

CRESCIMENTO E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJOEIRO ADUBADO COM CAMA DE AVES E FERTILIZANTES MINERAIS⁽¹⁾

Késia Silva Lourenço⁽²⁾, Juliano Corulli Corrêa⁽³⁾, Paulo Roberto Ernani⁽⁴⁾, Letícia dos Santos Lopes⁽³⁾ & Rodrigo da Silveira Nicoloso⁽³⁾

RESUMO

O feijoeiro é tradicionalmente cultivado em pequenas propriedades, onde é comum o uso de dejetos animais para adubação das culturas. Como é uma cultura de ciclo curto, os nutrientes precisam estar disponíveis logo após a germinação, o que nem sempre acontece quando a fertilização ocorre a partir de fertilizantes orgânicos. Neste trabalho, objetivou-se avaliar a eficiência de diferentes camas de aves em relação aos fertilizantes minerais na produção de matéria seca e na liberação de nutrientes para o feijoeiro, em casa de vegetação. O experimento foi conduzido em 2010, com amostras de um Latossolo Vermelho distroférico com 16 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 1,9 e 84 mg dm⁻³ de P e K, respectivamente, e pH 6,0. Adotou-se delineamento experimental de blocos casualizados com 10 tratamentos e cinco repetições. As unidades experimentais foram constituídas por vasos com 14 dm³ de solo e cinco plantas de feijão, do cultivar BRS Requite, durante 60 dias. Os tratamentos consistiram de cinco camas de aves compostas pelos seguintes materiais: palha de milho, bagaço de cana-de-açúcar, palha de pastagem natural, areia ou acícula de *Pinus*, formulações de nutrientes (NPK, NP, PK e NK) e um testemunha, sem nenhum fertilizante. Os fertilizantes minerais com P proporcionaram maior produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSRA) do feijoeiro do que as camas de aves, por causa da maior liberação para o solo de N e P disponíveis. Dentre as camas estudadas, aquela constituída por areia foi a que proporcionou os maiores valores de MSPA e de MSRA. As plantas fertilizadas com as camas de aves acumularam, em média, 58,6 % do N e 59,0 % do P, em relação às fertilizadas com os tratamentos que continham N e P minerais. A taxa de recuperação pelas plantas de

⁽¹⁾ Projeto executado com recursos da Rede FertBrasil. Recebido para publicação em 23 de maio de 2012 e aprovado em 28 de fevereiro de 2013.

⁽²⁾ Aluna de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Av. Luis de Camões, 2090. CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: silkesia@yahoo.com.br

⁽³⁾ Pesquisadores da Embrapa Suínos e Aves BR 153, C.P. 21 CEP 89700-000, Concórdia (SC). E-mail: juliano@cnpa.embrapa.br; letícia.lopes@embrapa.br; rodrigo.nicoloso@embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos da UDESC. Pesquisador do CNPq. E-mail: prernani@cav.udesc.br

N e K foi maior para os nutrientes aplicados na forma mineral do que na orgânica. As camas de aves podem ser utilizadas como fertilizantes para a cultura do feijoeiro desde que sejam suplementadas com N e P minerais.

Termos de indexação: nitrogênio, fósforo, potássio, dejetos animais, disponibilidade de nutrientes.

SUMMARY: NUTRIENT UPTAKE AND YIELD OF COMMON BEAN FERTILIZED WITH POULTRY LITTERS AND MINERAL NUTRIENTS

Common bean is traditionally grown on small farms in Brazil, where animal wastes are often used as soil fertilizer. Since this is a short-cycle species, nutrients must be available soon after seed germination, which is not always the case when supplied in the form of organic fertilizers. This study was carried out to evaluate the efficiency of different poultry litters in comparison with mineral fertilizers to increase dry matter yield and nutrient release to beans. The experiment was conducted in 2010, in a greenhouse, with Oxisol samples containing 16 g kg⁻¹ of organic matter, 1.9 and 84 mg dm⁻³ of P and K, respectively, and with a pH of 6.0. A randomized complete block design was used with 10 treatments and five replications. The experimental units consisted of 14 dm³ of soil (dry base) in plastic pots, where five seedlings (cultivar BRS Requite) were grown for 60 days. Treatments consisted of five poultry litters on the materials maize straw, sugar cane bagasse, native grass straw, sand and pine needles, respectively, and four mineral nutrient combinations (NPK, NP, PK, and NK), plus one control without any fertilizer. Mineral fertilizers containing P induced higher dry matter yield of shoot and roots of bean than the poultry litters, due to the release of higher amounts of available N and P. Of the animal wastes, the poultry litter with sand substrate was the most efficient to promote bean yield. Plants fertilized with poultry litters accumulated, on average 58.6 and 59.0 %, respectively, of the N and P accumulated in plants treated with mineral fertilizers containing N and P. The N and K recovery rate by plants was always higher for nutrients applied in mineral than organic forms. Poultry litters may be used as soil fertilizer of common beans provided they are supplemented with mineral fertilizers containing N and P.

Index terms: nitrogen, phosphorus, potassium, animal wastes, nutrient availability.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui 5,5 bilhões de frangos destinados à produção de carne (FAO, 2009; IBGE-SIDRA, 2010) e previsão de aumento de 49 % até 2020 (AGE/MAPA, 2010). Esses animais geram grandes quantidades de dejetos que podem ser utilizados na agricultura como fertilizantes e condicionadores do solo. O Estado de Santa Catarina é um dos principais produtores nacionais de carne de frango, cuja produção concentra-se principalmente na região oeste, em pequenas propriedades rurais. Os dejetos oriundos da criação desses animais vêm sendo utilizados como fertilizante nas adjacências das unidades produtoras; contudo, em razão da grande quantidade produzida, geram problemas ambientais, principalmente relacionados com lixiviação de nitrato e volatilização de amônia. Sendo assim, os dejetos têm que ser transportados para localidades cada vez mais distantes dos locais de geração, o que encarece o preço final deles. As camas são utilizadas no Brasil para produções médias de seis lotes de frangos e atingem um total anual de aproximadamente 7,8 milhões de toneladas de resíduo.

Caso esse material fosse totalmente aplicado ao solo, seriam adicionadas 273, 312 e 234 mil toneladas de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, por ano, considerando uma composição média na matéria seca de 35, 40 e 30 g kg⁻¹, respectivamente (Siqueira et al., 1987). Esses valores corresponderiam entre 5 e 10 % do total desses nutrientes fornecidos pelos fertilizantes minerais, em 2008, no Brasil (ANDA, 2008).

