitindo a difusão da amônia, eles provocam alterações na temperatura, umidade relativa, taxa de evaporação da água do solo e pressão de amônia no ambiente da câmara, reduzindo a percentagem e a quantidade de amônia volatilizada do fertilizante (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990).

Pesquisadores trabalhando no desenvolvimento de coletores de amônia para medidas de volatilização em condição de campo no Brasil (LARA CABEZAS, 1987, LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990; TRIVELIN et al., 1997; LARA CABEZAS et al., 1999), calibraram um coletor semi-aberto estático, usando como referência o método por balanço de ^{15}N sem influência da câmara. Isso possibilitou quantificar as perdas de amônia por volatilização sem o uso de fertilizante ^{15}N e representando a condição de ausência do coletor (TRIVELIN, 2001).

Entretanto, a calibração realizada se presta somente para condições de solo exposto, fato que limita sua aplicação apenas para pastagens de hábito de crescimento cespitoso, que formam touceiras e possuem áreas de solo exposto. Para pastagens que cobrem a superfície do solo não é indicado esse tipo de coletor.

Outro método utilizado na quantificação das perdas por volatilização é o balanço de ^{15}N , no qual as perdas de amônia são estimadas indiretamente pela diferença entre a massa de ^{15}N adicionada pelo fertilizante e a massa recuperada de ^{15}N após um determinado tempo de medida (TRIVELIN, 2001). Por este método podem ser quantificadas as perdas por volatilização, desde que as perdas por desnitrificação e lixiviação sejam evitadas ou quantificadas. Também é possível calibrar métodos diretos que utilizam câmaras de retenção de amônia. A principal restrição que tem sido feita ao uso do ^{15}N relaciona-se aos custos de fontes marcadas com o isótopo e das análises isotópicas (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Local

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, USP (21°59' S, 47°26' W, 634 m de altitude). A terra de um solo classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 1999) foi retirada de uma camada de 0-20 cm.

Realizou-se análise para determinar as características químicas do solo (Tabela1) e a sua densidade foi obtida por meio de determinação com anéis volumétricos. A calagem foi realizada utilizando-se o método de saturação por bases e a terra permaneceu incubada por 90 dias. Ao fim do período de incubação outra amostra foi coletada e suas características químicas determinadas (Tabela 1), mostrando que o pH havia elevado, proporcionando melhores condições para a volatilização da amônia.

Tabela 1. Características químicas do solo usado no experimento

	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	SB	V%	m%
	CaCl ₂	g/dm ³	g/dm ³						Mmolc/dm ³			
Original	5,3	11	13	1,5	23	12	24	TR	61	37	60	TR
Após correção e incubação	6,6	19	13	1,7	39	14	8	TR	63	55	87	TR

Os vasos de plástico com 20 cm de altura, 17 cm diâmetro e sem furos para escoamento de água foram preenchidos com 4,4 kg de terra.

As médias da temperatura e a umidade relativa do ar na casa de vegetação, durante a realização dos experimento 1 e 2, podem ser visualizadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 – Temperatura (°C) e umidade do ar (%) médias durante o período experimental 1.

Figura 2 – Temperaturas (°C) e umidade do ar (%) médias durante o período experimental 2.

Tratamentos e Delineamento Experimental

Foram realizados dois experimentos para quantificar e comparar o N-NH₃ volatilizado.

Experimento 1

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, composto por 10 tratamentos que consistiam em quatro métodos de avaliação (absorvedor de espuma, absorvedor de papel, coletor semi-aberto e balanço de ¹⁵N), e quatro alturas (1; 10; 20 e 30 cm) em relação à superfície do solo somente para os absorvedores de espuma e papel (Tabela 2). Para cada tratamento foram feitas cinco repetições totalizando 50 vasos (unidades experimentais).

Tabela 2 – Tratamentos do experimento1

Tipos de coletores	Altura dos coletores
Absorvedor de espuma (AE)	1 cm
	10 cm
	20 cm
	30 cm
Absorvedor de papel (AP)	1 cm
	10 cm
	20 cm
	30 cm
Coletor semi-aberto (CSA)	-
Balanço de ¹⁵ N	-

O período experimental foi de 05 a 25 de maio de 2005. Aplicou-se em cada vaso, no dia 5 de maio, uma dose de uréia equivalente a 100Kg de N/ha. Nos tratamentos dos absorvedores de espuma, papel e coletor semi-aberto aplicou-se uréia normal enquanto no tratamento do balanço de ^{15}N aplicou-se uréia com enriquecimento de 5% em átomos de ^{15}N . O fertilizante foi diluído em água e aplicado sobre o solo dos vasos. Em seguida os absorvedores e coletores foram colocados nos vasos, com exceção do tratamento do balanço de ^{15}N o qual não recebeu absorvedor ou coletor.

