



ALEXANDRE MARTINS ABDÃO DOS PASSOS

**CAMA DE FRANGO, ESTERCO DE CURRAL E
PÓ DE CARVÃO NA CULTURA DA SOJA**

**LAVRAS - MG
2010**

ALEXANDRE MARTINS ABDÃO DOS PASSOS

**CAMA DE FRANGO, ESTERCO DE CURRAL E PÓ DE CARVÃO NA
CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Pedro Milanez de Rezende

**LAVRAS - MG
2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Passos, Alexandre Martins Abdão dos.

Cama de frango, esterco de curral e pó de carvão na cultura da
soja / Alexandre Martins Abdão dos Passos. – Lavras : UFLA, 2010.
155 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Pedro Milanez de Rezende.

Bibliografia.

1. *Glycine max*. 2. Sustentabilidade. 3. Resíduos orgânicos. 4.
Integração produtiva. 5. Biochar. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD – 633.34896

ALEXANDRE MARTINS ABDÃO DOS PASSOS

**CAMA DE FRANGO, ESTERCO DE CURRAL E PÓ DE CARVÃO NA
CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 06 de dezembro de 2010.

Dr. Élberis Pereira Botrel	UFLA
Dr. Moizés de Sousa Reis	EPAMIG
Dr. Gabriel José de Carvalho	UFLA
Dr. Bruno Teixeira Ribeiro	IFSULDEMG

Dr. Pedro Milanez de Rezende
Orientador

**LAVRAS - MG
2010**

*A Deus,
por todas as lições,*

OFEREÇO

Aos meus pais e irmãs.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelos ensinamentos, presença e amor.

Aos meus pais, Carlos e Terezinha, pelo exemplo de humildade, pelo amor, carinho, dedicação, luta e por sempre compreenderem o verdadeiro sentido da minha caminhada.

Às minhas irmãs, Alessandra e Carla, pelo incondicional, verdadeiro e constante apoio, amor e amizade. Às minhas lindas sobrinhas, pela simples e maravilhosa presença na minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Milanez de Rezende, por toda oportunidade, atenção, ensinamentos, apoio e pela grande amizade.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Agricultura e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de cursar o doutorado.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos para o doutorado e à FAPEMIG e ao CNPq, pelo apoio, por meio de fomento para a realização dos trabalhos.

Ao professor Moacir Pasqual, por toda confiança, apoio, incentivo e oportunidades.

Aos professores do Departamento de Agricultura e do Departamento de Solos, por serem exemplos de profissionais, por todos os conhecimentos transmitidos, amizade e atenção.

Aos professores Dra. Cláudia Wagner-Riddle e Dr. Richard Heck, da University of Guelph, pelas oportunidades de visitas, de trabalho e vivência ímpar na School of Environmental Science.

Ao professor Dr Telde Natel Custódio, da Universidade Federal de São João Del Rei pelo suporte nas análises e interpretações estatísticas das superfícies de resposta.

Aos funcionários do Setor de Grandes Culturas, Alessandro, Agnaldo, Júlio, Leandro e Manguinho, pelo auxílio, atenção e boa vontade para a realização dos trabalhos.

À Marli, secretária da Pós/Fitotecnia, pela disponibilidade, atenção e auxílios.

Aos amigos da pós-graduação, Danielle, Everson, Hélio e Tatiana, sempre à disposição para ajudar.

Aos amigos Marcelo, Renato, Renato Piva, Thauan, Narmer, Guilherme, Bueno, José Oswaldo, Lucas, Eduardo, Thiago, Goiaba, Alan, Caio e Arthur, pela amizade, companheirismo, incentivo, ajuda na condução dos experimentos, apoio e presença em todos os momentos.

Enfim, a todos que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a conclusão desta importante etapa na minha vida e que, embora não citados aqui, não deixam de merecer meu profundo agradecimento.

OBRIGADO!

