

Volatilização de amônia proveniente de fertilizantes minerais mistos contendo ureia

Gabriela Cemirames de Sousa Gurgel⁽¹⁾, Anderson Claiton Ferrari⁽¹⁾, Ademir Fontana⁽²⁾, José Carlos Polidoro⁽²⁾, Leonardo de Andrade Martins Coelho⁽¹⁾ e Everaldo Zonta⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Solos, BR 465, Km 7, CEP 23897-000 Seropédica, RJ, Brasil. E-mail: gabriela_cemirames@hotmail.com, anderson.rural@hotmail.com, leonardoamcoelho@gmail.com, ezonta@ufrj.br ⁽²⁾Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, nº 1024, Jardim Botânico, CEP 22460-000 Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: jose.polidoro@embrapa.br, ademir.fontana@embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi selecionar um método para estimar o N-NH₃ perdido por volatilização e determinar essas perdas em fertilizantes mistos contendo ureia. Um experimento foi realizado em casa de vegetação, em bandejas preenchidas com solo arenoso, com as doses de ureia de 0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N. A amônia volatilizada foi quantificada por três métodos: CSA, coletor semiaberto; Sale, coletor semiaberto livre estático; e CA, coletor aberto. Em um segundo experimento, avaliou-se a volatilização de amônia proveniente de 18 fertilizantes mistos com ureia, ácidos húmicos e zeólita, em solos com textura arenosa e argilosa, na dose de 200 kg ha⁻¹ de N. O CSA foi o método que recuperou mais N, seguido do Sale e do CA. O Sale é mais adequado para experimentos com elevado número de unidades amostrais, por ser mais prático. Os fertilizantes minerais mistos com ureia e ácido húmico (5 e 10%) e com ureia e zeólita (10%) apresentaram os melhores resultados na mitigação da volatilização da amônia, com redução nas perdas de N-NH₃ de até 38%. Os tratamentos são mais efetivos no combate à volatilização no solo de textura arenosa.

Termos para indexação: ácidos húmicos, coletores semiabertos, fertilizantes nitrogenados, fertilizantes organominerais, perdas de N, zeólita.

Ammonia volatilization from mixed mineral fertilizers containing urea

Abstract – The objective of this work was to select a method for estimating N-NH₃ lost by volatilization and to determine these losses in mixed fertilizers containing urea. An experiment was conducted in a greenhouse in trays filled with sandy soil, with urea rates of 0, 50, 100, and 200 kg ha⁻¹ N. Volatilized ammonia was quantified by three methods: CSA, semi-open collector; Sale, free and static semi-open collector; and CA, open collector. In a second experiment, volatilization of ammonia from 18 fertilizers mixed with urea, humic acids, and zeolite was evaluated in sandy and clayey soils, at 200 kg ha⁻¹ N. CSA was the method with the highest N recovery, followed by Sale and CA. Sale is more suited for experiments with a high number of experimental units, since it is more practical. The mixed fertilizers with urea and humic acids (5 and 10%) and with urea and zeolite (10%) had the best results in the mitigation of ammonia volatilization, reducing N-NH₃ losses in up to 38%. The treatments are more effective in mitigating volatilization losses in the sandy soil.

Index terms: humic acids, semi-open collectors, nitrogen fertilizers, organic mineral fertilizers, N losses, zeolite.

Introdução

Os fertilizantes nitrogenados são insumos importantes para agricultura em razão de sua grande demanda para produção de alimentos, fibras e materiais energéticos. No Brasil, o consumo de fertilizantes nitrogenados é crescente, e o mercado brasileiro de fertilizantes movimentou, em 2014, 32,2 milhões de toneladas, um aumento de 4,9% em comparação a 2013 (Anda, 2015). A ureia é o fertilizante nitrogenado

mais utilizado no Brasil (Tasca et al., 2011), em razão de sua elevada concentração de nitrogênio e, conseqüentemente, de seu baixo custo por quilograma de N.

Em cultivos agrícolas, a forma mais comum de aplicação da ureia no solo é em cobertura, sem incorporação, o que aumenta a possibilidade de perdas do nutriente por volatilização (Frazão et al., 2014). Dada a larga utilização desse fertilizante na agricultura, e o grande potencial de perdas do nitrogênio aplicado,

pesquisas têm sido desenvolvidas para aumentar a eficiência de uso da ureia, principalmente com vistas à mitigação do processo de volatilização de amônia (Paiva et al., 2012; Faria et al., 2013; Frazão et al., 2014; Oliveira et al., 2014).

Nesse sentido, Faria et al. (2013) sugerem a aplicação de ureia juntamente com outros materiais que possam atuar na redução das perdas do N-NH₃ volatilizado; tais como sulfato de cobre, ácido bórico, zeólita e sulfato de amônio. A zeólita é um mineral que, adicionado à ureia, é capaz de atuar na redução das perdas de N-NH₃ em virtude da sua capacidade de reter íons, como o amônio (NH₄⁺), e protegê-los fisicamente contra a volatilização (Englert & Rubio, 2005; Bernardi et al., 2010). Oliveira et al. (2014) afirmam que a adição de fertilizantes com características ácidas pode reduzir as perdas de amônia por volatilização da ureia em até 29%. Dessa forma, a formulação de fertilizantes nitrogenados a partir da adição de ácidos húmicos e zeólita à ureia pode reduzir as perdas de N e aumentar a eficiência agrônômica desses fertilizantes (He et al., 2002; Latifah et al., 2011; Faria et al., 2013).