Os absorvedores e as espumas dos coletores eram trocados a cada dois dias para determinação da amônia volatilizada, sendo portanto, no período experimental realizadas 11 amostragens num período de 22 dias.

Os vasos foram colocados em cima de estrados de madeira próximo ao chão, onde a corrente de ar, criada pelos exaustores, era menos intensa, evitando-se assim possível interferência na captação do N-NH_3 volatilizado (Figura 3). Os vasos foram mantidos a 50% da capacidade de campo, evitando assim, perdas por desnitrificação. Para isso, eram diariamente pesados e irrigados de acordo com a necessidade. Nos vasos que receberam os coletores semi-aberto a irrigação foi realizada por fora do coletor, fato que aumenta a volatilização, superestimando os resultados.

Figura 3. Vista geral do experimento 1

Absorvedor de espuma (AE)

Os absorvedores utilizados foram semelhantes aos usados por Trivelin e Manzoni (2002). As espumas usadas nos absorvedores tinham 8,0 x 8,0 cm, densidade de 0,02 g/cm³ e foram embebidas com 11 mL de ácido fosfórico (0,05N) (Figura 4). Em seguida foram colocadas sobre placas de PVC de 10,0 x 10,0 x 0,2 cm e envolvida por uma camada de fita de polytetrafluoretileno (PTFE ou veda rosca) que é permeável a amônia e impermeável a água (Figura 5). Os absorvedores foram deixados em sacos plásticos até o momento da sua colocação sobre os vasos.

Figura 4 - Embebecimento da espuma do absorvedor com ácido fosfórico

Figura 5 - Colocação das espumas sobre a placa de PVC e envolvimento com a fita de PTFE

Cada vaso recebeu um absorvedor que foi colocado em alturas diferentes de acordo com cada tratamento (1; 10; 20 ou 30 cm). Os absorvedores foram apoiados em quatro hastes com a placa de PVC voltada para cima, evitando assim, que a amônia presente acima do coletor fosse captada (Figura 6).

Figura 6 – Absorvedor de espuma

Após dois dias os absorvedores foram retirados e armazenados em sacos plásticos na geladeira. Foram colocados novos coletores no lugar dos que haviam sido retirados (Figura 7). Para a determinação do N, as espumas foram lavadas com aproximadamente 300 mL de água em um funil de Buckner com placa porosa ligado a uma bomba de vácuo (Figura 8). Retirou-se uma alíquota de 50 mL que foi levada para o microkjeldahl. Adicionou-se 15mL de NaOH (40%) à amostra e realizou-se a sua destilação. A solução receptora foi o ácido bórico a 5% e utilizou-se ácido clorídrico a 0,02N para a titulação.

Figura 7 - Absorvedor de espuma

Figura 8 - Lavagem da espuma do absorvedor

Absorvedor de papel (AP)

Os papéis filtro usados nos absorvedores tinham 8,0 x 8,0 cm, foram embebidos em 2 mL de H_2SO_4 5 M e colocados sob uma placa de PVC de 10,0 x 10,0 x 0,2 cm que foi envolvida por uma camada de fita de polytetrafluoretileno (Figuras 9 e 10). Os absorvedores utilizados foram semelhantes aos usados por Trivelin e Manzoni (2002).

Figura 9 - Colocação do papel filtro sobre a placa de PVC e embebecimento com ácido sulfúrico (5M)

Figura 10 - Envolvimento das placas com fita PTFE

Os absorvedores foram deixados em sacos plásticos até o momento da sua colocação sobre os vasos (Figura 11). Colocou-se um absorvedor em cada vaso em diferentes alturas de acordo com os tratamentos (1; 10; 20 ou 30 cm) sempre mantendo a placa de PVC no lado superior. Após dois dias, os absorvedores foram substituídos por novos e os absorvedores retirados foram armazenados em saco plásticos na geladeira.