A fim de decidir ou não pela aquisição desse tipo de fertilizante, os agricultores precisam conhecer a eficiência agrônômica dele, em relação aos fertilizantes minerais, além do preço. O valor agrônômico da cama de aves está diretamente associado à quantidade de nutrientes presentes, principalmente N, P e K, e à taxa de liberação deles para as plantas. A composição mineral da cama de aves apresenta frações com solubilidades distintas, algumas prontamente disponíveis às plantas e outras na forma orgânica, que dependem da atividade biológica do solo para serem mineralizadas. Para o N, estima-se que 60 % estejam na forma orgânica, 30 % como amônio e 10 % na forma nítrica e amídica (Sims & Wolf, 1994). A sugestão contida nas tabelas de adubação dos Estados do Rio

Grande do Sul e de Santa Catarina é de que apenas 50 % do N contido nesse material sejam considerados disponíveis às culturas no primeiro cultivo subsequente à aplicação e outros 20 % se tornem disponíveis durante o cultivo subsequente (CQFSRS/SC, 2004).

Vários trabalhos têm reconhecido a eficiência do uso da cama de aves em grandes culturas (Eghball et al., 2004; Tewolde et al., 2005; Hirzel et al., 2007; Hirzel & Walter, 2008), porém poucos estudos têm avaliado o efeito comparativo desse material com os fertilizantes minerais na cultura do feijoeiro (Andreola et al., 2000; Andreotti et al., 2005). Os resultados variam amplamente de estudo para estudo. Andreola et al. (2000) verificaram que a adubação com cama de aves proporcionou produtividade de grãos de feijão similar ao tratamento com NPK mineral. Andreotti et al. (2005) avaliaram o efeito da cama de aves como fonte de N para o feijoeiro, em comparação a diversas fontes de N mineral. Os autores corroboraram que a produtividade do feijão adubado com cama de aves foi superior à proporcionada pelo N mineral, quando os fertilizantes não foram incorporados ao solo. No entanto, quando esses foram incorporados ao solo, ocorreu o inverso que, segundo os autores, se deveu à imobilização temporária de N, em razão do C adicionado ao solo pela maravalha presente na cama de aves. Hirzel & Walter (2008) não encontraram diferença entre cama de aves e adubação mineral, no rendimento de milho cultivado em um solo originado de cinzas vulcânicas. O suprimento de N também não diferiu entre cama de aves e nitrato de amônio, para a cultura do algodoeiro (Mitchell & Tu, 2005). Carvalho et al. (2011) observaram maior rendimento quando a soja foi adubada com cama de aves do que com fertilizantes minerais.

Nem sempre é possível comparar a eficiência agrônômica de camas de aves com fertilizantes minerais no rendimento das culturas, principalmente em razão da variação da composição dos solos e porque, na maioria dos experimentos, as quantidades aplicadas dos nutrientes diferem muito. Entretanto, o entendimento da dinâmica de liberação dos nutrientes no solo, oriundos de fertilizantes orgânicos, é fundamental para o estabelecimento de práticas de manejo que permitam maximizar a eficiência de uso de cama de aves como fonte de nutrientes às culturas, principalmente para a cultura do feijão que necessita de nutrientes prontamente disponíveis em curto espaço de tempo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de camas de aves em comparação com fertilizantes minerais, no rendimento de matéria seca, na absorção e na recuperação de N, P e K pela cultura do feijoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em 2010, no Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

(Embrapa), em Concórdia, SC. O clima local predominante é do tipo Cfa, de acordo com classificação climática de Köppen, com temperatura média anual baixa, em torno de 17 °C, com médias de 22 °C, no verão, e 13 °C, no inverno.

Utilizou-se um Latossolo Vermelho distroférrico (Embrapa, 2006), cuja amostra foi coletada da camada de 0-20 cm, em área sob vegetação natural. O solo apresentou 16 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 1,9 e 84 mg dm⁻³ de P e K, respectivamente, 21 e 14 mmol_c dm⁻³ de Ca e Mg, respectivamente, e pH em água 4,7, de acordo com métodos descritos em Tedesco et al. (1995). O pH do solo foi elevado até 6,0 pela adição de 3,6 g kg⁻¹ de calcário dolomítico com 29 % de CaO e 20 % de MgO, considerando PRNT 100 %. Após a mistura do calcário, o solo foi umedecido, até atingir 70 % da capacidade de campo, e mantido em incubação, durante 20 dias.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos, com capacidade de 14 dm³, preenchidos com 12,0 kg de solo (base seca) e cinco plantas de feijão. Os tratamentos consistiram de cinco camas de aves constituídas por palha de milho, bagaço de cana-de-açúcar, palha de pastagem natural, areia e acícula de *Pinus*, de quatro formulações de nutrientes minerais (NPK, NP, PK e NK) e um testemunha, sem adubação mineral ou orgânica. Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, totalizando 10 tratamentos e cinco repetições.

Em experimentos preliminares conduzidos com cama de aves, observou-se que a máxima produtividade de feijão, em experimentos com vasos, foi obtida pela aplicação de 167 mg kg⁻¹ de N. Essa dose foi utilizada para equacionar a quantidade de cada tratamento a ser aplicada ao solo. As doses de P e K fornecidas pelos fertilizantes minerais foram escolhidas com o objetivo de suprir as mesmas quantidades totais fornecidas pela cama de aves constituída por bagaço de cana-de-açúcar, ou seja, 132 e 229 mg kg⁻¹, respectivamente. Os três nutrientes foram supridos pelos fertilizantes minerais na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. As quantidades aplicadas de N, P e K pelos tratamentos estão fornecidas no quadro 1.

As camas de aves usadas foram obtidas de galpões, onde foram criados seis lotes consecutivos de frangos de corte destinados à produção de carne. Posterior à coleta, essas foram secas em estufa, a 65 °C, moídas, peneiradas e analisadas, de acordo com os métodos oficiais (APHA, 1992; AOAC, 2000) (Quadro 1).

