

PERDAS DE NITROGÊNIO POR VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DA CAMA DE FRANGO EM FUNÇÃO DO MANEJO DE APLICAÇÃO EM ARGISSOLO VERMELHO

Alfredo Richart, Rafael Marlon Gibbert, Elton José Müller

Pontifícia Universidade Católica do Paraná <alfredo.richart@pucpr.br>

Resumo - O objetivo deste trabalho foi quantificar as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia da cama de frango em função da profundidade de incorporação, do tipo de cama de frango (com e sem compostagem) aplicada ao solo em duas condições de pH (5,5 e 6,5) de um Argissolo Vermelho Eutrófico de Brasilândia do Sul – PR. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento experimental de blocos casualizados, num esquema fatorial 2x2x3+1, sendo dois ajustes de pH do solo (5,5 e 6,5), cama de frango (com e sem compostagem) e três profundidades de incorporação da cama de frango (0, 5 e 10 cm), além da adição de um tratamento testemunha absoluta, com quatro repetições. As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos, com capacidade para 30 kg de solo, aos quais aplicaram-se a dose de 20 Mg ha⁻¹ de cama de frango. Quanto as avaliações, estimaram-se as perdas de amônia volatilizada, realizadas aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a aplicação da cama. Os resultados obtidos indicam que o pH do solo não interferiu no processo de volatilização de NH₃ da cama de frango. A cama de frango compostada proporcionou os maiores percentuais de perdas de NH₃ por volatilização. A incorporação da cama de frango ao solo se revelou uma alternativa eficiente para reduzir a volatilização de NH₃ da cama de frango.

Palavras-Chave: Material orgânico, mineralização, perdas gasosas de nitrogênio, formas de aplicação da cama de frango, disponibilidade de nutrientes ao solo.

LOSS OF AMMONIA NITROGEN IN THE BED VOLATILIZATION CHICKEN AS A FUNCTION OF MANAGEMENT APPLICATION IN RED ULTISOIL

Abstract - The objective of this study was to quantify nitrogen losses by ammonia volatilization from poultry litter as a function of the depth of incorporation, the type of chicken manure (with and without compost) applied to the soil in two pH conditions (5,5 and 6,5) of an Ultisoil Eutrophic of Brasilândia South – PR. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized block design in a factorial 2x2x3 +1; two adjustments soil pH (5.5 and 6.5), chicken manure (with and without compost) and three depths of incorporation of chicken manure (0, 5 and 10 cm), plus the addition of a control absolute, with four replications. The experimental units were composed of plastic pots with a capacity of 30 kg of soil, which were applied to the dose of 20 Mg ha⁻¹ of poultry litter. As the assessments were estimated losses of volatilized ammonia, performed at 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days after litter application. The results indicate that soil pH did not interfere in the process of ammonia volatilization from poultry litter. The composted chicken manure gave the highest percentage losses of ammonia volatilization. The incorporation of poultry litter to the soil proved an efficient alternative to reduce ammonia volatilization from poultry litter.

KeyWord: Organic material, mineralization, gaseous losses of nitrogen forms of poultry litter application, availability of nutrients to the soil.

1. INTRODUÇÃO

O estado do Paraná se destaca na atividade agropecuária, sendo um dos principais produtores de carne de frango de corte do Brasil, e neste, se sobressai a região oeste, onde o sistema produtivo baseia-se no confinamento das aves. Egute et al. (2010) verificaram que a produção de frangos de corte é a forma mais eficiente e barata de se produzir proteína animal para alimentação humano. Neste sistema, o animal é criado sobre uma cama, a qual, deve ser um eficiente material adsorvente, de peso leve, barato, não tóxico e com alta capacidade de absorção de umidade (RITZ; FAIRCHILD; LACY, 2005).

A atividade avícola gera uma produção significativa de resíduos orgânicos, o qual, é utilizado pelos agricultores como fonte de nutrientes nos diversos cultivos agrícolas, associados ou não a fontes minerais, por agricultores desta região, mas sem levar em conta suas características químicas. O uso de material orgânico proporciona melhora na fertilidade, além de ser excelente condicionador de solo, melhorando suas características físicas, químicas e biológicas (MUELLER et al., 2013).

Quanto a composição química da cama de frango, a mesma é bem variável, Castro et al. (2005) verificaram que teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foram de 25,9; 20,6 e 10,0 g kg⁻¹, respectivamente. Por outro lado, Andreotti et al. (2005) constataram teores de 19,3; 16,5 e 41,1 g kg⁻¹, destes nutrientes. Além disso, Oliveira et al. (2006) encontraram valores diferentes, 35,3; 30,7 e 30,0 g kg⁻¹, respectivamente. Portanto, a literatura evidência a grande discrepância existente na composição da cama de frango, a qual ocorre principalmente em função do número de alojamentos das aves sobre a cama.

Dentre os nutrientes encontrados na cama de frango, o N se destaca dos demais, apresentando-se em maior proporção, principalmente nas formas inorgânicas, perfazendo entre 19 a 55% do N total (BITZER & SIMS, 1988). O amônio (NH₄⁺) é a forma química dominante de N no esterco de aves, o qual pode ser convertido em amônia (NH₃) com a elevação do pH e sob condições de alta umidade (MOORE JR. et al., 2000; SANGOI et al., 2003). Conforme trabalhos de Gordon et al. (1988) e Thompson; Pain; Rees (1990), os percentuais de perda de NH₃ por volatilização dependem das características do dejetos e do ambiente, podendo ser pequenos ou até superiores a 90% do N mineral aplicado.

Outro fator que influencia nas perdas de NH₃ por volatilização é o teor de matéria seca do dejetos, de modo que, quanto maior o teor de matéria seca, maior a perda (SOMMER et al., 1997). Normalmente o pH dos esterco é superior a faixa

da neutraliza (7,0), o que representa um grande potencial de perda de NH₃ contida nestes resíduos, uma vez que nestas condições, a quantidade de íons hidrogênio (H⁺) é escassa, favorecendo a formação de NH₃ em detrimento ao cátion NH₄⁺ (HORN et al., 1994). Ao estudarem os efeitos do pH sobre as perdas de NH₃, Balsari; Gioelli; Dinuccio (2006) encontraram perdas de NH₃ por volatilização da ordem de 10 a 28,6% do N total aplicado, enquanto que, Matilla (1998) verificou, para esterco aplicado na superfície do solo, perdas de 14 a 30% do N fornecido.