Figura 11 – Absorvedor de papel

Para a determinação do N, o papel filtro foi triturado em um almofariz com o pistilo e misturado a aproximadamente 150mL de água (Figura 12). Retirou-se uma alíquota de aproximadamente 50 mL que foi levada para o microkjeldahl. Adicionou-se 15 mL de NaOH (40%) à amostra e realizou-se a sua destilação. A solução receptora foi o ácido bórico a 5% e utilizou-se ácido clorídrico a 0,02N para a titulação.

Figura 12 – Trituração do papel filtro

Para a quantificação do N amoniacal, coletado nos absorvedores de papel e espuma, utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{N amoniacal} = \frac{\text{volume gasto de HBO}_3 \times \text{normalidade do HCl} \times \text{massa atômica do N}}{(\text{peso da amostra} / 100)}$$

HBO₃ - ácido bórico

HCl - ácido clorídrico

N – nitrogênio

Coletor semi-aberto (CSA)

Utilizou-se o coletor semi-aberto desenvolvido por Nönmik (1973) com as adaptações realizadas por Lara Cabezas et al (1999) (Figura 13). As espumas foram embebidas com 30 mL de ácido fosfórico (0,5 N e 5% de glicerina) (Figura 14) e armazenadas em sacos plásticos até o momento da colocação nos coletores.

Figura 13 – Coletor semi-aberto

Figura 14 – Embebecimento das espumas do coletor semi-aberto com ácido fosfórico

Após dois dias estas foram retiradas dos coletores e substituídas por novas, e assim sucessivamente até completar os 22 dias e as onze observações. A espuma localizada na parte superior do coletor foi descartada e a inferior foi colocada em saco plástico devidamente identificado e armazenada em geladeira para posterior análise.

Para a determinação da quantidade de N as espumas foram lavadas com aproximadamente 400mL de água em um funil de Buckner com placa porosa ligado a uma bomba de vácuo, retirou-se uma alíquota de 50mL a qual foi levada para o microkjeldahl. Adicionou-se 15 mL de NaOH (40%) à amostra e realizou-se a sua destilação. A solução receptora foi o ácido bórico a 5% e utilizou-se ácido clorídrico a 0,02 N para a titulação.

Como nos coletores semi-aberto ocorrem alterações nas condições internas, o que impossibilita quantificar as perdas de N-NH_3 que efetivamente ocorrem em condições naturais, foram utilizadas equações de calibração apresentadas por Lara Cabezas et al. (1999) para expressar a volatilização de N-H_3 em áreas não vegetadas, sem a influência dos coletores.

Balanço de ^{15}N

Aplicou-se nos vasos referentes ao tratamento do balanço de ^{15}N uréia enriquecida em 5% de átomos de ^{15}N numa dose equivalente a 100 kg de N/ha (Figura 15). Após os 22 dias de experimento, a terra dos vasos que continha ^{15}N foi amostrada em 3 profundidades (0 - 5, 5 - 10 e de 10 - 15 cm), contemplando toda a profundidade do vaso. O solo foi borrifado com uma solução de H_2SO_4 5 M para evitar a volatilização do N-NH_3 e em seguida foi secado em estufa a 40° C para posterior análise em espectrômetro de massa ANCA SL, no CENA/USP. O solo natural foi amostrado e também foi avaliado quanto à abundância natural de ^{15}N .

Figura 15 – Balanço ^{15}N

Foram avaliadas as seguintes variáveis no sentido de se detectar as perdas de amônia por volatilização pelo método do balanço com ^{15}N .

1. Teor de N (g kg^{-1}) e abundância de ^{15}N (% em átomos) no solo vasos, determinadas em espectrômetro de massa acoplado com analisador ANCA-SL (Europa Scientific Ltda.);

2. Porcentagem de N na terra, proveniente do fertilizante (%NPPF), conforme a equação: $\%NSPF = [(a-c)/(b-c)] \cdot 100$, onde:

a = abundância de ^{15}N em % de átomos no solo;

b = abundância de ^{15}N no fertilizante marcado;

c = abundância natural de ^{15}N dos controles.

3. Quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (QNSPF), conforme a equação: $QNSPF \text{ (g/vaso)} = [\%NSPF/100] \cdot N_p$, onde:

N_p = N acumulado no solo do vaso em g.