Sementes de feijão (cultivar BRS Requite, tipo carioca) foram semeadas em agosto de 2010, cinco dias após a aplicação dos tratamentos, sem inoculação das sementes. Após o desbaste, deixaram-se cinco plantas por vaso, que foram cultivadas durante 60 dias após a emergência, quando atingiram o estágio fenológico de florescimento. Ao término desse período, as plantas foram cortadas rente ao solo e as raízes, retiradas e lavadas em água corrente. Na sequência, o material foi armazenado em estufa, a 65 °C, até atingir peso

Quadro 1. Composição química das camas de aves (base seca), formadas por diferentes materiais absorventes, por ocasião da retirada final dos animais, e quantidades fornecidas de N, P e K pelas camas de aves e pelos fertilizantes minerais

Material absorvente	Quantidade de cama		C org	N	P	K	Ca	Mg	Quantidade aplicada		
	t ha ⁻¹	g/vaso ⁽¹⁾							N	P	K
				g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹		
Areia	42,68	256,0	83	7,85	5,6	11,4	7,0	2,4	167	119	243
Pastagem	13,86	83,2	294	24,2	17,0	31,3	23,1	8,0	167	118	217
Bagaço de cana	13,80	82,8	302	24,3	18,8	33,0	24,5	8,5	167	130	228
Milho	13,65	81,9	286	24,5	20,3	30,4	23,6	8,5	167	139	207
<i>Pinus</i>	12,97	77,8	305	25,8	17,6	31,6	22,9	7,9	167	114	205
NPK									167	132	229
NP									167	132	0
NK									167	0	229
PK									0	132	229

⁽¹⁾ Cada unidade experimental tinha 12 kg de solo (base seca).

constante, quando se determinou a matéria seca de parte aérea (MSPA) e de raízes (MSRA). Posteriormente, o tecido vegetal foi moído e digerido com ácido sulfúrico concentrado e mistura de digestão (Na₂SO₄, CuSO₄ e selênio metálico), para quantificações químicas. O N foi determinado por meio de arraste de vapor, em equipamento semimicro Kjeldahl; o P, por fotolorimetria; e o K, por espectrofotometria de emissão, conforme descrito em Tedesco et al. (1995).

Cinco dias após a aplicação dos fertilizantes e após a retirada das plantas, amostras de solo foram coletadas para determinações químicas. O N mineral (NH₄⁺ + NO₃⁻) foi extraído com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹ e o P e K, por solução ácida diluída (Mehlich-1). Esses foram determinados pelos mesmos procedimentos utilizados na análise foliar.

O acúmulo de N, P e K na MSPA e MSRA foi definido por meio do produto entre a concentração desses nutrientes no tecido vegetal e a respectiva fitomassa. Para determinar as eficiências, utilizou-se o método descrito por Fageria (2000). Para a eficiência fisiológica, foi considerada a produção total de fitomassa e as quantidades acumuladas de cada nutriente na MSPA, de acordo com a fórmula:

$$EF = (MSPA_{cf} - MSPA_{sf}) / (AN_{cf} - AN_{sf}),$$

em que:

EF = eficiência fisiológica (mg mg⁻¹).

MSPA_{cf} = produção total de matéria seca da parte aérea com o fertilizante (mg/vaso).

MSPA_{sf} = produção total de matéria seca da parte aérea sem fertilizante (mg/vaso).

AN_{cf} = acúmulo do nutriente na parte aérea com o fertilizante (mg/vaso).

AN_{sf} = acúmulo do nutriente na parte aérea sem fertilizante (mg/vaso).

A taxa de recuperação foi calculada pela fórmula:

$$TR = (AN_{cf} - AN_{sf}) \times 100 / (QNa),$$

em que:

TR = taxa de recuperação (%);

AN_{cf} = acumulação do nutriente na parte aérea com fertilizante (mg/vaso);

AN_{sf} = acumulação do nutriente na parte aérea sem fertilizante (mg/vaso);

QNa = quantidade do nutriente aplicado (mg/vaso).

Os dados foram submetidos à análise de variância, tendo as médias dos tratamentos sido comparadas pelo *t* de Student, protegido pela significância do teste F global, a 5 %. Para o cálculo, utilizou-se o procedimento GLM do SAS (SAS, 2001), em que o *t* de Student equivale à diferença mínima significativa (DMS).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ no solo

Os maiores teores de amônio no solo (N-NH₄⁺), nas amostras coletadas cinco dias após a aplicação dos fertilizantes, ocorreram nos tratamentos em que foi aplicado N exclusivamente na forma de ureia (NPK, NP e NK) (Figura 1). Nesses, o teor médio de N-NH₄⁺ foi de 206 mg kg⁻¹; naqueles com camas de aves, foi de 95 mg kg⁻¹, sem diferença entre essas. Nos tratamentos com camas constituídas por bagaço de cana ou areia, o N-NH₄⁺ do solo não diferiu daqueles que não receberam N (testemunha e PK), em que o teor médio foi de 76 mg kg⁻¹. O teor médio de N-NH₄⁺ no solo fertilizado com as camas de aves foi de apenas 46 % daquele presente nos tratamentos fertilizados

com ureia (Figura 1). Apesar de o $N-NH_4^+$ ser a principal forma de N mineral presente nas camas de aves, representando aproximadamente 10 % do N total, mais da metade do N aplicado pelos dejetos animais não foi inicialmente disponibilizado para o solo, uma vez que esse faz parte de compostos orgânicos estáveis que precisam ser decompostos pelos microrganismos.

Após a colheita das plantas, a análise do solo revelou teor de $N-NH_4^+$ muito baixo em todos os tratamentos, evidenciando que, após o período de cultivo de 60 dias, a quase totalidade do $N-NH_4^+$ presente no solo foi absorvida pelas plantas e, ou, nitrificada (Figura 1). Wild et al. (2011) aplicaram vários materiais orgânicos ao solo, incluindo cama de aves, e verificaram que a nitrificação foi concluída antes de 53 dias. Aita et al. (2007) verificaram que todo o amônio decorrente da aplicação de dejetos líquidos de suínos ao solo nitrificou ainda mais rápido, tendo ocorrido nos primeiros 20 dias. Nessas amostras, os tratamentos que apresentaram os menores teores de $N-NH_4^+$ (média de $8,6 \text{ mg kg}^{-1}$) foram aqueles que não receberam fertilizantes nitrogenados (PK e testemunha).

Os maiores teores de nitrato ($N-NO_3^-$) nas amostras de solo coletadas cinco dias após a aplicação dos fertilizantes ocorreram nos tratamentos em que foram aplicadas as cama de aves (Figura 1), com média de aproximadamente 40 mg kg^{-1} , excluindo o tratamento que recebeu cama constituída por areia, que apresentou 25 mg kg^{-1} . Nos tratamentos que receberam N mineral, o teor de $N-NO_3^-$ foi de 23 mg kg^{-1} , não tendo diferido do testemunha em razão de que neles o N foi aplicado na forma de ureia, e o período de cinco dias provavelmente foi insuficiente para que ocorresse hidrólise da molécula de ureia seguida de nitrificação.