A perda de N dos fertilizantes de origem orgânica tem consequências econômicas e ambientais indesejáveis, pois a volatilização de NH₃ constitui-se na principal via de perda de N em solos agrícolas (BOUWMEESTER; VLEK; STUMPE, 1985). De acordo com Melo (1978), a NH₃ perdida por volatilização é proveniente da mineralização da matéria orgânica, sendo esse fenômeno mais intenso mediante aumento no pH do solo, o qual, governa as concentrações de NH₄⁺ na solução do solo. Desse modo, o pH se torna-se um dos fatores de maior importância, influenciado na magnitude da volatilização da NH₃ (HARGROVE et al., 1987). Além destes fatores, as perdas de NH₃ por volatilização são influenciadas pelos fatores ambientais (KATTERER et al., 1998; ANDREUCCI, 2007; WATTS; TORBERT; PRIOR et al., 2007), textura do solo (SORENSEN; JENSEN, 1995), umidade do solo (SCHJONNING et al., 1999) e atividade microbiana (BENGTSSON; BENGTSSON; MANSSON, 2002).

Com a finalidade de minimizar as perdas de N e o potencial poluente da cama de frango quando aplicada ao solo, algumas estratégias como a sua compostagem e incorporação ao solo são de extrema importância no seu manejo. A eficiência da compostagem é dependente da relação existente entre os teores de C e N (C/N) e da umidade dos resíduos (SOUZA; RESENDE, 2009). Contudo, quando a quantidade de N é maior do que a capacidade de assimilação dos microrganismos, Orrico Júnior; Orrico; Lucas Junior (2010) constataram que pode ocorrerem perdas de N para a atmosfera, principalmente na forma de NH₃. Em estudo realizado por Seiffert (2000), verificou que o conteúdo de N do material original sofreu redução de cerca de 40% através da compostagem.

Outra estratégia para minimizar as perdas de N seria a incorporação da cama de frango ao solo, eliminando a volatilização de NH₃, porque aumenta o contato entre o fertilizante e o solo, favorecendo a adsorção de NH₄⁺ às cargas negativas do solo. Além disto, ao se difundir para a atmosfera, a NH₃ encontra sítios com valores de pH menores que aqueles existentes ao redor dos grânulos e se transforma em NH₄⁺, que não é volátil

(LARA-CABEZAS et al., 2000). Portanto, a incorporação mecânica é uma prática eficiente em reduzir as perdas de N por volatilização da NH_3 (OVERREIN; MOEE, 1967). A profundidade de incorporação ideal para a manutenção das perdas por volatilização depende da textura e da capacidade de troca catiônica dos solos, além da umidade e da direção do fluxo de água no perfil do solo. De acordo com Bless; Beinhauer; Sattelmacher (1991), a incorporação imediata do resíduo rico em N diminui significativamente as perdas de N do sistema por volatilização de NH_3 . Silva et al. (1995) trabalharam com três tipos de solo e observaram que a incorporação da uréia diminui em até 90% as perdas de NH_3 em relação à aplicação superficial. Terman (1979) relatou substanciais perdas de NH_3 , maiores que 50% em fertilizantes nitrogenados e compostos orgânicos aplicados na superfície do solo.

Assim, o objetivo do trabalho foi quantificar as perdas de N por volatilização de NH_3 da cama de frango em função da profundidade de incorporação, do tipo de cama de frango (com e sem compostagem) aplicada ao solo em duas condições de pH (5,5 e 6,5) de um Argissolo Vermelho Eutrófico de Brasilândia do Sul – PR.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na unidade experimental do curso de Agronomia da Escola de Ciências Agrárias e Medicina Veterinária da Pontifícia da Universidade Católica do Paraná, Campus Toledo, região Oeste do Paraná, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude $24^\circ 43' 23''$ S e longitude $53^\circ 47' 16''$ W, altitude de 561 metros. O clima da região, conforme a classificação de Köppen, é do tipo subtropical úmido (Cfa), sem estação seca definida (CAVAGLIONE, 2000). Os dados climáticos entre o período de 10 de dezembro de 2011 a 20 de janeiro de 2012, foram coletados e armazenados com uso de um termohigrógrafo, os quais estão na Figura 1.

O solo utilizado neste estudo foi um Argissolo Vermelho Eutrófico, textura arenosa (EMBRAPA, 2006), proveniente do município de Brasilândia do Sul – PR, coletado nas seguintes coordenadas geográficas: $24^\circ 06' 29,62''$ S e $53^\circ 30' 36,03''$ O. A área escolhida para coletar o solo para desenvolver este estudo apresentava baixa fertilidade, como indicam os resultados da análise química de solo da profundidade de 0 – 20 cm, os quais foram: pH CaCl_2 4,70; C (g dm^{-3}) = 4,68; P (mg dm^{-3}) = 1,8; Ca, Mg, K, Al, H + Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 1,19; 0,71; 0,14 e 2,54, respectivamente. Para as características físicas, apresentou 130, 190 e 680 g kg^{-1} de argila, silte e areia, respectivamente. Realizou-se a coleta de solo na profundidade de 0 – 20 cm, em seguida,

o solo foi peneirado em malha de 4 mm. Posteriormente, todo o material foi transportado até a casa de vegetação e esparramado sobre uma lona plástica para secagem natural, evitando-se desta maneira, alterações químicas e físicas do solo.