4. Recuperação do N aplicado no solo

$Rec = (QNSPF/QN_{aplicado}) \cdot 100$

5. Perdas por volatilização

$Perdas = 100 - Rec$

Experimento 2

O experimento 2 foi instalado com o objetivo de validar os resultados do experimento 1, modificando-se alguns aspectos. Foi colocada uma cortina plástica ao redor das bancadas do experimento, para evitar a incidência dos ventos fortes dos exaustores. A altura intermediária de 5 cm foi adicionada aos absorvedores com o objetivo de ver a possibilidade de repetição dos resultados obtidos na altura de 1 cm. Um novo tipo de coletor que evita a lavagem com bomba à vácuo, que é um processo demorado e trabalhoso, também está sendo testado, detalhes constam no item abaixo. A irrigação dos vasos que receberam o coletor semi aberto foi realizada em área total para evitar a superestimação da amônia volatilizada.

O segundo experimento foi realizado de 26 de agosto a 15 de setembro de 2005. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, composto por 13 tratamentos que consistiam em métodos de avaliação e alturas dos absorvedores. Os métodos utilizados foram: absorvedor de espuma; absorvedor de papel; absorvedor com ácido; coletor semi-aberto; e balanço de ^{15}N . Para os métodos do absorvedor de

espuma e papel foram utilizadas quatro alturas de absorvedores (1; 5; 10 e 20 cm) em relação à superfície do solo e para o absorvedor com ácido utilizaram-se três alturas (1; 5 e 10 cm) na mesma unidade experimental (vaso). Para cada tratamento foram feitas cinco repetições totalizando 55 vasos (unidades experimentais) (Tabela 3).

Tabela 3 – Tratamentos do experimento 2

Tipos de coletores	Altura dos coletores
Absorvedor de espuma (AE)	1 cm
	5 cm
	10 cm
	20 cm
Absorvedor de papel (AP)	1 cm
	5 cm
	10 cm
	20 cm
Absorvedor com ácido (AA)	1 cm
	5 cm
	10 cm
Coletor semi-aberto (CSA)	-
Balanço de ^{15}N	-

Os vasos foram colocados em bancadas cercadas com lona plástica transparente evitando assim que houvesse a passagem da corrente de vento criada pelos exaustores da casa de vegetação e uma possível interferência na captação do N amoniacal volatilizado (Figura 16). Os absorvedores e as espumas dos coletores eram trocadas a cada dois dias para determinação da amônia volatilizada, sendo portanto, no período experimental realizadas 11 amostragens num período de 22 dias. Os vasos foram mantidos a 50% da capacidade de campo e para isso eram diariamente pesados e irrigados de acordo com a necessidade. Nos vasos que receberam os coletores semi-

aberto a irrigação foi realizada em toda área do vaso evitando aumento da volatilização de N-NH_3 e erros nas mensurações da amônia captada por esse coletor.

Figura 16. Vista geral do experimento 2

Os procedimentos utilizados no experimento 2 para o balanço de ^{15}N e o coletor semi-aberto foram os mesmos utilizados no experimento 1. Para os absorvedores de papel e espuma alteraram-se as alturas dos coletores como mencionado anteriormente. No experimento 2 foi adicionado novo tratamentos, o absorvedor com ácido.

Absorvedor com ácido (AA)

Tomou-se um recipiente de plástico com tampa e capacidade para 35 mL. Na tampa fez-se um orifício em toda sua área, permanecendo apenas a parte que se encaixa no tubo para fechar. O recipiente recebeu 5 mL de H_2SO_4 5M, sua abertura foi vedada com fita de polytetrafluoretileno e em seguida a tampa com orifício foi encaixada prendendo a fita. Estes foram mantidos em sacos plásticos até momento da colocação nos vasos. Os absorvedores foram fixados em uma haste de plástico em três

alturas, 1, 5 e 10 cm com a abertura vedada voltada para baixo. Em cada um dos vasos desse tratamento foi colocada uma haste, contendo três absorvedores nas alturas mencionadas, de forma que cada absorvedor formava um ângulo de 120° como o próximo, evitando assim interferência dos absorvedores na captação da amônia volatilizada. (Figura 17).

Figura 17 – Absorvedor com ácido

Após dois dias os absorvedores foram substituídos por novos. O conteúdo retirado dos recipientes foi armazenado em um frasco vedado e identificado, e em seguida foram armazenados em freezer até o momento da análise.

Para a determinação da quantidade de N, diluiu-se em água o conteúdo dos recipientes que estavam armazenados no freezer até completar o volume de 150 mL. Retirou-se uma alíquota de 50 mL, que foi levada ao microkjeldahl. Adicionou-se 15 mL de NaOH (40%) à amostra e realizou-se a sua destilação. A solução receptora foi o ácido bórico a 5% e utilizou-se ácido clorídrico a 0,02N para a titulação.