Para que se avalie a eficiência dos fertilizantes nitrogenados em fornecer N para as plantas, é necessário quantificar as perdas gasosas do nutriente bem como avaliar seu ciclo no sistema solo-planta-atmosfera (Alves, 2006). Com relação a isso, é desejável que os métodos para determinação da volatilização de N-NH₃ sejam de baixo custo e tenham pouca influência no processo.

Diante da necessidade de intensificação do uso de tecnologias para aumento da produtividade e redução do impacto ambiental, a avaliação de métodos de quantificação da volatilização de amônia oriunda de fertilizantes mistos contendo ureia é necessária para selecionar as combinações com maior potencial de mitigação da perda de N.

Este trabalho teve como objetivo selecionar um método para estimar o N-NH₃ perdido por volatilização e avaliar diferentes fertilizantes mistos contendo ureia quanto à perda de N por volatilização de amônia.

Material e Métodos

Foram realizados dois ensaios em casa de vegetação, no Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em Seropédica, RJ. O primeiro ensaio comparou métodos para estimativa das perdas de N-NH₃ volatilizado após a aplicação

superficial de ureia ao solo. O segundo ensaio quantificou as perdas de N de novos fertilizantes minerais mistos formulados com base na ureia, em dois solos, com texturas arenosa e argilosa.

No experimento 1, as unidades amostrais foram constituídas por bandejas plásticas (39 x 25 x 7 cm), e utilizou-se terra oriunda da camada superficial de um Planossolo Háplico, cuja análise revelou os seguintes valores: areia, 920 g kg⁻¹; silte, 10 g kg⁻¹; argila, 70 g kg⁻¹; 0,05, 1,76, 0,9, 2,5, 0,5, cmol_c dm⁻³ de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, Al³⁺, respectivamente; soma de bases (S) de 2,81; capacidade de troca catiônica (T) de 5,31; pH_{H2O}, 5,5; P-mehlich-1, 57,9 mg dm⁻³; e K⁺, 39,3 mg dm⁻³.

A terra foi seca ao ar por 72 horas, homogeneizada e passada em peneira de 2 mm antes do preenchimento das bandejas, com capacidade de 7 kg. O solo foi incubado com calcário dolomítico (PRNT=80%), tendo-se elevado o pH a 6,5. A umidade foi mantida a 50% da capacidade de campo, com pesagens diárias para verificar a necessidade de aplicação de água. A água era adicionada às bandejas após a remoção do coletor, por ocasião da troca de posição destes.

O experimento foi conduzido por 22 dias, de 24 de março a 14 de abril de 2013. A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas diariamente com os dados da estação meteorológica instalada na casa de vegetação (Figura 1 A).

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com 12 tratamentos e 3 repetições, no total de 36 parcelas experimentais. A ureia granulada (45% N) foi aplicada superficialmente nas bandejas, de maneira homogênea, e os coletores foram instalados em seguida. Foram utilizadas quatro doses do fertilizante, correspondentes a 0; 50; 100; e 200 kg ha⁻¹ de N. Três métodos para captura da amônia volatilizada foram avaliados: CSA, coletor com câmara semiaberta (Nõmmik, 1973, adaptado por Lara Cabezas et al., 1999); Sale, coletor com câmara semiaberta livre estática (Araújo et al., 2009); e CA, coletor aberto com absorvedor envolto em película de politetrafluoretileno (Mariano et al., 2012). Os coletores foram mudados de posição a cada coleta, para evitar a formação de microclima que pudesse interferir no processo de volatilização de amônia.

As perdas foram estimadas com a determinação do nitrogênio capturado nos coletores instalados, por meio de destilação e titulação. As espumas dos coletores foram trocadas diariamente, durante a primeira semana e, após isso, a cada três dias até o fim

do experimento (total de 12 coletas). Após cada coleta, os discos de espuma dos coletores CSA e CA foram acondicionados em sacolas de plástico e levados ao laboratório para lavagem. As espumas foram lavadas com 450 ml de água destilada, em funil acoplado à bomba de vácuo, e a solução obtida com a lavagem foi guardada em garrafas de plástico, na geladeira. No dia seguinte, foram recolhidas alíquotas de 50 ml para determinação do nitrogênio b em destilador automático UDK 159 Series (VELP Científica). No caso do coletor Sale, as espumas foram coletadas em potes de 50 ml com a solução ácida. Em seguida, foram adicionados 30 ml de água, tendo-se agitado a solução por 15 minutos, em agitador horizontal, e retirado uma alíquota de 10 ml para determinação do nitrogênio no mesmo destilador. Para o cálculo do N volatilizado, foram empregados fatores de correção indicados em cada método, de acordo com a área da bandeja.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias dos teores de N foram comparadas com o teste Tukey, a 5% de probabilidade. As doses de ureia avaliadas foram ajustadas a modelos de regressão, cujos coeficientes foram testados com o teste t, a 1% de probabilidade. Utilizou-se o Saeg 9.1 (Universidade Federal de Viçosa, Viçosa) para as análises estatísticas.