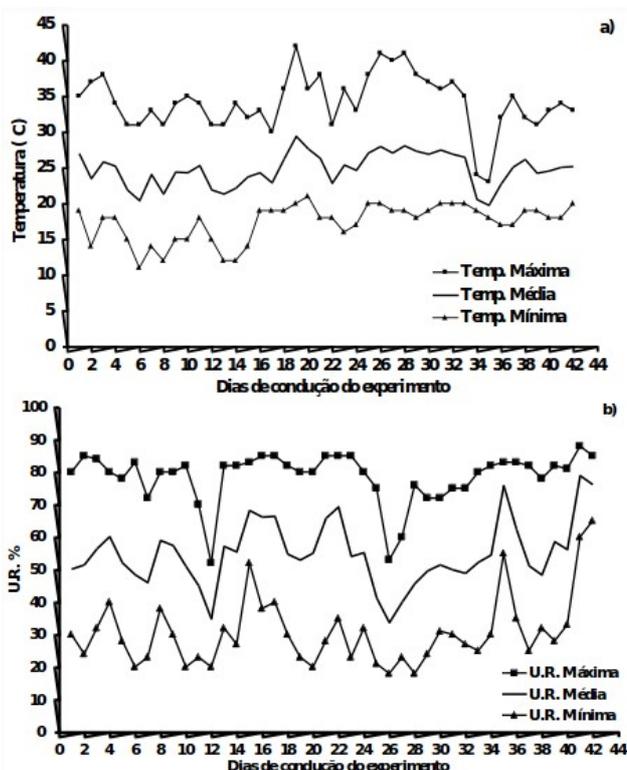


Figura 01 - Dados climáticos para temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) médias, mínimas e máximas registradas na estufa durante o período de condução do experimento.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com os tratamentos arranjados em esquema fatorial $2 \times 2 \times 3 + 1$, ou seja, dois ajustes de pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (5,5 e 6,5), adição de cama de frango (com e sem compostagem) e três profundidades de incorporação da cama de frango (0, 5 e 10 cm), e mais um tratamento adicional (testemunha absoluta), sem aplicação da cama de frango e ausência de correção do pH do solo, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por vasos de polietileno, os quais, foram revestidos com sacolas plásticas e em seguida, preenchidos com 30 kg de solo.

O critério de escolha dos níveis de pHs utilizados neste trabalho está embasado na constatação de que, grande parte dos solos da região oeste do Paraná, encontram-se dentro desta faixa. Portanto, para saber a quantidade de corretivo a ser adicionada em cada vaso, realizou-se uma curva de calibração para calcário, descrita por Lana et al. (2010), incubando-se amostras de 1,0 kg de solo por 30 dias, com doses crescentes de de carbonato de cálcio (0, 1, 2, 3, 4 e 5 Mg ha^{-1} de CaCO_3 p.a.),

com três repetições.

No final do período de incubação, coletaram-se amostras em cada doses de CaCO_3 para determinação do pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, conforme metodologia de Myazawa (1991). De posse destes resultados, os dados foram submetidos a análise de variância e em seguida, análise de regressão polinomial, utilizando o software SISVAR. A partir desta análise, obteve-se a equação quadrática significativa ($p < 0,05$) $y = 5,2393 + 0,001345x - 0,000002x^2$ e $R^2 = 0,98$, em seguida, utilizou-se a mesma para calcular as quantidades de CaCO_3 p.a. necessárias para elevar o pH aos valores desejados e, misturou-se o CaCO_3 com os 30 kg de solo. Em cada vaso foram adicionados água para elevar a capacidade de retenção de água do solo a 70% do volume total de poros. O solo permaneceu incubando por 130 dias, monitorando semanalmente a umidade por meio de pesagens dos vasos. Após este período, coletaram-se amostras de cada tratamento para verificar se o pH do solo atingiu os valores previamente estabelecidos, os quais foram de 5,5 e 6,5.

Quanto a cama de frango, a mesma foi adquirida em duas granjas de frango de corte integradas a uma empresa localizada na cidade de Toledo. O esterco não compostado foi coletado diretamente de um aviário em que se realizaram seis lotes sobre a mesma cama. Já o esterco compostado foi coletado de um monte que permaneceu aproximadamente um ano sofrendo o processo de compostagem e teve origem de um aviário em que se realizaram também seis lotes de frangos consecutivos sobre a mesma cama. Foram coletadas amostras de cada tipo de cama de frango (compostada e não compostada) utilizadas no experimento, para determinação das características químicas, como apresentado na Tabela 01.

Em dezembro de 2011, foram adicionados aos vasos, conforme a área quadrada superficial de cada vaso ($0,0728 \text{ m}^2$) e para cada tratamento descrito anteriormente, a quantia equivalente a 20 Mg ha^{-1} de cama de frango. Em seguida, precedeu-se da instalação de um coletor estático semiaberto em cada vaso, para captar a NH_3 volatilizada.

O coletor estático semi-aberto foi desenvolvido por Nõmmik (1973), com alterações feitas por Lara Cabezas & Trivelin (1990) e calibrado por Lara Cabezas et al. (1999). Os coletores foram confeccionados utilizando-se garrafas pet (polietileno tereftalato) com capacidade de 2,0 litros, cortados nas extremidades. A base do coletor apresentava $72,43 \text{ cm}^2$ de área. Cada câmara coletora era constituída por dois discos de espuma de poliuretano com 2,0 cm de espessura e densidade

32 kg m^{-3} , instalados internamente em cada coletor. Cada espuma foi embebida com 40 mL de uma solução contendo ácido fosfórico na concentração de $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e glicerina a 5% de concentração, conforme proposto por Duarte (2006). O disco de espuma inferior do coletor foi usado para reter a NH_3 volatilizada da cama de frango, enquanto que o disco superior, foi utilizado com a finalidade de isolar a espuma inferior do contato da NH_3 proveniente da atmosfera.

Tabela 01 - Caracterização química dos materiais orgânicos utilizados no experimento.