Diferente do experimento 1 no qual as amostras coletadas eram armazenadas em geladeira, no experimento 2 estas foram mantidas em freezer até o momento das análises. Os valores das perdas nos absorvedores foram expressos em mg/vaso/dia e os valores foram comparados ao método de referência (balanço de ^{15}N).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento 1

No experimento 1, a estimativa de perda por volatilização pelo balanço de ^{15}N , considerada como a estimativa real do processo, foi de 188 mg/vaso e corresponde a 74% do N aplicado. Essa perda foi alta, devido ao elevado valor de pH do solo (6,6) que potencializa a volatilização de N-NH_3 (HARRISON; WEBB, 2001) e à corrente de ar provocada pelos exaustores, uma vez que a velocidade do vento é um fator que contribui para a volatilização (MARTHA JÚNIOR, 2003, SOMMER et al. (1993). Martha Júnior (1999) encontrou perdas de N-NH_3 de até 80% do N aplicado na forma de uréia, em condições de elevadas temperaturas, ausência de precipitação após a adubação e altas taxas de evaporação de água do solo.

Os absorvedores de papel e de espuma (AP e AE), em todas as alturas, apresentaram quantidades acumuladas de N-NH_3 volatilizado inferiores às encontradas no balanço de ^{15}N ($p < 0,01$), Figura 18. Apesar dos absorvedores subestimarem a volatilização nesse experimento, observou-se que a 1cm do solo eles apresentaram maior eficiência na retenção do N-NH_3 volatilizado, que os colocados a 10, 20 e 30 cm do solo. A baixa eficiência de captação de N-NH_3 pelos absorvedores também é explicada pela corrente de ar criada pelos exaustores da casa de vegetação, que além de contribuir para o aumento da volatilização de N-NH_3 provocou o seu arraste, prejudicando a sua captação pelos absorvedores. Sommer et al (1993) observaram que em pastagens de estrutura aberta como as de capim Tanzânia, onde não há redução da velocidade do vento no interior da cobertura vegetal, as perdas de N-NH_3 para a atmosfera são facilitadas e as chances do N-NH_3 ser absorvido pelas folhas é menor.

A volatilização acumulada de N-NH_3 no método do coletor semi-aberto foi de 257 mg/vaso, portanto, as perdas foram superiores aos valores encontrados no balanço de ^{15}N (Figura 18). Isso ocorreu devido à irrigação dos vasos ter sido feita ao redor do coletor semi-aberto e não em toda a superfície do vaso como deveria ter sido realizada, provocando assim, maiores perdas de N-NH_3 por volatilização. Outro fator que pode ter

contribuído para as altas quantidades de N nas espumas analisadas foi o crescimento de fungos durante o período que estas ficaram armazenadas em geladeira.

Figura 18 – Perdas acumuladas de N-NH₃ volatilizado (mg/vase) estimadas pelos métodos estudados, no experimento 1. Letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1%. AE1, AE10, AE20, AE30 = absorvedor de espuma a 1, 10, 20 e 30 cm. AP1, AP10, AP20 e AP30 = absorvedor de papel a 1, 10, 20 e 30 cm. 15N = balanço de ¹⁵N. CSA = coletor semi-aberto.

Nas Figuras 19 e 20 estão apresentados os valores de N-NH₃ volatilizado (mg/vase) nos 22 dias de experimento. Observa-se que o processo de volatilização de N-NH₃ teve sua máxima expressão na primeira semana após a aplicação da uréia, diminuindo posteriormente. Esse comportamento também foi verificado por Lara Cabezas e Trivelin (1990) e Costa, Vitti e Cantarella (2003) e pode ser explicado pela elevação do pH do solo causada pela hidrólise da uréia, o que favorece as perdas de N-NH₃ (OLIVEIRA, 2001). Após esse período as perdas diminuem, provavelmente, em

consequência da queda do pH do solo associada ao consumo de OH durante a volatilização e a nitrificação do amônio (WHITEHEAD, 1995).

O comportamento da curva de volatilização de amônia foi semelhante para todos os absorvedores, com exceção ao AE 20 e AE30, com pico de volatilização por volta de 4 a 6 dias após a aplicação. Devido a essa semelhança existe a possibilidade de realização de calibração entre os absorvedores e o método de referência ^{15}N .