No experimento 2, o local do experimento, os procedimentos de preparo do solo, as unidades experimentais, e os procedimentos de captura do N volatilizado e de determinação do N seguiram a descrição do experimento anterior.

Nas bandejas, a terra foi proveniente da camada superficial do Planossolo Háplico de textura arenosa, o mesmo utilizado no experimento 1 e, ainda, da camada superficial de um Latossolo Vermelho de textura argilosa, cuja análise revelou os seguintes valores: areia, 180 g kg⁻¹; silte, 20 g kg⁻¹; argila, 800 g kg⁻¹; 0,29, 0,60, 0,30, 3,8, 0,3, cmol_c dm⁻³ de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, Al³⁺, respectivamente; soma de bases (S) de 1,2; capacidade de troca catiônica (T) de 5,0; pH_{H2O}, 5,7; P-mehlich-1, 4,0 mg dm⁻³; e K⁺, 2,8 mg dm⁻³. As condições de temperatura e umidade estão apresentadas na Figura 1 B. O trabalho foi conduzido no período de 10 de agosto a 1 de setembro de 2014.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, e os tratamentos consistiram da aplicação de 18 fertilizantes minerais mistos baseados na ureia (Tabela 1), na dose correspondente a 200 kg ha⁻¹ de N, nos dois solos. Foram utilizadas três repetições para cada tratamento, além de um controle, no total de 111 unidades experimentais.

Os fertilizantes mistos foram preparados em laboratório com adição de zeólita cubana e ácidos húmicos. Os ácidos húmicos foram extraídos em laboratório, por meio de procedimento previamente desenvolvido para cada material em particular, com a determinação da concentração da solução extratora e relação massa/volume a serem empregados. As fontes das quais foram extraídos os ácidos húmicos utilizados na composição dos fertilizantes foram dois produtos comerciais distintos. Os fertilizantes foram aplicados

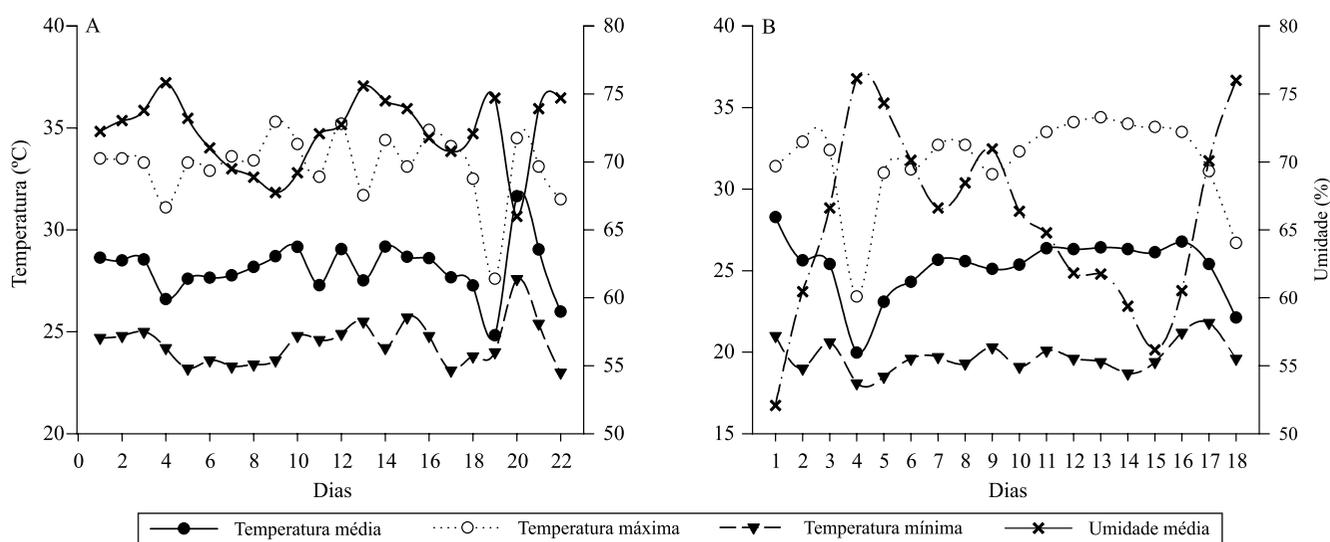


Figura 1. Temperatura e umidade registradas em casa de vegetação durante o período de condução dos experimentos 1 (A) e 2 (B).

de forma homogênea em toda a superfície da bandeja e, logo após, foram instalados dois coletores do tipo Sale por bandeja, conforme já descrito para o experimento 1. As avaliações foram feitas por 18 dias, com a troca diária das espumas durante os seis primeiros dias, e com trocas a intervalos de três dias a partir de então, até o fim do experimento, num total de 10 coletas.