O teor de $N-NO_3^-$ no solo nas amostras coletadas após o cultivo das plantas, 65 dias após a adição dos fertilizantes, foi menor do que 20 mg kg^{-1} em quase todos os tratamentos (Figura 1). A diminuição do $N-NO_3^-$ do solo ao longo do tempo foi por causa da absorção de N pelas plantas; exceção ocorreu no solo fertilizado com NK mineral, onde a alta concentração de nitrato (65 mg kg^{-1}) deveu-se à baixa absorção resultante do pequeno crescimento das plantas causado pela deficiência de P. O aumento da concentração de $N-NO_3^-$ nesse tratamento, nas amostras coletadas após a colheita, relativamente àquelas coletadas no quinto dia após a aplicação dos fertilizantes, foi em razão da nitrificação, cujo processo ocorre em poucas semanas (Aita et al., 2007; Wild et al., 2011).

A concentração de N mineral total (amônio + nitrato) nas amostras coletadas logo após a aplicação dos fertilizantes foi maior naqueles solos que receberam ureia, em relação àqueles com cama de aves, apesar de que os tratamentos com NP e NK não diferiram daqueles em que foram aplicados alguns tipos de cama de aves (Figura 1). Na média, os tratamentos com ureia apresentaram 221 mg kg^{-1} de N mineral, ou seja, 66 % a mais do que a média dos tratamentos com camas, que apresentaram 133 mg

kg^{-1} (Figura 1). Nas amostras de solo coletadas após a colheita das plantas, os valores de N no solo foram muito baixos e praticamente não diferiram entre os tratamentos, porém houve diferença, sendo maior com a aplicação do NK. Como todos os tratamentos, exceto o testemunha, receberam a mesma quantidade total de N (167 mg kg^{-1}), as diferenças entre os fertilizantes orgânicos e minerais em aumentar os teores de amônio

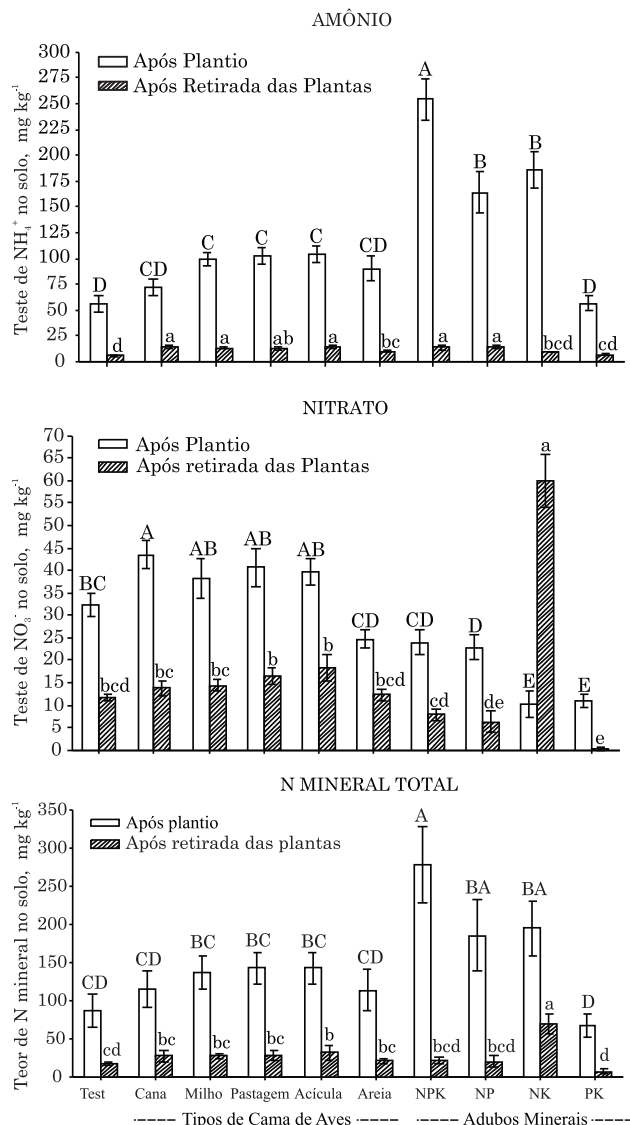


Figura 1. Teores de NH_4^+ , NO_3^- e N mineral total no solo ($NH_4^+ + NO_3^-$), antes e após o cultivo de feijão, em razão da adição de fontes orgânicas e minerais. Letras maiúsculas referem-se às coletas após o plantio e letras minúsculas, atribui-se à coleta após a retirada das plantas. As barras nas colunas indicam o erro-padrão da média. Valores nas colunas de cada época de amostragem seguidos de mesma letra não diferem significativamente pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) a 5 %. Test: tratamento testemunha.

e nitrato do solo estão relacionadas principalmente com as formas em que o N estava presente em cada um desses fertilizantes. Na ureia, o N está na forma amídica [CO(NH₂)₂], enquanto nas camas de aves esse está predominantemente na forma orgânica estável, mas também como amida, ácido úrico, amônio e nitrato (Thomsen, 2004). As formas orgânicas têm que ser mineralizadas para liberar o N para as plantas, o que depende da atividade biológica.

Produção de matéria seca

A produção de matéria seca de raízes (MSRA) foi maior nos tratamentos com fertilizantes minerais, com exceção daquele com ausência de P (NK), do que naqueles com camas de aves (Figura 2). No tratamento só com NK mineral e no testemunha, a deficiência de P restringiu o crescimento das raízes, cuja produção de matéria seca foi de aproximadamente 1,0 g/vaso, enquanto naqueles com NPK e PK foi de 8,4 e 7,9 g/vaso, respectivamente. Dentre as camas de aves, aquela constituída por areia foi a que proporcionou a maior produção de MSRA (6,1 g/vaso), não tendo diferido daquela com bagaço de cana; nas demais, a MSRA foi menor que 5,0 g/vaso, sem diferença entre elas.