Figura 19 – Estimativa das perdas de N-NH_3 volatilizado (mg/vaso) pelos métodos AE1, AP1 e CSA avaliados durante 22 dias no experimento 1. Letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1%.

Figura 20 – Estimativa das perdas de N-NH₃ volatilizado (mg/vaso) pelos métodos avaliados durante 22 dias no experimento 1. Letras distintas não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1%.

Experimento 2

As estimativas de volatilização acumulada de N-NH₃ para o coletor semi-aberto (CSA), foram semelhantes apenas àquelas obtidas para o absorvedor de espuma a 1cm (AE1) e o balanço de ¹⁵N (¹⁵N) ($p \leq 0,01$). Os absorvedores com ácido a 1; 5 e 10 cm (AA1, AA5 e AA10) e os absorvedores de papel a 1 e 5 cm (AP1 e AP5) apresentaram valores acumulados de N-NH₃ volatilizado iguais entre si e ao balanço de ¹⁵N ($p \leq 0,01$) (Figura 21). Portanto, o AE1, AA1, AA5, AA10, AP1 e AP5 estimaram as reais perdas acumuladas de N-NH₃. Manzoni e Trivelin (2003) comparando absorvedores de papel com o método do balanço de ¹⁵N, observaram que os

absorvedores de papel a 1cm só estimaram as reais perdas de N-NH₃ por volatilização em condições de alta volatilização.

Figura 21 – Perdas acumuladas de N-NH₃ volatilizado (mg/vase) estimadas pelos métodos estudados, no experimento 2. Letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1%. AE1, AE5, AE10, AE20 = absorvedor de espuma a 1, 5, 10 e 20 cm. AP1, AP5, AP10 e AP20 = absorvedor de papel a 1, 5, 10 e 20 cm. AA1, AA5, AA10 e AA20 = absorvedor de papel a 1, 5, 10 e 20 cm. 15N = balanço de ¹⁵N. CSA = coletor semi-aberto

Os absorvedores de espuma nas alturas superiores a 5 cm (AE5, AE10 e AE20) e os coletores de papel nas alturas superiores a 10 cm (AP10 e AP20) subestimaram as perdas de N-NH₃ por volatilização. Pois parte do N-NH₃ volatilizado se dispersou antes de atingir os absorvedores.

Pelo método do balanço de ¹⁵N a volatilização de N-NH₃ foi de 47 mg/vase, que corresponde a 18% do N aplicado pelo fertilizante. A colocação de uma cortina de plástico transparente em todo o perímetro da bancadas, na tentativa de diminuir a velocidade da corrente de ar nessa área, colaborou para menor volatilização de N-NH₃

e evitou interferências na sua captação. Esse comportamento é facilmente observado, quando se compara os resultados obtidos nos experimento 1 e 2.

Outros autores já haviam observado a influência que as condições climáticas exercem nos processos de perdas por volatilização, por exemplo, Primavesi et al. (2001) observaram perdas de N por volatilização da uréia entre 1,1% a 52,9% dependendo da dose de uréia aplicada e das condições climáticas (temperatura e precipitação) em cada período de avaliação. A temperatura e a precipitação pluviométrica geralmente são os fatores climáticos de maior importância no processo de perdas, porém a velocidade do vento também tem influência nesses processos (HARPER; SHARPE, 1995; MARTHA JÚNIOR, 2003) como verificamos nesse experimento.

As estimativas das perdas acumuladas de N-NH₃ pelos métodos AE1, AA1, AA5, AA10, AP1 e AP5 foram iguais às do método do balanço de ¹⁵N. No entanto, para afirmar que estes métodos estimam a real volatilização de N-NH₃, é preciso comparar, além dos valores acumulados de N-NH₃ volatilizado, os valores de N-NH₃ em cada dia de avaliação com o método de referência, ou seja, a curva de volatilização de amônia ao longo do tempo. Nesse experimento, a avaliação da volatilização de N-NH₃ pelo método do balanço de ¹⁵N (método de referência) foi realizada somente no último dia do período experimental, não sendo, portanto, possível estimar as perdas em cada dia por esse método. Porém, utilizou-se o CSA que já tinha sido calibrado pelo método do balanço de ¹⁵N por Lara Cabezas et al. (1999). Desta forma, foram comparados os valores das perdas N-NH₃ para o CSA com os demais absorvedores, em cada dia de avaliação (Figura 22, 23 e 24).