Os teores de N foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas com o teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade, tendo-se utilizado o programa R para as análises.

Resultados e Discussão

Os métodos de coleta do N-NH₃ volatilizado não diferiram entre si para as menores doses de ureia comercial granulada utilizadas (0 e 50 kg ha⁻¹ de N). Para as doses de 100 e 200 kg ha⁻¹, o CSA diferiu estatisticamente do Sale e do CA, os quais não diferiram entre si. O CSA recuperou 29,3, 29,48 e 25,0% do nitrogênio total aplicado, para as doses de 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Para o Sale, a recuperação foi de 16,79, 13,06 e 16,65% do N total aplicado, e, para o CA, a recuperação foi de 15,02, 16,28 e 12,02%. Esses valores de recuperação da amônia volatilizada são menores do que os relatados em alguns estudos na literatura. Essa diferença,

possivelmente, é reflexo do procedimento de correção da umidade da terra, utilizado no presente estudo, que teria favorecido a incorporação do fertilizante nos primeiros dias após a adubação. Alves et al. (2011) observaram estimativas de perda acumulada de N-NH₃ semelhantes entre as obtidas utilizando-se o CSA e as obtidas com a utilização do absorvedor de espuma posicionado a 1 cm do solo (tratamento correspondente ao CA neste trabalho), ou com o método do balanço de ¹⁵N. Os autores sugeriram não ser necessário o uso de equações de calibração ou de fatores de correção para o CA.

Entretanto, observou-se água condensada nas paredes do CSA no presente trabalho, o que está relacionado à ocorrência de microclima que pode interferir no processo de volatilização da amônia. Esse microclima foi formado mesmo com o rodízio realizado na posição dos coletores, com o intuito de minimizar esse efeito.

Os métodos de quantificação do N-NH₃ apresentaram comportamentos semelhantes ao longo do tempo, com pico de volatilização por volta do segundo dia e perdas totais acumuladas mais expressivas até o quarto dia de avaliação (Figura 2). Uma vez que os métodos avaliados apresentaram comportamentos semelhantes, tendo diferido somente quanto à magnitude dos valores recuperados, todos eles podem ser utilizados na comparação dos fertilizantes minerais mistos propostos. Porém, o método Sale mostrou-se o mais adequado para condução de experimentos com número elevado de unidades amostrais, com maior praticidade desde o preparo das armadilhas ácidas até a coleta e análise das amostras.

Oliveira et al. (2008) verificaram valores de recuperação em torno de 25 e 20% com o emprego dos coletores semiaberto e aberto, respectivamente. Já Mariano et al. (2012), ao estimarem as perdas de N provenientes da ureia aplicada sobre palhada de cana com o coletor aberto, observaram perdas de até 24% da dose aplicada.

A melhor correlação entre as perdas acumuladas de N-NH₃ e as doses de N avaliadas foi obtida com o uso de modelo linear, independentemente do método estudado para determinação das perdas de N (Figura 2).

Na avaliação dos fertilizantes minerais mistos formulados com base na ureia, os tratamentos tiveram maior expressão sobre a redução das perdas quando

Tabela 1. Descrição dos fertilizantes nitrogenados formulados com ureia e adição de ácidos húmicos e zeólita, em diferentes proporções.

Fertilizante ⁽¹⁾	Descrição do tratamento
Ureia + AH 2,5 F1	Ureia + Ácido húmico (2,5%) F1
Ureia + AH 5 F1	Ureia + Ácido húmico (5%) F1
Ureia + AH 10 F1	Ureia + Ácido húmico (10%) F1
Ureia + AH 20 F1	Ureia + Ácido húmico (20%) F1
Ureia + AH 2,5 F2	Ureia + Ácido húmico (2,5%) F2
Ureia + AH 5 F2	Ureia + Ácido húmico (5%) F2
Ureia + AH 10 F2	Ureia + Ácido húmico (10%) F2
Ureia + AH 20 F2	Ureia + Ácido húmico (20%) F2
Ureia + Zeólita 2,5	Ureia + Zeólita (2,5%)
Ureia + Zeólita 5	Ureia + Zeólita (5%)
Ureia + Zeólita 10	Ureia + Zeólita (10%)
Ureia + Zeólita 20	Ureia + Zeólita (20%)
UAZ 1	10% de ácido húmico (F1) + 10% de Zeólita
UAZ 2	5% de ácido húmico (F1) + 15% de Zeólita
UAZ 3	15% de ácido húmico (F1) + 5% de Zeólita
UAZ 4	10% de ácido húmico (F2) + 10% de Zeólita
UAZ 5	5% de ácido húmico (F2) + 15% de Zeólita
UAZ 6	15% de ácido húmico (F2) + 5% de Zeólita

⁽¹⁾As fontes 1 (F1) e 2 (F2) de ácido húmico referem-se a produtos comerciais de origens distintas.