O efeito dos tratamentos na matéria seca da parte aérea (MSPA) foi muito semelhante ao que ocorreu na MSRA, em que a maior produção foi proporcionada pelos fertilizantes químicos contendo NPK (50,7 g/vaso), seguida por aqueles com NP e PK (Figura 2). Novamente, o tratamento com NK e o testemunha (sem nenhum fertilizante) foram os menos produtivos em razão da limitação ocasionada pela deficiência de P, uma vez que o solo tinha apenas 1,9 mg dm⁻³ de P disponível, considerado muito baixo pela CFQSRS/SC (2004). Na comparação entre as camas de aves, a MSPA foi maior novamente naquela com areia (28,2 g/vaso) e menor naquela com acícula de *Pinus*

(19 g/vaso); essa não diferiu das camas constituídas por bagaço de cana ou palha de milho (Figura 2).

As maiores produções de MSRA e MSPA proporcionadas pelos fertilizantes minerais relativamente às camas de aves estão relacionadas com a maior solubilidade de N e P nos adubos químicos, pois esses foram aplicados nas formas de ureia e superfosfato triplo, respectivamente, o que resultou em maior disponibilidade inicial desses nutrientes às plantas. Nas camas de aves, a fração solúvel em água representa menos de ¼ do N e do P totais (Miles et al., 2003; CFQSRS/SC, 2004; Szogi&Vanotti, 2009); o restante está em formas orgânicas que necessitam ser mineralizadas para que os nutrientes sejam liberados. A CFQSRS/SC (2004) considera que 60 e 80 % dos teores de N e P presentes na cama de aves se tornam disponíveis para as plantas no primeiro cultivo, após a adubação. Nas camas de aves, o N está presente principalmente em formas orgânicas complexas e como ureia, ácido úrico, amônio e nitrato (Diaz et al., 2008), enquanto o P inorgânico encontra-se solúvel e como fosfato de cálcio dibásico e amorfo (Sato et al., 2005) e o P orgânico, predominantemente na forma de sais do ácido fítico (Turner & Leytem, 2004). A diferença de produção de MSRA e MSPA entre a cama constituída por areia e as demais possivelmente deve-se a diferenças nas taxas de liberação do P. Na cama constituída por areia, a quantidade total de cada nutriente vem exclusivamente dos dejetos animais e restos de ração, ao passo que nas demais camas esses também fazem parte da constituição de cada material utilizado como cama para as aves, o qual precisa ser decomposto para que os nutrientes sejam liberados para as plantas.

Acúmulo de N, P e K nas plantas

O maior acúmulo de N nas plantas de feijão ocorreu nos tratamentos que receberam N na forma mineral,

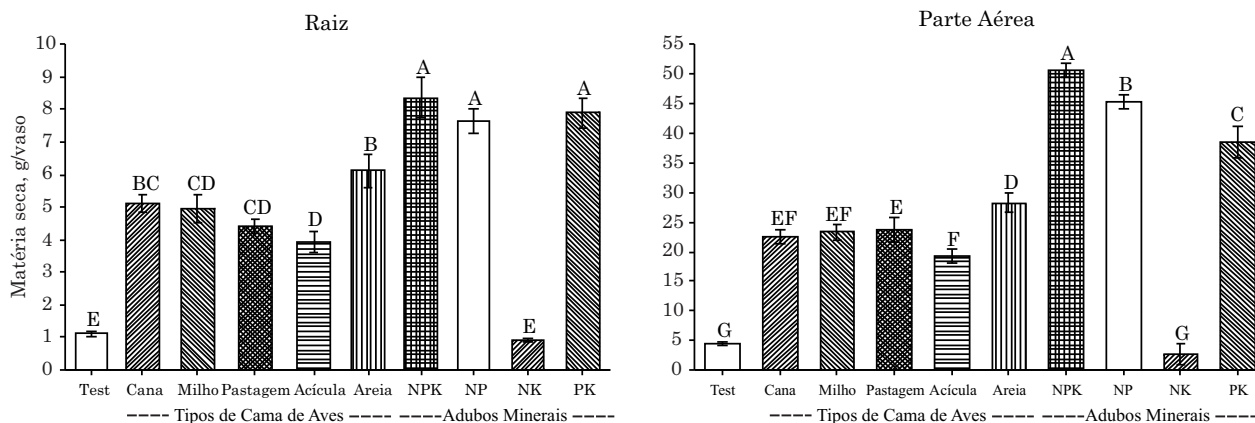


Figura 2. Matéria seca da parte aérea e da raiz de feijão, com 60 dias após a semeadura em razão da adição de fontes orgânicas e minerais, em casa de vegetação. Barras nas colunas referem-se ao erro-padrão da média. Valores nas colunas de cada época de amostragem seguidos de mesma letra não diferem significativamente pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) a 5 %. Test: tratamento testemunha.

na presença de P (NPK e NP) (Figura 3). Na ausência de P, o baixo teor desse nutriente no solo limitou o crescimento das plantas (Figura 2). A quantidade de N acumulada pelas plantas não diferiu entre os tratamentos contendo os diversos tipos de camas de aves, exceto entre acícula de *Pinus* e as camas constituídas por areia e palha de milho; porém, os teores foram praticamente metade daqueles proporcionados pelos tratamentos que receberam N na forma de ureia (Figura 3). Como o tratamento com PK mineral proporcionou acúmulo de N nas plantas semelhante ao ocasionado pelas camas de aves, constatou-se que os materiais orgânicos aplicados disponibilizaram inicialmente para o solo pequena

parte do N neles contidos (Miles et al., 2003; CFQSRS/SC, 2004; Szogi & Vanotti, 2009). Os valores de N mineral total presentes no solo na determinação realizada cinco dias após a aplicação dos adubos ao solo não diferiram entre os tratamentos com camas de aves em relação àqueles que não receberam N (Figura 1). Mesmo as camas de aves tendo relação C/N total ao redor de 10, grande parte do N nelas contido está presente em estruturas orgânicas, o que aumenta a relação C/N prontamente assimilável, podendo ocasionar imobilização temporária de N (Thomsen, 2004; Diaz et al., 2008). Para o feijoeiro, cultura de ciclo muito curto, isso pode representar um problema maior do que para culturas com ciclo