Componentes da cama	Cama de frango	
	Compostada	Não compostada
Nitrogênio (g kg^{-1})	21,02	40,84
Fósforo (g kg^{-1})	19,18	29,22
Potássio (g kg^{-1})	31,00	33,00
Cálcio (g kg^{-1})	80,00	47,50
Magnésio (g kg^{-1})	12,50	10,00
Enxofre (g kg^{-1})	11,95	9,86
Carbono (g kg^{-1})	356,00	365,00
Matéria Orgânica (g kg^{-1})	613,00	628,00
Cobre (mg kg^{-1})	101,50	155,00
Zinco (mg kg^{-1})	770,00	880,00
Ferro (mg kg^{-1})	8.100,00	13.300,00
Manganês (mg kg^{-1})	980,00	1.230,00
Boro (mg kg^{-1})	61,20	1230,00
pH	7,20	7,00
Relação C/N	17,36	8,94
Umidade (%)	4,81	3,43

As trocas e coletas de espumas foram realizadas semanalmente, durante 42 dias, com intervalo de sete dias após a adição da cama de frango ao solo (DAA) sendo que, apenas as espumas inferiores foram trocadas a cada coleta. Os absorvedores substituídos com NH_3 retida foram colocados em sacolas plásticas e armazenados na geladeira até o momento da quantificação em laboratório. A extração da NH_3 retida nas espumas foi realizada através de quatro lavagens sucessivas com solução de KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, para remoção da NH_3 retida, totalizando 200 mL para a lavagem de cada esponja. O líquido remanescente da lavagem das espumas foi recolhido em um balão volumétrico e completado até 250 mL com água deionizada. Em seguida, pipetou-se uma alíquota de 10 mL, a qual foi destilada em aparelho semimicro Kjeldahl, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

O cálculo da quantidade da NH_3 volatilizada foi obtida com base no volume da solução utilizada na lavagem das espumas que havia sido recolhida no balão volumétrico (250 mL), utilizando a seguinte equação:

$$\text{NH}_3 (\%) = (V_{\text{amostra}} - V_{\text{branco}}) \times f$$

Onde: NH_3 = quantidade de N volatilizado em mg; V_{branco} = volume de base consumida na titulação em branco; V_{amostra} = volume gasto na titulação das amostras e o f = fator de correção do ácido clorídrico. Também, foi descontada de cada amostra, a porcentagem média volatilizada do tratamento sem adubação nitrogenada (testemunha).

Os dados foram corrigidos de acordo com as equações de calibração do coletor proposta por Lara Cabezas et al. (1999) e, em seguida, foram transformados (raiz quadrada de $x + 0,5$) e submetidos à análise variância e quando significativos, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O manejo de adubação da cama de frango estudado proporcionou diferenças significativas ($p < 0,05$) para perdas de NH_3 por volatilização em função para as profundidades de incorporação e a cama de frango (com e sem compostagem), conforme apresentado na Tabela 02. Inicialmente, os resultados obtidos foram interpretados de forma isolada para verificar os efeitos principais do pH do solo, cama de frango com e sem compostagem, bem como, as profundidades de incorporação da cama.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para as fontes de variação: pH (5,5 e 6,5), tipo de cama de frango (compostada e não compostada) e profundidades de incorporação da cama de frango (0, 5 e 10 cm) para um Argissolo Vermelho Eutrófico de Brasilândia do Sul – PR.

Fontes de variação	G.L.	Q.M.						
		7	14	21	28	35	42	NT
Bloco	3	1,7 ^{NS}	3,5 ^{NS}	0,8 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 [*]	0,001 ^{NS}	6,2 ^{NS}
pH	1	11,9 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,03 ^{**}	0,008 ^{NS}	9,6 ^{NS}
Cama (C)	1	88,1 ^{**}	1,7 ^{NS}	0,5 ^{NS}	0,55 ^{**}	0,01 ^{NS}	0,053 ^{**}	98,3 ^{**}
Prof. (P)	2	1.304,7 ^{**}	192,8 ^{**}	8,3 ^{**}	4,93 ^{**}	0,06 ^{**}	0,010 [*]	3.065,5 ^{**}
pH x C	1	0,1 ^{NS}	1,0 ^{NS}	0,3 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,015 [*]	2,3 ^{NS}
pH x P	2	17,3 [*]	0,1 ^{NS}	1,4 ^{NS}	0,17 [*]	0,05 ^{**}	0,003 ^{NS}	7,8 ^{NS}
C x P	2	81,8 ^{**}	2,1 ^{NS}	0,6 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,01 [*]	0,001 ^{NS}	59,2 ^{**}
pH x C x P	2	0,6 ^{NS}	0,9 ^{NS}	0,4 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,4 ^{NS}
Erro	33	3,61	1,72	0,5	0,042	0,003	0,002	8,94
C.V. (%)		13,31	19,50	22,75	10,04	4,77	4,13	13,92
Média geral (%)		5,44	2,30	0,64	0,48	0,06	0,14	9,06

NS Não significativo; * Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade.

Para o fator pH do solo, os resultados obtidos sugerem que o mesmo interferiu no processo de volatilização de NH_3 apenas na coleta realizada aos 35 DAA, sendo que os maiores percentuais de perdas de NH_3 ocorreram para o pH 6,5 (Tabela 02). Neste caso, durante o processo de mineralização deste adubo orgânico, possivelmente, em função da calagem inicial, com a elevação do pH, diminuíram os íons H^+ na solução do solo, interferindo na transformação da NH_3 em NH_4^+ . Por outro lado, os valores de pH definidos para este estudo podem ser considerados baixos, pois a literatura indica maiores perdas de NH_3 em condições de pH superior a 7,2 (CANTARELLA, 2007).

Quanto ao acumulado de perdas de NH_3 por volatilização para o fator isolado pH, os mesmos foram de 9,51 e 8,62% para os pHs 5,5 e 6,5, respectivamente (Figura 02). Observa-se que a cama de frango utilizada neste trabalho (Tabela 01) apresentou valores de 7,2 e 7,0, respectivamente, para cama compostada e não compostada.

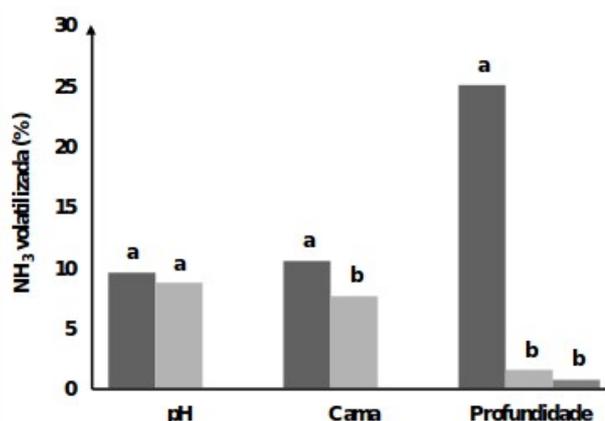


Figura 02. Resultados médios para perdas de NH_3 por volatilização da cama de frango em função do pH do solo, tipo de cama de frango (com e sem compostagem) e das profundidades de incorporação da cama aplicada em Argissolo Vermelho Eutrófico de Brasilândia do Sul – PR.