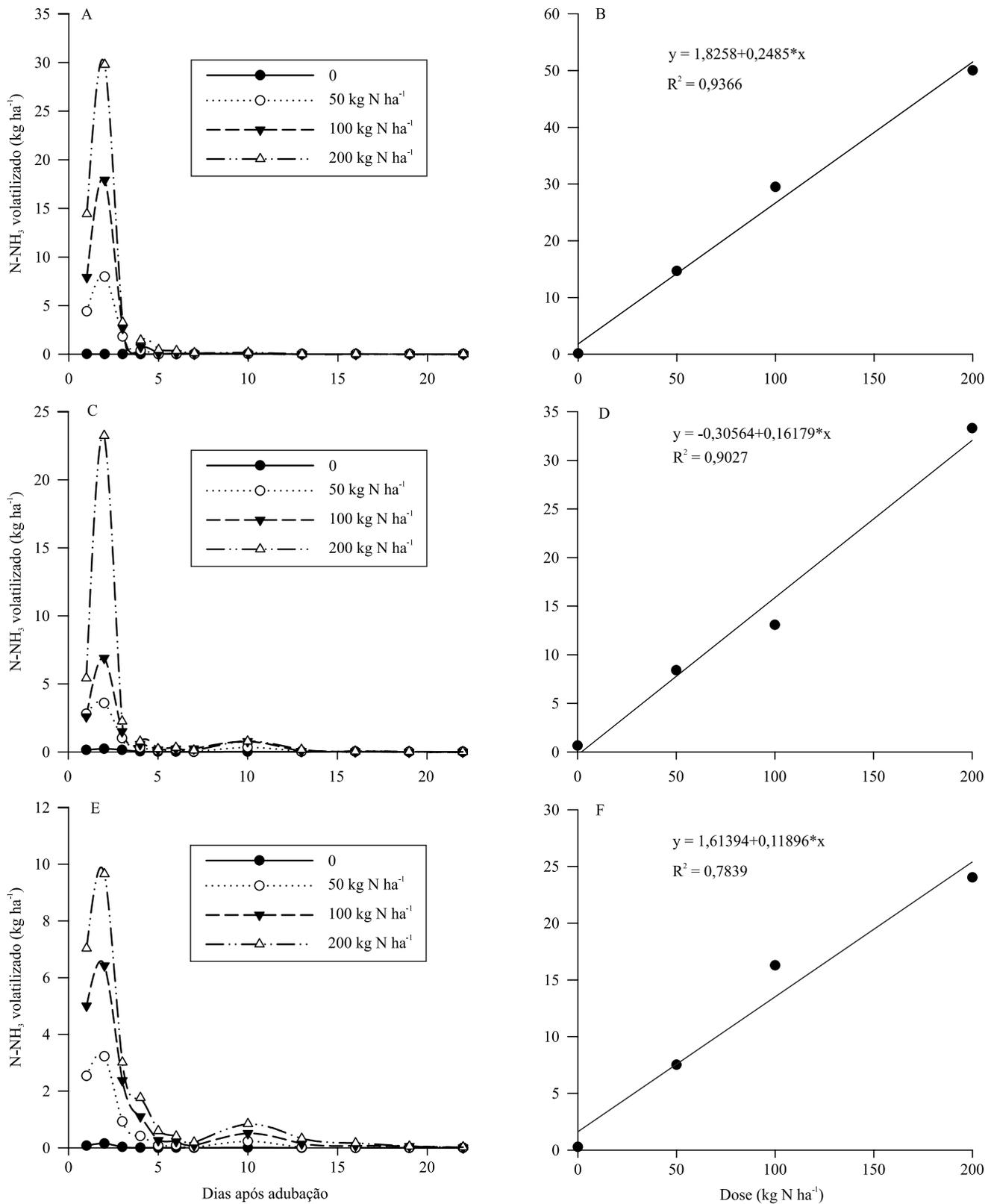


Figura 2. Perdas diárias de N-NH₃ volatilizado e capturado pelas armadilhas ácidas dos coletores: CSA, coletor com câmara semiaberta (A); Sale, coletor com câmara semiaberta livre estática (C); CA, coletor aberto com absorvedor envolto em película de politetrafluoretileno (E); e valores estimados das perdas acumuladas de N pelos métodos CSA (B), Sale (D) e CA (F).

aplicados no solo arenoso (Figura 3), que apresentou condições mais favoráveis ao processo de volatilização. A redução nas perdas, no entanto, esteve mais relacionada à textura do solo do que ao efeito dos tratamentos.

As menores perdas de N foram observadas no tratamento Ureia + AH 5 F1 (ureia com adição de 5% de ácido húmico extraído da fonte 1), Ureia + AH 10 F2 (ureia com adição de 10% de ácido húmico extraído da fonte 2) e Ureia + Zeólita 10 (ureia com adição de 10% de zeólita), com 42,08, 42,33 e 43,78% de perdas acumuladas ao final de 18 dias de avaliação, respectivamente. Isso representou uma redução nas perdas em torno de 38%, em comparação ao tratamento menos eficiente.

A adição dos componentes retardou o pico de volatilização da amônia, em comparação ao experimento 1, que, de maneira geral, passou do segundo para o quarto dia após a adubação.