RESUMO GERAL

Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar os efeitos agrônômicos dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão, associados ou não ao fertilizante mineral NPK, na cultura da soja e nos atributos químicos do solo. Realizaram-se dois experimentos de campo em esquema de parcelas subdivididas, avaliando-se as fontes (parcelas) nas doses de 0, 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹ (subparcelas), combinadas com 0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral NPK (subsubparcelas), nos anos de 2008 e 2009, em um Cambissolo Háplico, sob cultivo convencional em Itutinga, MG. Em 2010, avaliou-se o efeito residual dos resíduos em diversas características agrônômicas e na produtividade de grãos da cultura da soja. Como resultado, observou-se que a aplicação da cama de frango proporcionou as maiores produtividades em ambos os anos. Observou-se que o incremento máximo devido ao uso dos resíduos orgânicos (1.163,6 kg ha⁻¹) foi superior ao proporcionado pelo fertilizante mineral (1.027,4 kg ha⁻¹) em cerca de 13,3%, no primeiro ano. A cama de frango apresentou-se agronomicamente eficiente frente à utilização da adubação padrão recomendada de 400 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral 4-30-10. Os resíduos avaliados em conjunto foram eficientes quando se utilizaram doses superiores a 7 Mg ha⁻¹. O incremento de uso dos resíduos orgânicos avaliados incrementou linearmente os teores residuais de fósforo, potássio e zinco no solo após o cultivo da soja. A cama de frango proporcionou os maiores aumentos residuais na acidez do solo e na disponibilidade do potássio, enxofre e zinco, após a colheita de grãos. As doses 6 e 9 Mg ha⁻¹ dos resíduos aumentaram os teores residuais de zinco e potássio no solo em 35,7% e 33,9%, respectivamente. Estes influenciaram positivamente os teores foliares de N, P, K, Mg, S e Fe, especialmente a cama de frango e o esterco de curral. Os teores de fósforo e nitrogênio foram os que mais contribuíram para o incremento da produtividade. Os resíduos orgânicos cama de frango e esterco de curral incrementam o índice de área foliar da cultura de forma superior ao resíduo pó de carvão, representando interessante estratégia de manejo para o aumento da cobertura vegetal. A melhor combinação de doses da cama de frango e do fertilizante mineral, visando efeito residual, foi a utilização de 5,5 Mg ha⁻¹ do resíduo com 200 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral. Deve-se atentar para a escolha criteriosa das doses e fontes de resíduos orgânicos na cultura da soja, com o objetivo de atingir adequado aporte de nutrientes no agroecossistema, para que não ocorram crescimento excessivo e consequente acamamento prejudicial das plantas. A utilização de resíduos orgânicos, ricos em nutrientes, representa uma promissora tecnologia para se obter o aumento sustentável da produtividade da soja durante duas safras subsequentes, apresentando efeito residual benéfico e sinérgico com fertilizante utilizado na segunda safra. Os resíduos orgânicos, quando ricos em

nutrientes, podem ser utilizados como valiosos insumos, proporcionando a diminuição do uso de fertilizantes minerais, mantendo ou, mesmo, aumentando os níveis de produtividade.

Palavras-chave: *Glycine max.* Sustentabilidade. Resíduos orgânicos. Integração produtiva. Produtividade.

GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the agronomical effects of the organic amendments: poultry litter, farmyard manure and biochar associated or not with mineral NPK fertilizer on the soybean crop and the chemical attributes of a Cambissol. Two experiments were carried out in a split-split plot scheme, with three replicates in a completely randomized blocks experimental design, in 2008 and 2009. In 2010, it was evaluated the residual effects of the organic amendments on several agronomic characteristics and grain yield of the soybean crop. Was evaluated the sources (plots) at rates of 0, 3, 6 and 9 Mg ha⁻¹ (split plots) combined with 0, 100, 200, 300 and 400 kg ha⁻¹ (split-split-plots) of the mineral NPK fertilizer in a Cambissol under conventional cultivation, at Itutinga, MG. The organic amendments were applied only in 2008. The application of poultry litter provided the highest yields in both years. In 2009, the maximum increment due to the use of the organic amendments (1,163.6 kg ha⁻¹) was 13.3% higher than that provided by mineral fertilizer (1,027.4 kg ha⁻¹). The Poultry litter was the unique source which presented agronomical efficiency compared with the standard mineral fertilizer. The organic amendments were effective with doses higher than 7 Mg ha⁻¹. The increasing of the doses of the organic amendments linearly increased the residual levels of phosphorus, potassium and zinc availability in soil, after the soybean cultivation. The poultry litter significantly increased the acidity and toxic aluminum and the levels of potassium, sulfur and zinc availability in the soil. In general, the doses 6 and 9 Mg ha⁻¹ of waste increased the levels of zinc and potassium in the soil at 35.7 and 33.9%, respectively. These inputs positively influenced the foliar levels of N, P, K, Mg and Fe, especially the poultry litter and farmyard manure. The phosphorus and potassium foliar levels were the biggest contributor to increasing the grain yield due to strong correlation with it. The poultry litter and farmyard manure enhanced the Leaf Area Index so superior to the biochar, providing an interesting management strategy aiming to boost the vegetation cover above the soil. The best doses combination between the poultry litter and mineral fertilizer in order to provide the best residual effect on the soybean yield was the use of 5.5 Mg ha⁻¹ of all organic amendments associated with 200 kg ha⁻¹ of mineral fertilizer. Attention should be paid to the careful choice of the doses and sources of organic amendments use on soybean crop, in order to provide adequate supply of nutrients in the agroecosystem so that to avoid the overgrowth and consequent detrimental plant lodging. The use of organic amendments, rich in nutrients, is a promising technology to increase the sustainable soybean yield during two subsequent growth seasons. Organic amendments, rich in nutrients, can be used as valuable inputs providing the

maintaining or even increasing the soybean grain yield levels with less mineral fertilizer use.