Constata-se que, para ambos os valores de pH estudados, os resultados foram similares, indicando que nestas duas condições avaliadas, ocorreu influência dos pHs sobre o equilíbrio NH_3/NH_4^+ , de modo a favorecer a formação de NH_3 e por consequência, volatilização da mesma. Resultados similares foram obtidos por Marcondes (2007), trabalhando com dois tipos de solo (argiloso e arenoso) com pHs diferentes, verificou que o pH do solo não influenciou nas perdas de NH_3 devido ao aumento do pH proporcionado pelo fertilizante uréia. No entanto, Rodrigues & Kiehl (1986), aplicaram uréia em dois tipos de solos (LVd com pH 5,8 e outro PV com pH 7,1) e constataram que a diferença de pH entre os solos estudados não exerceram influência sobre as perdas, uma vez que o solo com menor pH apresentou os maiores valores de perdas, evidenciando o poder de elevação do pH do meio causado pela adição do fertilizante, neste caso a uréia. Ernani (2003) verificou que fertilizantes orgânicos como a cama de frango, a exemplo da uréia, também possuem a habilidade de elevar o pH do solo nas regiões adjacentes a suas partículas, proporcionando perdas de NH_3 por volatilização se os mesmos não forem incorporados ao solo.

Quanto a natureza da cama de frango (com e sem compostagem), de forma geral, a mesma contribuiu expressivamente no processo de perda de NH_3 , ocorrendo maiores perdas para cama compostada em comparação com a cama sem compostagem (11,16 e 7,86%, respectivamente), como mostra a Figura 02. Isto provavelmente ocorreu em virtude do maior teor de Ca da cama compostada em comparação com a não compostada (Tabela 01), pois o Ca é o cátion dominante no complexo sortivo do solo, em relação aos cátions Mg, K e NH_4^+ , o qual pode ter deslocado os íons H^+ para a solução do solo, que foram neutralizados em função da adição do $CaCO_3$ para o ajuste dos valores

preestabelecidos no delineamento, diminuindo desta maneira a concentração de íons H^+ na solução do solo. Aliado a isto, o baixo teor de argila deste solo (130 g kg^{-1}) pode ter contribuído para as maiores perdas de NH_3 , como constatado por Sorensen & Jensen (1995). Outro fator a qual se atribui a maior perda de NH_3 da cama de frango compostada foi o seu maior percentual de N na forma inorgânica (BITZER & SIMS, 1988), o qual estaria predisposta a maiores perdas de NH_3 , enquanto que na cama de frango não compostada, o N se encontra, quase em sua totalidade, na forma orgânica, necessitando sofrer mineralização e, nesta situação, as perdas são menores (RAIJ, 2011).

Considerando a profundidade de incorporação da cama de frango de forma isolada, observa-se que a mesma foi a principal fonte de variação no processo de volatilização da NH_3 , uma vez que, a aplicação da cama de frango na superfície proporcionou os maiores percentuais de perdas em todas as coletas realizadas (Tabela 02 e Figura 02). A incorporação da cama ao solo praticamente minimizou as perdas por volatilização de NH_3 , por proporcionar maior contato das partículas da cama com o solo, favorecendo a adsorção de NH_4^+ aos sítios de ligação do solo quando este foi formado a partir da liberação da NH_3 dos compostos orgânicos (LARA CABEZAS et al., 2000). Quanto ao acumulado de NH_3 , observaram-se perdas da ordem de 25,04; 1,47 e 0,68%, respectivamente, para as profundidades de incorporação de 0, 5 e 10 cm (Figura 02). Portanto, os resultados obtidos comprovam a eficiência da prática de incorporação da cama de frango ao solo. Resultados similares aos deste estudo foram obtidos por Matilla (1998), o qual verificou para esterco aplicado na superfície do solo, perdas de 14 a 30% do N contido no resíduo. Em experimento com uréia, Silva et al. (1995) observaram que a aplicação em superfície proporcionou perdas entre 20 e 58% de N, enquanto que a incorporação na profundidade de 0 – 10 cm, diminuiu as perdas a níveis de 1,3 a 7,7% do N aplicado.

Com relação a interação pH x cama de frango, observou-se para as duas condições de pH (5,5 e 6,5), que as perdas de NH_3 por volatilização foram maiores na semana seguinte à aplicação da mesma (7 DAA), reduzindo substancialmente com o avançar dos dias (Tabela 03). Este fato pode ser atribuído aos diferentes constituintes da fração orgânica da cama de frango que podem apresentar maior ou menor resistência à mineralização. Resultados obtidos por Janssen (1996) sugerem que durante o processo de mineralização do N orgânico, os seus distintos componentes são transformados, em taxas variáveis, em N inorgânico, podendo alguns serem acumulados em função do seu elevado grau de recalcitrância e resistência ao

ataque microbiano. Desta forma, o N das frações mais lábeis é liberado nos períodos iniciais do processo de mineralização, aonde ocorrem as maiores perdas por volatilização de NH_3 . Além disso, o autor constatou que à medida que as frações mais lábeis são mineralizadas, restam os componentes mais difíceis de serem decompostos, e assim, a taxa de mineralização e volatilização decresce. Outrossim, em condições aeróbicas, o processo de mineralização avança para a reação de nitrificação, ou seja, ocorre oxidação do NH_4^+ a NO_3^- por meio de bactérias. Cantarella (2007) descreve que, nesse processo, para cada NO_3^- formado ocorre a liberação de íons $2H^+$ para a solução do solo, resultando na queda do pH, o qual, altera o equilíbrio NH_3/NH_4^+ da solução, diminuindo a formação de NH_3 e por consequência, menores perdas por volatilização. Em comparação com fontes minerais, os resultados encontrados neste trabalho corroboram com os observados por Tasca et al. (2011), que ao avaliar as perdas de NH_3 por volatilização de duas fontes nitrogenadas (uréia e mistura de uréia com inibidor de uréase), obteve maiores percentuais de perdas para ambas as fontes na primeira semana após a aplicação do fertilizante, com estabilização das perdas próximas à zero aos quinze dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados.