Costa et al. (2003), ao estudarem a volatilização de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar, em condições de campo, com colheita mecânica sem queima, registraram que as perdas ocorreram até os seis primeiros dias após a aplicação dos fertilizantes, em que a ureia, a ureia com adição de sulfato de amônio, o uran e um resíduo líquido enriquecido com nitrogênio apresentaram 36; 35; 15; e 9% de perdas, respectivamente. Alves et al. (2011) também relataram pico de volatilização para ureia no sexto dia, com as perdas mais expressivas entre o quarto e o décimo dia.

A utilização simultânea de ácidos húmicos e zeólita apresentou um total de nitrogênio volatilizado acumulado ao fim de 18 dias de avaliação de até 57% para o solo arenoso, e de 35% para o argiloso, e esteve entre os tratamentos menos eficientes na redução da volatilização. Os resultados são contrários à expectativa gerada pela utilização conjunta dos componentes, já que se esperava efeito sinérgico da retenção do íon amônio pela zeólita e da redução do pH pela presença dos ácidos húmicos.

De acordo com Dong et al. (2009), pouco se sabe sobre o mecanismo pelo qual as substâncias húmicas aumentam a eficiência da fertilização com ureia. Os autores sugerem, no entanto, que a atuação dessas substâncias se dá de duas maneiras: pela incorporação de parte do amônio gerado às estruturas dos ácidos húmicos e pela inibição da atividade da urease. Contudo, estudos ainda devem ser realizados para que seja possível determinar com precisão o efeito de cada

uma dessas substâncias, usadas de forma isolada ou paralela.

Latifah et al. (2011) investigaram o efeito da mistura da ureia com zeólita e turfa sobre as perdas de amônia e teores de amônio trocável no solo, em condição não alagada, e constataram que as misturas reduziram significativamente as perdas. De acordo com He et al. (2002), a aplicação de ureia, juntamente com celulose e zeólita, foi a mistura mais eficiente para reduzir as perdas por volatilização.

A adição de ácidos húmicos à ureia, nas diferentes proporções, ocasionou redução nas perdas de 42 a 68% do N total aplicado, no solo de textura arenosa, e de 24 a 35%, no solo de textura argilosa (Tabela 2). Os ácidos húmicos podem atuar no tamponamento do pH ao redor do grânulo de ureia no momento da hidrólise, o que impediria que se atingissem valores de pH muito elevados, que são determinantes para desencadear o processo de volatilização. Os ácidos húmicos apresentam elevada CTC, característica que também está relacionada à manutenção do N no solo, pela adsorção do íon amônio (NH_4^+).

Paiva et al. (2012) utilizaram carvão oxidado de eucalipto no revestimento da ureia, para o controle da volatilização. O material foi caracteristicamente ácido (pH=2) e apresentou grande quantidade de grupos funcionais carboxílicos. Os autores relataram redução de 43% na quantidade de amônia volatilizada, em comparação à ureia sem o revestimento.

Para os tratamentos que continham a zeólita, a determinação do N- NH_3 pelos coletores indicou recuperação entre 44 e 60% do total de N aplicado, no solo arenoso, e de 25 a 33%, no solo argiloso.

Bernardi et al. (2010) afirmam que o emprego de zeólita na fertilização nitrogenada reduz as perdas de N e proporciona rendimentos equivalentes à utilização de ureia com o inibidor NBPT, na cultura do azevém.

Ahmed et al. (2010) reportaram que, além de melhorar a retenção de amônio trocável no solo, a inclusão de zeólita na mistura com a ureia pode reduzir a conversão de amônio a nitrato. No entanto, Faria et al. (2013), ao avaliarem as perdas de N- NH_3 de fertilizantes nitrogenados aplicados em palhada de milho e soja, em plantio direto, não observaram efeito da adição de 15% de zeólita (m/m) à ureia, na redução nas perdas, em comparação com a ureia sem aditivos.