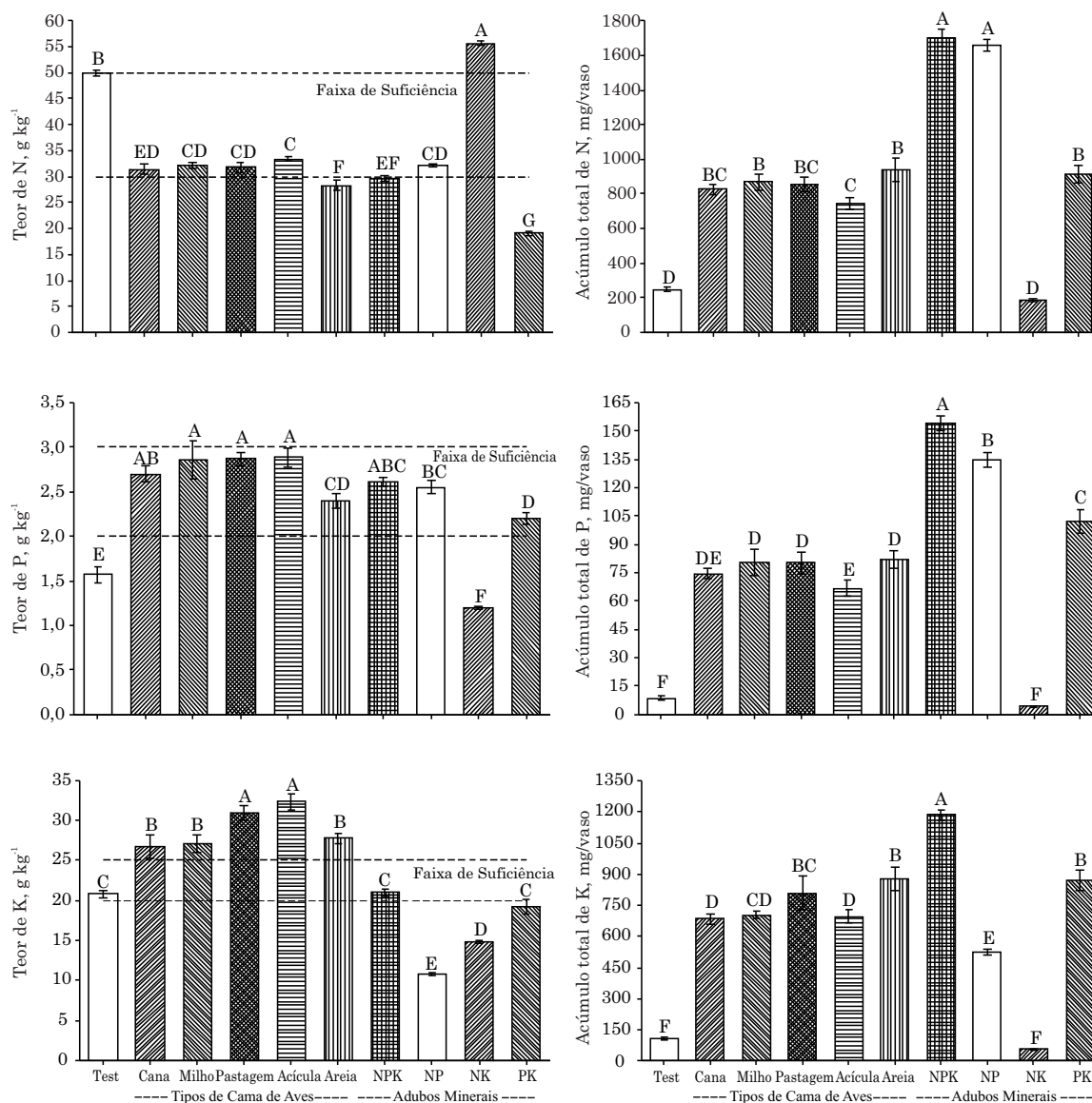


Figura 3. Teor e acúmulo totais de N, P e K na cultura do feijão, com 60 dias após a semeadura, em razão da adição de fontes orgânicas e minerais, em casa de vegetação. Barras nas colunas referem-se ao erro-padrão da média. Valores nas colunas de cada época de amostragem seguidos de mesma letra não diferem significativamente pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) a 5%. Test: tratamento testemunha.

vegetativo mais longo. Portanto, tanto no tratamento com PK mineral como nas camas de aves, o N acumulado originou-se principalmente da decomposição da matéria orgânica nativa do solo, que era de 16 g dm^{-3} , e da fixação biológica de N (Silva & Vale, 2000; Araújo et al., 2007). O tratamento com NK mineral, seguido pelo testemunha (sem adição de nenhum nutriente), apresentou os maiores teores de N nas plantas, acima do nível de suficiência (50 g kg^{-1}) (CFQSRS/SC, 2004), mostrando que esse atributo não deve ser interpretado isoladamente, pois isso ocorreu por causa de um efeito de concentração ocasionado pela falta de crescimento das plantas. A cama de aves constituída por acícula de *Pinus* foi a que proporcionou o menor acúmulo de N nas plantas, porém não diferiu daquelas com bagaço de cana ou com pastagem.

O acúmulo de P pelas plantas de feijão foi semelhante ao acúmulo de N por essa leguminosa, na comparação dos fertilizantes minerais com as camas de aves (Figura 3). A quantidade acumulada de P pelas plantas cultivadas no tratamento que recebeu NPK mineral foi praticamente o dobro daquela acumulada pelas plantas adubadas com as camas de aves. Esse maior acúmulo de P, proporcionado pelos adubos minerais que tinham esse nutriente, relativamente aos dejetos animais, evidenciou que parte do P presente nas camas de aves não foi disponibilizada para a cultura do feijoeiro (Turner & Leytem, 2004; Sato et al., 2005). Dentre as camas, a que proporcionou menor acúmulo de P foi aquela com acícula de *Pinus*, que não diferiu da com bagaço de cana-de-açúcar.

O maior acúmulo de K foi observado no tratamento com fertilizante mineral contendo os três macronutrientes (NPK), em razão da maior produção de matéria seca (MS) (Figura 2). Nos tratamentos em que não foi fornecido P (NK mineral e testemunha), o acúmulo de K foi pequeno por causa da baixa produção de MS ocasionada pela falta de P, conforme discutido anteriormente. No tratamento mineral em que houve a presença do P, porém com restrição de N (PK), o acúmulo de K foi semelhante ao proporcionado pelas camas de aves constituídas por areia e pastagem. Como o K encontra-se nas camas de aves em formas completamente solúveis (CFQSRS/SC, 2004), esse foi totalmente liberado para as plantas, diferentemente do N e P, não tendo havido diferença entre as diversas camas de aves e a maioria dos tratamentos com fertilizantes minerais no acúmulo de K pelas plantas.