Tabela 03. Resultados médios para perdas de N na forma de NH_3 em função do pH do solo e da aplicação da cama de frango em Argissolo Vermelho Eutrófico de Brasilândia do Sul – PR.

pH do solo	Cama de frango	
	Compostada	Não Compostada
	%	
	7 DAA	
5,50	7,32 aA	4,55 aB
6,50	6,26 aA	3,62 aB
	14 DAA	
5,50	2,29 aA	2,36 aA
6,50	1,95 aA	2,61 aA
	21 DAA	
5,50	0,82 aA	0,46 aA
6,50	0,68 aA	0,61 aA
	28 DAA	
5,50	0,52 aA	0,38 aA
6,50	0,65 aA	0,36 aB
	35 DAA	
5,50	0,03 bA	0,03 aA
6,50	0,11 aA	0,05 aB
	42 DAA	
5,50	0,18 aA	0,08 bB
6,50	0,17 aA	0,14 aA
	Nitrogênio total	
5,50	11,16 aA	7,86 aB
6,50	9,83 aA	7,40 aA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Outro fator que pode ter influenciado o processo foi o maior teor de Ca da cama compostada e a presença do N na forma inorgânica (Tabela 01) em maiores proporções, desencadeando um desequilíbrio no complexo sortivo do solo e uma maior taxa de formação de NH_3 nesta situação pela menor quantidade de H^+ na solução, favorecendo as

maiores perdas. Em estudo conduzido por Ernani (2003), verificou-se que o teor de Ca presente na cama de frango possui certa capacidade de neutralizar a acidez do solo, assim numa condição de pH mais alcalino, o potencial de perdas de NH_3 por volatilização pode ser potencializado. Além do mais, a adição de água nos vasos pode ter contribuído para incorporação do NH_4^+ no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Cabrera & Chiang (1994), avaliaram perdas por volatilização de NH_3 em dois tipos de cama de frango, com diferentes teores de N e, observaram que à medida que adicionaram água ao resíduo, as perdas por volatilização aumentaram significativamente, o qual é devido ao aumento na mineralização do N e na dissolução do NH_4^+ presente no material.

Já a NH_3 total volatilizado alcançou valores de 11,16 e 7,86%, respectivamente, para cama de frango com e sem compostagem, evidenciando desta forma o maior potencial de perdas de NH_3 da cama compostada. O maior potencial de perdas da cama de frango compostada se deve possivelmente ao seu avançado estágio de mineralização em detrimento à cama não compostada. Nessa situação, como ocorre maior concentração de N inorgânico no total de N encontrado na cama de frango compostada, o que por consequência, resulta em uma maior perda por volatilização. De acordo com os dados apresentados na Tabela 03, a maior concentração de Ca na cama de frango compostada pode ter proporcionado maior capacidade de neutralização da acidez do solo, aumentando o potencial de volatilização de NH_3 . Trabalhos conduzidos em laboratório por Ernani (2003), comprovam o poder de neutralização da acidez do solo pela adição de cama de frango ao solo. Conforme o mesmo autor, a adição de $10,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ desse material equivaleria à aplicação de $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário. Portanto, a cama de frango pode elevar o pH, principalmente em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica e consequente, à capacidade de troca catiônica.

Quanto a interação pH x profundidade de incorporação da cama, observa-se que ocorreram respostas significativas ($p < 0,05$), com valores que variaram de

0 – 17,56% de NH_3 volatilizada (Tabelas 02 e 04). No desdobramento desta interação, nota-se que a incorporação do fertilizante orgânico ao solo, seja ela a 5 ou a 10 cm de profundidade, foi eficiente em reduzir a volatilização de NH_3 até os 28 DAA nas condições de pH 5,5 e, durante todo o processo de avaliação (42 DAA) nas condições de pH 6,5. Isso indica que as perdas de NH_3 por volatilização são maiores nos primeiros dias após a aplicação, reduzindo substancialmente ao longo do processo de mineralização. Estes resultados corroboram com os encontrados por Lara Cabezas & Trivelin (1990)

e Costa, Vitti & Cantarella (2003). Observa-se que a partir da segunda semana (14 DAA), as perdas diminuem, provavelmente, em consequência da queda do pH do solo associada ao consumo de OH- durante a volatilização e a nitrificação do NH_4^+ (WHITEHEAD, 1995).

Tabela 04. Resultados médios para perdas de N na forma de NH_3 em função do pH do solo e da profundidade de incorporação da cama de frango aplicada em Argissolo Vermelho Eutrófico de Brasilândia do Sul – PR.

Profundidade (cm)	pH do solo	
	5,50	6,50
	%	
	7 DAA	
0	17,56 aA	14,17 aB
5	0,14 bA	0,46 bA
10	0,11 bA	0,20 bA
	14 DAA	
0	6,43 aA	6,18 aA
5	0,43 bA	0,49 bA
10	0,12 bA	0,17 bA
	21 DAA	
0	1,13 aA	1,76 aA
5	0,70 abA	0,13 bA
10	0,08 bA	0,04 bA
	28 DAA	
0	0,99 aB	1,25 aA
5	0,13 bA	0,17 bA
10	0,24 bA	0,09 bA
	35 DAA	
0	0,03 aB	0,22 aA
5	0,03 aA	0,02 bA
10	0,03 aA	0,00 bA
	42 DAA	
0	0,14 aB	0,20 aA
5	0,12 aA	0,13 bA
10	0,13 aA	0,14 abA
	Nitrogênio total	
0	26,29 aA	23,79 aA
5	1,54 bA	1,40 bA
10	0,70 bA	0,65 bA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ainda, com relação à interação pH x profundidade de incorporação, percebeu-se que logo após a aplicação do adubo orgânico ao solo (7 DAA), os maiores percentuais de perdas foram proporcionados pela condição de pH 5,5, o que pode ser atribuído ao potencial de elevação do pH do solo nas adjacências do fertilizante provocado pelo processo de mineralização de N do mesmo, fato este comprovado por Ernani (2003). Contudo, no decorrer dos dias das mensurações, a condição de pH 6,5 proporcionou as maiores perdas por volatilização. Nestas condições, provavelmente o pH do solo tenha influenciado diretamente no equilíbrio $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, não mais o efeito da aplicação da cama de frango. Com relação ao acumulado de perdas, os valores foram de 26,29 e 23,79%, respectivamente, pHs 5,5 e 6,5. Observou-se que o ajuste do pH não influenciou estatisticamente as perdas de nitrogênio. Contudo, confirmou-se novamente que a incorporação da cama de frango foi eficiente na minimização do potencial de volatilização do resíduo.