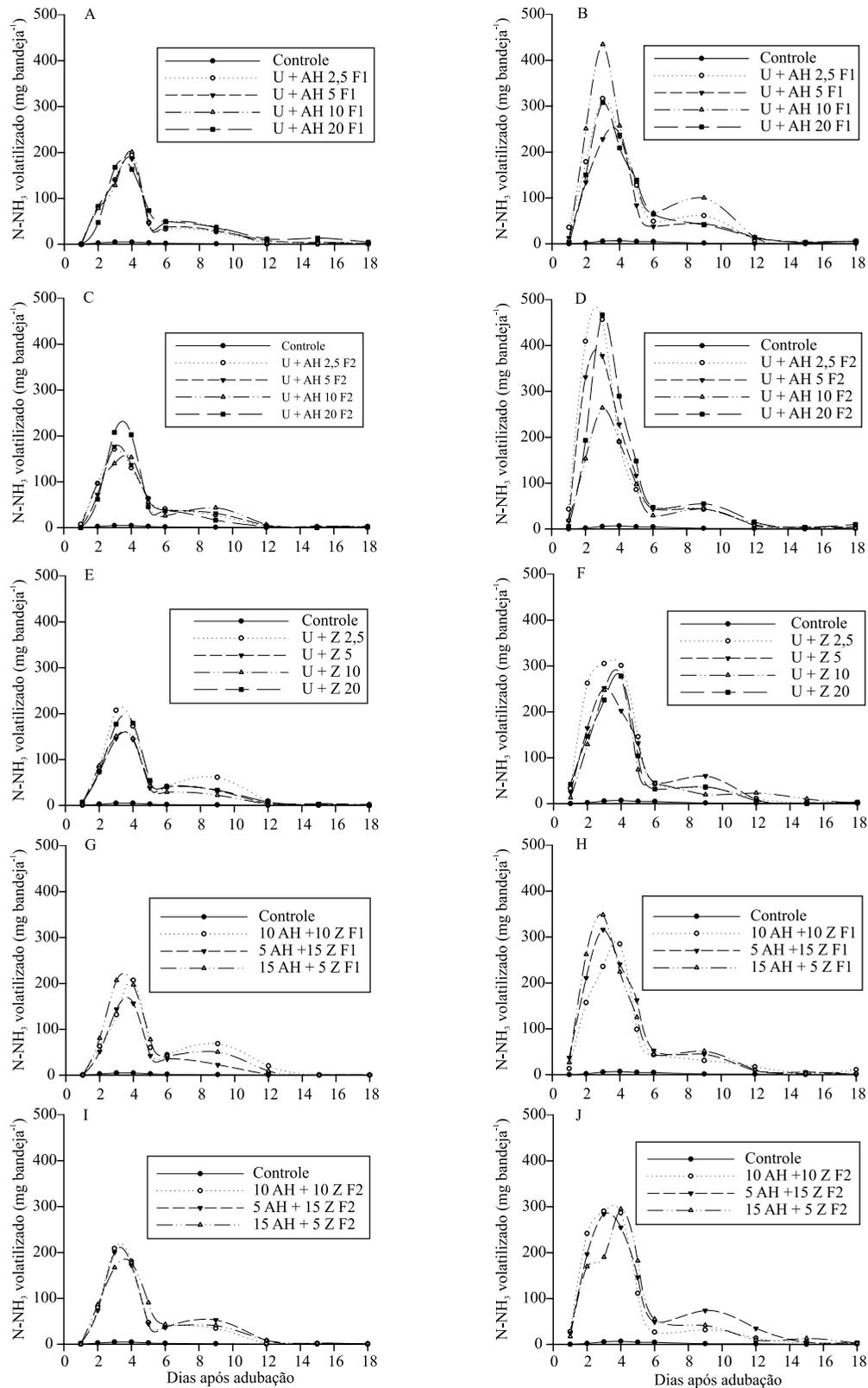


Figura 3. Perdas diárias de N-NH₃ volatilizado e capturado pelas armadilhas ácidas no coletor Sale, para os diferentes fertilizantes nitrogenados formulados com ureia e adição de ácidos húmicos e zeólita (Tabela 1), em diferentes proporções, na dose de 200 kg ha⁻¹ N, em solo argiloso (coluna à esquerda) e arenoso (coluna à direita).

Tabela 2. Perdas acumuladas de N-NH₃ volatilizado resultante da aplicação superficial de fertilizantes formulados com ureia e adição de ácido húmico e zeólita em diferentes proporções, após 18 dias de avaliação, em solos com texturas diferentes⁽¹⁾.

Fertilizante ⁽²⁾	Solo arenoso		Solo argiloso	
	N-NH ₃ (mg por bandeja)	Perdas (%)	N-NH ₃ (mg por bandeja)	Perdas (%)
U + AH 2,5 F1	1.017,58Fa	53,28	532,15Cb	27,86
U + AH 5F1	803,82Ia	42,08	533,99Cb	27,96
U + AH 10 F1	1.274,43Aa	66,72	544,07Cb	28,49
U + AH 20 F1	937,86Ga	49,10	568,01Bb	29,74
U + AH 2,5 F2	1.296,11Aa	67,86	543,11Cb	28,44
U + AH 5F2	1.177,34Ca	61,64	531,50Cb	27,83
U + AH 10 F2	808,46Ia	42,33	526,02Cb	27,54
U + AH 20 F2	1.234,93Ba	64,66	576,57Bb	30,19
U + Z 2,5	1.140,98Da	59,74	631,76Ab	33,08
U + Z 5	895,35Ha	46,88	489,77Db	25,64
U + Z 10	836,20Ia	43,78	484,86Db	25,39
U + Z 20	875,74Ha	45,85	576,34Bb	30,17
UAZ1 (10/10 F1)	894,56Ha	46,84	595,68Bb	31,19
UAZ2 (5/15 F1)	1.080,25Ea	56,56	456,95Db	23,92
UAZ3 (15/5 F1)	1.097,38Ea	57,45	664,45Ab	34,79
UAZ4 (10/10 F2)	1.034,83Ea	54,18	595,26Bb	31,17
UAZ5 (5/15 F2)	1.075,18Ea	56,29	595,30Bb	31,17
UAZ6 (15/5 F2)	974,80Ga	51,04	616,57Ab	32,28

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

⁽²⁾Os fertilizantes estão descritos na Tabela 1.