O teor de K nas plantas não limitou o rendimento de matéria seca de feijoeiro; contudo, o teor de K foi inferior ao tido como adequado (20 g kg^{-1}) (CFQSRS/SC, 2004), em três dos quatro tratamentos com fertilizantes minerais (NP, NK e PK) (Figura 3), à exceção daquele com NPK, em que o rendimento de MSPA e MSRA foi maior do que aquele verificado com as camas de aves, em razão da disponibilidade dos

três nutrientes. Os teores de K nas plantas nos tratamentos com camas de aves ficaram acima do nível de suficiência; no entanto, não apresentaram toxidez por causa do consumo de luxo do K, uma vez que o nutriente é armazenado no vacúolo das células, não causando toxidez às plantas.

Eficiência de absorção de N, P e K pelo feijoeiro

A eficiência fisiológica (EF) demonstra a capacidade de crescimento da parte aérea da planta em relação à quantidade do nutriente absorvida. A EF não foi um bom atributo para avaliar a disponibilidade de nutrientes neste estudo, pois, para qualquer dos três macronutrientes avaliados, os maiores valores sempre ocorreram no tratamento em que o respectivo nutriente foi omitido (Figura 4).

A taxa de recuperação (TR) representa a quantidade de nutriente proveniente do fertilizante que é absorvida pela planta, em razão da quantidade aplicada do nutriente. As maiores TRs de N pelo feijoeiro ocorreram nos tratamentos em que foi aplicado N na forma mineral (NPK e NP), alcançando valores superiores a 70 %. Para as camas de aves, a TR do N variou entre 25 e 34 %, com pouca diferença entre essas (Figura 4). As camas de aves proporcionaram menos da metade da TR, em relação aos fertilizantes minerais (71 %), em razão de que grande parte do N presente nos dejetos animais encontra-se em formas orgânicas que não se tornam disponíveis às plantas num curto espaço de tempo, pois as doses aplicadas foram com base no teor de N total desses materiais (Miles et al., 2003; CFQSRS/SC, 2004; Szogi & Vanotti, 2009).

A TR do P aplicado foi muito baixa, tendo variado de 1,8 a 6,5 %. O P aplicado na forma mineral normalmente apresentou TR menor do que o P aplicado na forma orgânica, à exceção da comparação com a cama constituída por bagaço de cana, em que ocorreu o contrário, e com a constituída por acícula de *Pinus*, em que a TR não diferiu entre as fontes orgânicas e minerais. Essas baixas TR dificultam encontrar razões para as diferenças entre os tratamentos (Figura 4). A TR do K pelas plantas variou entre 21 e 33 % do K adicionado; os maiores valores ocorreram no tratamento com NPK mineral (Figura 4) e naquele com cama de aves constituída por areia. A pequena variação na TR do K entre os tratamentos foi em razão da forma como o K está nas camas de aves, totalmente disponível para as plantas, não necessitando ser mineralizado (Torres & Pereira, 2008; Pitta et al., 2012).

CONCLUSÕES

1. Os fertilizantes minerais contendo P proporcionaram maior produção de matéria seca do feijoeiro do que as camas de aves.

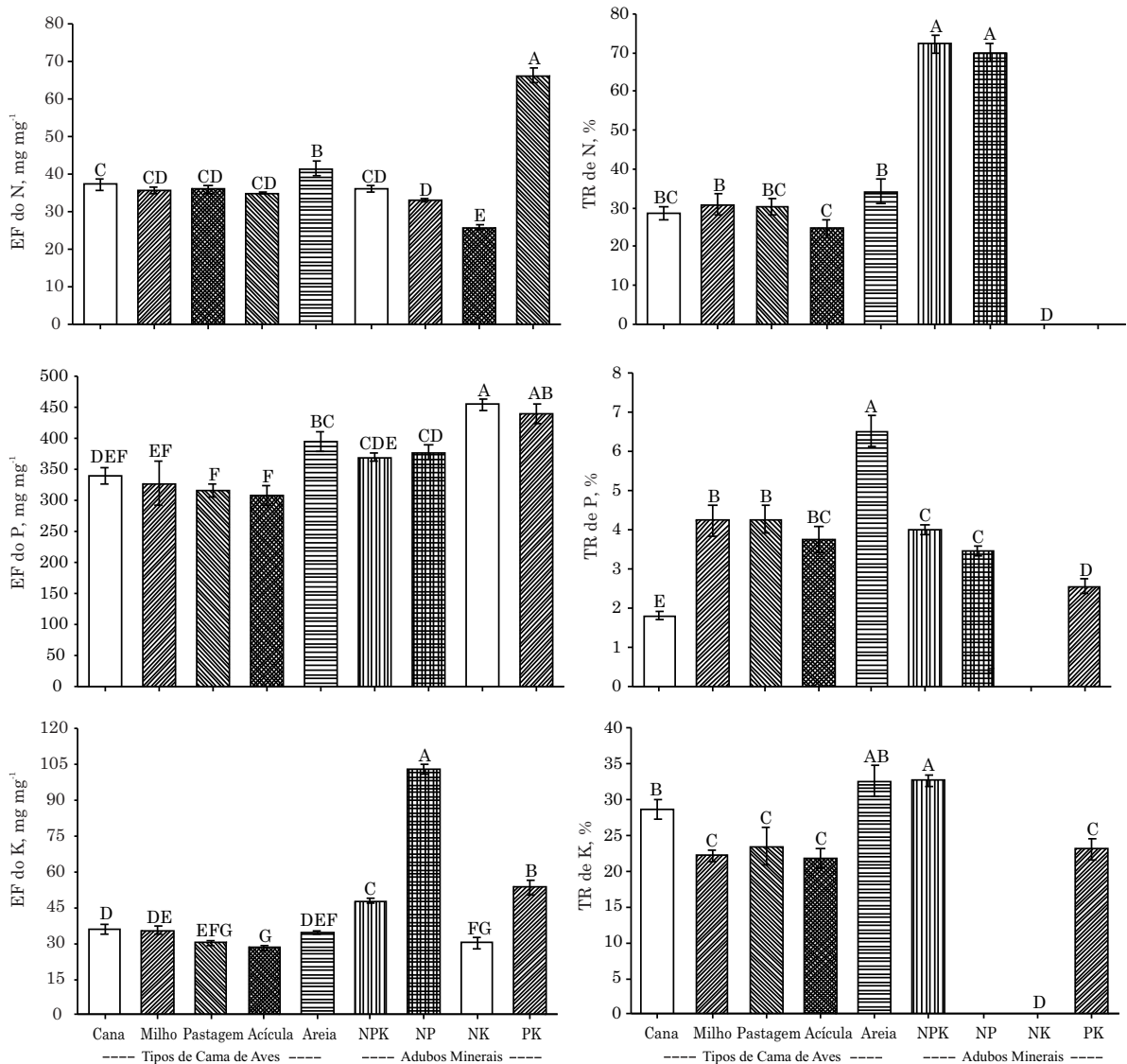


Figura 4. Eficiência fisiológica (EF) e taxa de recuperação (TR) do N, P e K pelo feijoeiro, aos 60 dias após a semeadura, em razão da adição de fontes orgânicas e minerais, em casa de vegetação. Barras nas colunas referem-se ao erro-padrão da média. Valores nas colunas de cada época de amostragem seguidos de mesma letra não diferem significativamente pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) a 5%. Tratamentos com taxa de recuperação zero atribuem-se aos tratamentos com ausência dos nutrientes, e ao tratamento sem a adição de P, por causa da menor absorção de NPK pelas plantas, em relação ao tratamento testemunha.