Tabela 05. Resultados médios para perdas de N na forma de NH₃ em função da profundidade de incorporação e da cama de frango com e sem compostagem aplicada em Argissolo Vermelho Eutrófico de Brasilândia do Sul – PR.

Profundidade (cm)	Cama de frango	
	Compostada	Não Compostada
	%	
	7 DAA	
0	19,83 aA	11,90 aB
5	0,46 bA	0,13 bA
10	0,09 bA	0,22 bA
	14 DAA	
0	5,70 aA	6,91 aA
5	0,52 bA	0,38 bA
10	0,12 bA	0,17 bA
	21 DAA	
0	1,42 aA	1,47 aA
5	0,73 abA	0,10 bA
10	0,08 bA	0,04 bA
	28 DAA	
0	1,33 aA	0,91 aB
5	0,19 bA	0,11 bA
10	0,24 bA	0,09 bA
	35 DAA	
0	0,17 aA	0,08 aB
5	0,04 bA	0,06 aA
10	0,00 bA	0,02 aA
	42 DAA	
0	0,20 aA	0,14 aB
5	0,15 aA	0,10 aA
10	0,17 aA	0,09 aB
	Nitrogênio Total	
0	28,67 aA	21,41 aB
5	2,10 bA	0,84 bA
10	0,71 bA	0,64 bA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação ao desdobramento da interação cama de frango x profundidade de incorporação, os resultados das avaliações apontam para profundidade de incorporação da cama de frango como o fator mais eficiente na redução das perdas de NH₃ por volatilização (Tabela 05). Porém, a partir da quinta coleta (35 DAA), o processo de mineralização do N presente na cama de frango tornou-se muito lento, e por consequência, a volatilização de NH₃ diminuiu substancialmente. Neste momento, a profundidade de incorporação não influenciou no processo de redução das perdas de NH₃ da cama não compostada aos 35 e 42 DAA e 42 DAA para a cama de frango compostada, respectivamente.

Constatou-se ainda, que o tipo de cama de frango utilizada não influenciou no processo de perda de NH₃ por volatilização apenas nas coletas 2 e 3 (14 e 21 DAA), sendo observado nas demais coletas, diferenças entre os percentuais de perdas de NH₃. Nestas situações a cama de frango compostada apresentou maiores perdas em relação a não compostada.

Com relação ao acumulado de perdas, os resultados apontam que quando aplicada na superfície do solo, a cama de frango compostada (28,67%) proporcionou maiores percentuais de perdas em detrimento à cama não compostada (21,41%). Contudo, quando o fertilizante foi incorporado ao solo (5 ou 10 cm), observou-se que

as perdas não diferiram estatisticamente entre si e entre os dois tipos de cama de frango utilizadas no trabalho (Tabela 05). Sommer et al. (2003) explicam que a CTC do solo afeta a adsorção de NH₄⁺ nas cargas negativas do solo. Dessa forma, a incorporação da cama obriga a NH₃ deste a superar diversas barreiras químicas no perfil do solo, onde fica propensa a reagir com íons H⁺ existentes na solução do solo, e se transformar em N-NH₄⁺, que fica adsorvido a CTC do solo. Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com Damasceno (2010), que trabalhando com esterco líquido de suínos concluiu que a injeção do resíduo ao solo reduziu a emissão de NH₃ para valores próximos a zero. Portanto, fica evidente a eficiência da incorporação da cama de frango ao solo reduz sensivelmente as perdas de NH₃ por volatilização, deixando este N no solo, disponível para as culturas que venham a utilizá-lo no seu desenvolvimento e frutificação, proporcionando desta maneira, incremento na produtividade, diminuindo os riscos de poluição do ambiente.

5. CONCLUSÕES

O pH do solo não interferiu no processo de volatilização de NH₃ da cama de frango.

A cama de frango compostada proporcionou os maiores percentuais de perdas de NH₃ por volatilização.

A incorporação da cama de frango ao solo se revelou uma alternativa eficiente para reduzir a volatilização de NH₃ da cama de frango.

REFERÊNCIAS

- ANDREOTTI, M.; NAVA, I.; WIMMER NETO, L.; GUIMARÃES, V.; FURLANI JUNIOR, E. Fontes de nitrogênio e modos de adubação em cobertura sobre a produtividade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na "safra das águas". *Acta Scientiarum Agronomia*. Maringá, v. 27, n. 4, p. 595-602, 2005.
- ANDREUCCI, P.M. **Perdas nitrogenadas e recuperação aparente de nitrogênio em fontes de adubação de capim elefante**. (Dissertação de Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2007.
- BALSARI, P.; GIOELLI, F.; DINUCCIO, E. Ammonia nitrogen emission from land spread farmyard manure. *International Congress Series*, Amsterdam, v. 1.293, p. 327-330, 2006.
- BENGTSSON, G.; BENGTSON, P.; MANSSON, K.F. Gross nitrogen mineralization-immobilization and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 35, n. 1, p. 143-154, 2002.
- BITZER, C.C.; SIMS, J.T. Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and studies. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 17, n. 1, p. 47-54, 1988.
- BLESS, H-G.; BEINHAUER, R.; SATTELMACHER, B. Ammonia emission from slurry applied to wheat stubble and rape in North Germany. *Journal of Agricultural Science*, v.117, n.1,

p.225-231, 1991.

BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 2, p. 376-381, 1985.

CABRERA, M. L.; CHIANG, S. C. Water content effect on denitrification and ammonia volatilization in poultry litter. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 58, n. 3, p. 811-816, 1994.

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

CASTRO, C.M.; ALMEIDA, D.L.; RIBEIRO, R.L.D.; CARVALHO, J.F. Plantio direto, adubação verde e suplementação com esterco de aves na produção orgânica de berinjela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p.495-502, 2005.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD.