Conclusões

1. O método Sale é o mais recomendado para condução de experimentos com elevado número de unidades amostrais, pois apresenta facilidades desde o preparo dos coletores até coleta e análise das amostras.

2. Os fertilizantes minerais mistos com ureia e com adição de 5% de ácido húmico, extraído da fonte 1, e 10%, extraído da fonte 2, bem como com a adição de 10% de zeólita, apresentaram os melhores resultados na mitigação da volatilização da amônia, com redução de até 38% nas perdas de N-NH₃.

3. Os tratamentos avaliados são mais expressivos no combate à volatilização no solo de textura arenosa.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsas de estudos.

Referências

AHMED, O.H.; YAP, C.H.B.; MUHAMAD, A.M.N. Minimizing ammonia loss from urea through mixing with zeolite and acid sulphate soil. *International Journal of the Physical Sciences*, v.5, p.2198-2202, 2010.

ALVES, A.C. **Métodos para quantificar a volatilização de N-NH₃ em solo fertilizado com ureia**. 2006. 40p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Pirassununga.

ALVES, A.C.; OLIVEIRA, P.P.A.; HERLING, V.R.; TRIVELIN, P.C.O.; LUZ, P.H. de C.; ALVES, T.C.; ROCHETTI, R.C.; BARIONI JUNIOR, W. New methods to quantify NH₃ volatilization from fertilized surface soil with urea. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.133-140, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000100012.

ANDA. ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes: comentários**. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

ARAÚJO, E. da S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L.H. de B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.769-776, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000700018.

BERNARDI, A.C. de C.; MOTA, E.P. da; SOUZA, S. do C. H. de; CARDOSO, R.D.; OLIVIERA, P.P.A. Ammonia volatilization, dry matter yield and nitrogen levels of Italian ryegrass fertilized with urea and zeolite. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 19., 2010, Brisbane, Australia. *Soil solutions for a changing world: anais*. Brisbane: ASSSI, 2010. p.22-25.

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 Ciência do Solo*, v.27, p.631-637, 2003. DOI: 10.1590/S0100-06832003000400007.

DONG, L.; CÓRDOVA-KREYLOS, A.L.; YANG, J.; YUAN, H.; SCOW, K.M. Humic acids buffer the effects of urea on soil ammonia oxidizers and potential nitrification. *Soil Biology and Biochemistry*, v.41, p.1612-1621, 2009. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.04.023.

ENGLERT, A.H.; RUBIO, J. Characterization and environmental application of a Chilean natural zeolite. *International Journal of Mineral Processing*, v.75, p.21-29, 2005. DOI: 10.1016/j.minpro.2004.01.003.

FARIA, L. de A.; NASCIMENTO, C.A.C. do; VITTI, G.C.; LUZ, P.H. de C.; GUEDES, E.M.S. Loss of ammonia from nitrogen fertilizers applied to maize and soybean straw. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.969-975, 2013.

FRAZÃO, J.J.; SILVA, A.R. da; SILVA, V.L. da; OLIVEIRA, V.A.; CORRÊA, R.S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.1262-1267, 2014. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1262-1267.

HE, Z.L.; CALVERT, D.V.; ALVA, A.K.; LI, Y.C.; BANKS, D.J. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce

- ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. **Plant and Soil**, v.247, p.253-260, 2002. DOI: 10.1023/A:1021584300322.
- LARA CABEZAS, A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLI, J.A.; SANTANA, D.G. de; GASCHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.30, p.389-406, 1999. DOI: 10.1080/00103629909370211.
- LATIFAH, O.; AHMED, O.H.; MAJID, N.M. Ammonia loss, soil exchangeable ammonium and available nitrate contents from mixing urea with zeolite and peat soil water under non-waterlogged condition. **International Journal of the Physical Sciences**, v.6, p.2916-2920, 2011.
- MARIANO, E.; TRIVELIN, P.C.O.; VIEIRA, M.X.; LEITE, J.M.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J. Ammonia losses estimated by an open collector from urea applied to sugarcane straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.411-419, 2012.
- NÔMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, v.39, p.309-318, 1973. DOI: 10.1007/BF00014798.
- OLIVEIRA, J.A. de; STAFANATO, J.B.; GOULART, R. de S.; ZONTA, E.; LIMA, E.; MAZUR, N.; PEREIRA, C.G.; SOUZA, H.N. de; COSTA, F.G.M. Volatilização de amônia proveniente de ureia compactada com enxofre e bentonita, em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1558-1564, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000500021.
- OLIVEIRA, P.P.A.; TRIVELIN, P.C.O.; ALVES, A.C.; LUZ, P.H. de 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**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. 41p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 16).
- PAIVA, D.M. de; CANTARUTTI, R.B.; GUIMARÃES, G.G.F.; SILVA, I.R. da. Urea coated with oxidized charcoal reduces ammonia volatilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1221-1229, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000400016.
- TASCA, F.A.; ERNANI, P.R.; ROGERI, D.A.; GATIBONI, L.C.; CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.493-502, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200018.

Recebido em 31 de agosto de 2015 e aprovado em 9 de março de 2016