2. A mais alta taxa de recuperação de N pelas plantas ocorreu quando esse nutriente foi adicionado pelos fertilizantes minerais. A TR do P foi muito baixa para todos os tratamentos e a do K variou pouco entre esses.

3. A produção de matéria seca e a nutrição do feijoeiro foram semelhantes entre as camas de aves constituídas por diferentes materiais, embora a cama com areia tenha proporcionado maior crescimento das plantas.

4. O cálculo da dose a ser aplicada em camas de aves, tomando por base os teores totais de N e P, é inadequado para o feijoeiro, pois não supre a demanda nutricional dessa planta.

LITERATURA CITADA

- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. & HÜBNER, A.P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:94-102, 2007.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18.ed. Washington, 1992.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes. São Paulo, 2008.

- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. & JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. R. Bras. Ci. Solo, 24:867-874, 2000.
- ANDREOTTI, M.; NAVA, I.A.; WIMMER NETO, L.; GUIMARÃES, V.F. & 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 Sci. Agron., 27:595-602, 2005.
- ARAÚJO, F.F.; CARMONA, F.G.; TIRITAN, C.S. & CRESTE, J.E. Fixação biológica de N₂ no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. Acta Sci. Agron., 29:535-540, 2007.
- ASSESSORIA DE GESTÃO ESTRATÉGICA/MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - AGE/MAPA. Projeção do Agronegócio 2009/2010 a 2019/2020. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em 10 nov. 2010.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNATIONAL - AOAC. Official methods of analysis of AOAC international. 17.ed. Washington, AOAC, 2000.
- CARVALHO, E.R.; REZENDE, P.M.; ANDRADE, M.J.B.; MARTINS, A.; PASSOS, A. & OLIVEIRA, J.A. Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agronômicas da soja e nutrientes no solo. R.Ci. Agron., 42:930-939,2011.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de Adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, 2004. 394p.
- DIAZ, D.A.R.; SAWYER, J.E. & MALLARINO, A.P. Poultry manure supply of potentially available nitrogen with soil. Agron J., 100:1310-1317, 2008.
- EGHBALL, B.; GINTING, D. & GILLEY, J.E. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. Agron. J., 442-447, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FAGERIA, N.K. Eficiência do uso de potássio pelos genótipos de arroz de terras altas. Pesq. Agropec. Bras., 35:2115-2120, 2000.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION - FAO. 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/corp/statistics/en/>>. Acesso em 20 jan. 2010.
- HIRZEL, J.; WALTER, I.; UNDURRAGA, P. & CARTAGENA, M. Residual effects of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) growth and soil properties derived from volcanic ash. Soil Sci. Plant Nutr., 53:480-488, 2007.
- HIRZEL, J. & WALTER, I. Availability of nitrogen, phosphorus and potassium from poultry litter and conventional fertilizers in a volcanic soil cultivated with silage corn. Chilean J. Agric. Res., 68:264-273, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 20 jan. 2010.
- MILES, D.M.; MOORE JR., P.A.; SMITH, D.R.; RICE, D.W.; STILBORN, H.L.; ROWE, D.R.; LOTT, B.D.; BRANTON, S.L. & SIMONS, J.D. Total and water-soluble phosphorus in broiler litter over three flocks with litter treatment and dietary inclusion of high available phosphorus corn and phytase supplementation. Poultr. Sci., 82:1544-1549, 2003.
- MITCHELL, C.C. & TU, S. Long term evaluation of poultry manure as a source of nitrogen for cotton and corn. Agron. J., 97:399-407, 2005.
- PITTA, C.S.R.; ADAMI, P.F.; PELISSARI, A.; ASSMANN, T.S.; FRANCHIN, M.F.; CASSOL, L.C. & SARTOR, L.R. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. R. Bras. Ci. Solo, 36:1043-1053, 2012.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. SAS user's guide: statistics. Version 8. Carry, 2001. 155p.
- SATO, S.; SOLOMON, D.; HYLAND, C.; KETTERINGS, Q.M. & LEHMANN, J. Phosphorus speciation in manure and manure-amended soils using XANES spectroscopy. Environ. Sci. Technol., 39:7485-7491, 2005.
- SILVA, C.A. & VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes de nitrogênio. Pesq. Agropec. Bras., 35:2461-2471, 2000.
- SIMS, J.T. & WOLF, D.C. Poultry waste management: Agricultural and environmental issues. Adv. Agron., 52:2-83, 1994.
- SIQUEIRA, O.J.F.; SCHERER, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J.F.; TEDESCO, M.J.; MILAN, P.A. & ERNANI, P.R. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, Embrapa-CNPT, 1987. 100p.
- SZOZI, A.A. & VANOTTI, M.B. Prospects for phosphorus recovery from poultry litter. Biores. Technol., 100:5461-5465, 2009.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solos, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TEWOLDE, H.; SISTANI, K.R. & ROWE, D.E. Broiler litter as a sole nutrient source for cotton: nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium concentrations in plant parts. J. Plant Nutr., 28:605-619, 2005.
- THOMSEN, I.K. Nitrogen use efficiency of ¹⁵N-labeled poultry manure. Soil Sci. Soc Am. J., 68:538-544, 2004.
- TORRES, J.L.R. & PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 32:1609-1618, 2008.
- TURNER, B.L. & LEYTEM, A.B. Phosphorus compounds in sequential extracts of animal manures: Chemical speciation and novel fractionation procedure. Environ. Sci. Technol., 38:6101-6108, 2004.
- WILD, P.L.; van KESSEL, C.; LUNDBERG, J. & LINQUIST, B.A. Nitrogen availability from poultry litter and pelletized organic amendments for organic rice production. Agron. J., 103:284-291, 2011.