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, n. 4, p. 631-637, 2003.

DAMASCENO, F. **Injeção de dejetos líquidos de suínos no solo e inibidor de nitrificação como estratégias para reduzir as emissões de amônia e óxido nitroso**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, 2010.

DUARTE F. M. **Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e eficiência da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado**. 2006. 85f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

EGUTE, N.S.; ABRÃO, A.; CARVALHO, F.M.S. estudo do processo de geração de amônia a partir de resíduos avícolas visando a produção de hidrogênio. **Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 12, n. 1, p. 1 – 6, 2010.

EMBRAPA, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA – CNPS, 2006. p. 306.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira**. Lages: Grahpel, SC, 2003. 76p.

GORDON, R.; LECLERC, M.; SCHUEPP, P.; BRUNKR, R. Field estimates of ammonia volatilization from swine manure by a simple micrometeorological technique. **Canadian Journal of Soil Science**, Ontario, v.68, n.2, p.369-380, 1988.

HARGROVE, W.L.; BOCK, B.R.; RAUNIKAR, R.A.; URBAN, W.J. Comparison of a forced-draft technique to nitrogen-15 recovery for measuring ammonia volatilization field conditions. **Soil Sci. Soc. Madison**, v. 51, n. 1, p. 124-128, 1987.

HORN, H.H.; WILKIE, A.C.; POWERS, W.J.; NORDSTEDT, R.A. Components of dairy manure management systems. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 77, p. 2008-2030, 1994.

JANSSEN, B. H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. **Plant and Soil**, The Hage, v. 181, n. 1, p. 39-45, 1996.

KATTERER, T.; REICHSTEIN, M.; ANREN, O.; LOMANDER, A. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, n. 3, p. 258–262, 1998.

LANA, M.C.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J.F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório**. Marechal Cândido Rondon: EDUNIOESTE, 2010. p. 129.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semiaberto estático na quantificação de amônia volatilizada da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLI, J.A.; SANTANA, D.G.; GASCHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 30, n. 3, p. 389-406, 1999.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000.

MARCONDES, Â.L.P. **Volatilização de amônia de adubos nitrogenados aplicados em superfície na cultura do milho em ambientes distintos**. 2007. 66f. (Dissertação de mestrado em Agronomia). Unioeste. Marechal Cândido Rondon, 2007.

MATTILA, P. K. Ammonia volatilization from cattle slurry applied to grassland as affected by slurry treatment and application technique – first year results. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 51, n. 1, p. 47-50, 1998.

MELO, W.J. **Matéria orgânica, nitrogênio e enxofre: curso de atualização em fertilidade do solo**. Jaboticabal: ANDA, 1978, 66p.

MOORE J.R.; P.A.; DANIEL. T.C.; EDWARDS, D.R. Reducing phosphorus runoff and inhibiting ammonia loss from poultry manure with aluminum sulfate. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, n. 1, p. 29-37, 2000.

MUELLER, S.; WAMSER, A.F.; SUZUKI, A.; BECKER, W.F. Produtividade de tomate sob adubação orgânica e complementação com adubos minerais. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 86-92, 2013.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F. **Análise química de tecido vegetal**. Londrina, IAPAR, 1992. 17 p.

NÖNMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soils. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 39, n. 2, p. 309-318, 1973.

OLIVEIRA, N.G.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M. Plantio direto de alface adubada com cama de aviário sobre coberturas vivas de grama e amendoim forrageiro. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 24, n. 1, 2006.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 538-545, 2010.

OVERREIN, L. N.; MOE, P. G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.31, n.1, p.57-61, 1967.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, p.201-216. 2011.

RITZ, C.W.; FAIRCHILD, B.D.; LACY, M.P. **Litter quality and broiler performance**. Cooperative extension service/The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences. Bulletin 1267, April, 2005.

RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 37-43, 1986.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687-692, 2003.

SEIFFERT, N.F. **Planejamento da atividade avícola visando qualidade ambiental**. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA. 2000, Concórdia, Anais..., Concórdia, 2000. p. 1-20.

SCHJONNING, P.; THOMSEN, I.K.; MOBERG, J.P.; JONGE, J.; KRISTENSEN, K.; CHRISTENSEN, B.T. Turnover of organic matter in differently textured soils, I: physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. **Geoderma**, v. 89, n. 3-4, p. 177-198, 1999.

SILVA, A. J.; LIMA JÚNIOR, M. A.; FERREIRA, N. C.M.; FRAGA, V. S. Perdas de amônia por volatilização proveniente da uréia aplicada a solos dos trópicos úmidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 141-144, 1995.

SOMMER, G.S.; FRIIS, E.; BAK, A.B.; SCHJORRING, J.K. Ammonia volatilization from pig slurry applied with trail hoses or broad spread to winter wheat: effects of crop developmental stage, microclimate, and leaf ammonia absorption. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, n. 4, p.1153-1160, 1997.

SOMMER, S.G.; NERMONT, S.G., CELLIER, P., HUTCHINGS, N.J., OLESEN, J.E., MORVAN, T. Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in thefield. **European Journal of**

Agronomy, v. 19, n. 4, p. 465-486, 2003.

SOUZA, J.L. ; RESENDE, P. **Manual de Horticultura Orgânica**. Viçosa . Aprenda Fácil. 2009. 843p.

SORENSEN, P.; JENSEN, E.S. Mineralization-immobilizing and plant uptake of nitrogen as influenced by the spatial distribution of cattle slurry in soils of different texture. **Plant and Soil**, v. 173, n. 2, p. 283-291, 1995.

TASCA, F.A.; ERNANI, P.R.; ROGERI, D.A.; GATIBONI, L.C.; CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de uréia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.493-502, 2011.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174 p.

TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy**, v. 31, p. 189-223, 1979.

THOMPSON, R.B.; PAIN, B.F.; REES, Y.J. Ammonia volatilization from cattle slurry following surface application to grassland. **Plant & Soil**, v.125, n.1, p.119-128, 1990.

WATTS, D.B.; TORBERT, H.; PRIOR, S.A. Mineralization of nitrogen in soils amended with dairy manure as affected by wetting/drying cycles. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, n. 15-16, p. 2.103-2.116, 2007.

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