Na figura 22, observa-se que do 4º ao 10º dia após a aplicação da uréia as perdas estimadas pelo AE1 são semelhante às do CSA. Neste período as perdas são consideradas as mais relevantes. No 14º e 22º dia, novamente as estimativas das perdas para esses dois métodos são as mesmas (p<0,001).

Com o uso do AE 1 foi possível obter as estimativas reais de volatilização de N-NH₃ acumulada e as que ocorreram diariamente.

Apesar das curvas referentes ao AE5, AE10 e AE20 apresentarem quantidades inferiores de N-NH₃ comparado ao CSA, observa-se que estas são parecidas,

apresentando o pico de perdas por volta do 6º dia. A semelhança entre essas curvas, pode permitir a calibração desse método com o método do ^{15}N como realizado para o CSA por Lara Cabezas e Trivelin (1999).

As estimativas de perdas do AP1 e AP5 são as mesmas que a do CSA do 6º ao 10º, no 14º e no 22º dia após a aplicação da uréia (Figura 23).

No 6º, no 10º e do 14º ao 18º dia após a aplicação da uréia, as quantidades estimadas de volatilização de N-NH_3 pelo método do CSA foram iguais ao AA1. O AA5 apresentou volatilizações semelhantes ao CSA do 8º ao 10º e do 14º ao 18º dia após a aplicação a uréia (Figura 24).

O processo de volatilização de N-NH_3 teve sua máxima expressão na primeira semana após a aplicação da uréia, como também verificado no experimento 1, e nos experimentos realizados por Lara Cabezas e Trivelin (1990) e Costa, Vitti e Cantarella (2003).

Figura 22 – Estimativa das perdas de N-NH_3 volatilizado (mg/vaso) pelos métodos do CSA, AE1, AE5 e AE10 avaliados durante 22 dias no experimento 2. Letras distintas não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1%.

Figura 23 – Estimativa das perdas de N-NH₃ volatilizado (mg/vaso) pelos métodos do CSA, AP1, AP5 e AP10 avaliados durante 22 dias no experimento 2. Letras distintas não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1%.

Figura 24 - Estimativa das perdas de N-NH₃ volatilizado (mg/vaso) pelos métodos do CSA, AA1, AA5 e AA10 avaliados durante 22 dias no experimento 2. Letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1%.

Observou-se que a quantidade de N-NH_3 perdido e retido que esteve mais próxima à encontrada no CSA durante os 22 dias de avaliação foi a do AE1.

Sendo as estimativas de volatilização de N-NH_3 pelo balanço de ^{15}N iguais àquelas obtidas pelos métodos do CSA e do AE1, é possível que o AE1 possa substituir o balanço de ^{15}N e o CSA na quantificação da amônia volatilizada, uma vez que este método apresenta menor custo em relação a estes dois e não interfere no processo natural de volatilização de N-NH_3 do solo como verificou Lara Cabezas e Trivelin (1990) para o CSA.

Alguns estudos já estão sendo realizados com o objetivo de avaliar esse absorvedor em campo, para quantificar em pastagens, a volatilização e a emissão de N-NH_3 pela folhagem das plantas.

5 CONCLUSÃO

No experimento 2, o absorvedor de espuma colocado a 1 cm do solo estimou as reais perdas diárias e acumulada de N-NH_3 , sendo eficiente na captação do N-NH_3 volatilizado da uréia aplicada ao solo.

Os absorvedores com ácido nas alturas de 1, 5 e 10 cm do solo e os absorvedores de papel nas alturas de 1 e 5 cm do solo, no experimento 2, apresentaram estimativas reais das perdas acumuladas de N-NH_3 por volatilização.

A velocidade do vento aumentou as perdas de N-NH_3 e prejudicou a sua captação pelos absorvedores. É preciso, num experimento dessa natureza, ter bom controle das condições ambientais para que vento ou mesmo pH elevado não possam ser mais importantes que a comparação dos métodos avaliados de retenção do N volatilizado, como foi realizado no experimento 2.

REFERÊNCIAS

- BALSALOBRE, M. A. A. **Valor alimentar do capim Tanzânia irrigado**. 2002. 113 f. TESE (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.
- CORSI, M. Parâmetros para intensificar o uso das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 6., 1980, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1980. p. 214 - 240.
- COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, p.631-637, 2003.
- DENMEAD, O T. Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. In: FRENEY, J. R.; SIMPSON, J. R Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Hague: Martinus Nijhoff, 1983. v. 9, p. 133 - 157.
- DENMEAD, O. T.; FRENEY, J. R.; JACKSON, A. V. Volatilization of ammonia from urea and ammonium sulfate applied to sugarcane trash in north Queensland. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONFERENCE, 12., 1990, Journsville. **Proceedings...** Journsville: Watson Ferguson, 1990, p. 72 - 78.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999, 421p.
- FENN, L B; HOSSNER, L R. Ammonia volatilization from ammonium or ammonium-forming nitrogen fertilizers. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 123-169. 1985.
- HARPER, L. A.; SHARPE, R. R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: Soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, p. 669-675, 1995.
- HARRISON, R; WEBB, J. . A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. **Advances in Agronomy**, New York, v.73, p. 65-108, 2001.

HODGSON, J. G. **Grazing management** – science into practice. New York: Longman Scientific and Technical, 1990. 203p.

KLAASSEN, G. Options and costs of controlling ammonia emissions in Europe. **European Review of Agricultural Economics**, Berlin, DT, v.21, p. 219-240, 1994.

LARA CABEZAS, W. A. R. **Calibração de um método para estimar perdas por volatilização de N-NH₃ de fertilizantes nitrogenados aplicados no solo**. 202p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1987.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 14, p.345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizer. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v. 30, p.389-406, 1999.

MANZONI, C. S.; TRIVELIN, P. C. O. **Determinação do N-amônia volatilizado do solo pelo método por difusão**. Piracicaba, 2003. No prelo.

MARTHA JUNIOR, G. B. **Balanço de ¹⁵N e perdas de amônia por volatilização em pastagens de Capim-Elefante**. 1999. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

_____. **Produção de forragem e transformação do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim Tanzânia**. 2003. 162 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.

MONTEIRO, F. A.; EUCLIDES, V. P. B. Adubação de plantas forrageiras cm ênfase na produção e qualidade forrageira. In: SIMPÓSIO DE VOLUMOSOS NA PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 2., 2005, Jaboticabal. **[Palestras]**... Jaboticabal: FUNEP, 2005. p.214 - 240.

MELO, W. J. **Matéria orgânica, nitrogênio e enxofre**. Jaboticabal: ANDA, 1978. 66p. Apostila do Curso de Atualização em Fertilidade do solo.

NÖNMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 39, p. 309-318, 1973.

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

PRIMAVESI, O. et al. **Adubação com uréia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob manejo rotacionado: eficiência e perdas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. (Circular Técnica, 30).

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do Solo e Adubação**. Piracicaba: CERES-POTAFÓS, 1991. 343p.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Distribuição e nitrificação da amônia após o emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 10, p.37-43, 1986.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4th ed. New York: Macmillan, 1985.

TRIVELIN, P. C. O. **Técnicas com o traçador ^{15}N em estudos de perdas gasosas de nitrogênio do solo**. Piracicaba, 2001. Apostila do programa de pós-graduação em energia nuclear na agricultura, CENA/USP.

TRIVELIN, P. C. O.; MANZONI, C. S. **Determinação de N-amônia volatilizado do solo pelo método da difusão**. Piracicaba, 2002. 11p. Projeto apresentado à FAPESP para bolsista de iniciação científica.

TRIVELIN, P. C. O.; LARA CABEZAS, W. A. R.; BENDASOLLI, J. A. Coletor semi aberto estático para estimar perdas reais de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26., 1997, Rio De Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

TRIVELIN, P. C. O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; BOARETTO, A. E. Dinâmica do nitrogênio de fertilizantes fluidos no sistema solo-planta. In: VITTI, G.C; BOREATTO, A. E. Fertilizantes fluidos. Piracicaba: Potafós, 1994. p.314-330.

WERNER, J.C. et al. Fontes de nitrogênio e seus efeitos na produção forrageira. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v.25, p.151-159, 1968.

WHITEHEAD, D. C. Volatilization of ammonia. In: _____. **Grassland nitrogen**. Wallingford: CAB international, 1995. p. 152-179.

SOMMER, S. G.; JENSEN, E S; SCHJORRING, J K. Leaf absorption of atmospheric ammonia emitted from pig slurry applied beneath the canopy of winter wheat. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Copenhagen, DK, v. 43, p.21-24, 1993.