Keywords: *Glycine max.* Sustainability. Organic wastes. Integrated production. Yield.

LISTA DE GRÁFICOS

Artigo 1

- Gráfico 1 Temperaturas médias (°C) e precipitações pluviométricas (mm), entre novembro de 2008 e abril de 2009. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG. 42
- Gráfico 2 Equação de regressão para produtividade (kg ha^{-1}), em função das doses dos resíduos orgânicos aplicadas. Itutinga, MG, 2009. 50
- Gráfico 3 Equações de regressão para produtividade (kg ha^{-1}), em função das doses dos resíduos orgânicos para os resíduos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC). Itutinga, MG, 2009. 52
- Gráfico 4 Equação de regressão para produtividade (kg ha^{-1}), em função das doses do fertilizante mineral NPK. Itutinga, MG, 2009 53
- Gráfico 5 Equação de regressão para número de legumes por planta (LP), em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG, 2009 54
- Gráfico 6 Equação de regressão para número de legumes por planta (LP), em função das doses do fertilizante mineral NPK. Itutinga, MG, 2009. 55
- Gráfico 7 Superfícies resposta para efeito no peso de cem sementes (PCS) das doses dos resíduos orgânicos (dose 1= Mg ha^{-1}) e fertilizante mineral (dose 2= kg ha^{-1}) nos resíduos orgânicos avaliados. Itutinga, MG, 2009. 56
- Gráfico 8 Superfícies resposta para efeito na altura de plantas (AP) das doses resíduos orgânicos (dose 1= Mg ha^{-1}) e fertilizante mineral

(dose 2 = kg ha ⁻¹), para os resíduos orgânicos avaliados. Itutinga, MG, 2009.....	58
Gráfico 9 Equação de regressão para altura de inserção do primeiro legume (AI) em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG, 2009.....	60
Gráfico 10 Equação de regressão para altura de inserção do primeiro legume (AI) em função das doses do fertilizante mineral NPK. Itutinga, MG, 2009.....	60
Gráfico 11 Equação de regressão para índice de acamamento (ACA) em função das doses dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC). Itutinga, MG, 2009.....	61
Gráfico 12 Equação de regressão para índice de acamamento (ACA), em função das doses do fertilizante mineral. Itutinga, MG, 2009.....	62

Artigo 2

Gráfico 1 Temperaturas médias (°C) e precipitações pluviométricas (mm) entre novembro de 2008 e abril de 2009. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG.....	74
Gráfico 2 Equação de regressão para teores nitrogênio foliar (g kg ⁻¹) em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG, 2009.....	81
Gráfico 3 Equações de regressão para teores fósforo foliar (g kg ⁻¹), em função das doses dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão. Itutinga, MG, 2009.....	83
Gráfico 4 Equações de regressão para teores potássio foliar (g kg ⁻¹), em função das doses dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão. Itutinga, MG, 2009.....	84

Gráfico 5	Equações de regressão para teores magnésio foliar (g kg^{-1}), em função das doses dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão, Itutinga, MG, 2009	85
Gráfico 6	Equação de regressão para teores enxofre foliar (g kg^{-1}), em função das doses dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão, Itutinga, MG, 2009	86
Gráfico 7	Superfícies resposta para efeitos das doses dos resíduos orgânicos e fertilizante mineral cama de frango, pó de carvão e esterco de curral nos teores de ferro foliar. Itutinga, MG, 2009.	88
Gráfico 8	Isolinhas para efeitos das doses dos resíduos orgânicos cama de frango, pó de carvão e esterco de curral e fertilizante mineral nos índices de área foliar. Itutinga, MG, 2009.	90
Gráfico 9	Correlações lineares de Pearson entre teores foliares de nutrientes e produtividade de grãos obtidos no experimento de resíduos orgânicos e fertilizante mineral. Itutinga, MG, 2009.	93

Artigo 3

Gráfico 1	Temperaturas médias ($^{\circ}\text{C}$) e precipitações pluviométricas (mm) entre novembro de 2008 e abril de 2009. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG.	103
Gráfico 2	Equação de regressão para o índice de eficiência agrônômica em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG.	111
Gráfico 3	Equação de regressão para teores de fósforo (P) no solo em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG	115
Gráfico 4	Equação de regressão para teores de zinco (Zn) no solo em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG	116

Gráfico 5	Equação de regressão para teores de potássio (K) no solo em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG	117
-----------	---	-----

Artigo 4

Gráfico 1	Temperaturas médias (°C) e precipitações pluviométricas (mm) entre novembro de 2009 e abril de 2010. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG.	132
-----------	--	-----

Gráfico 2	Superfícies resposta para efeito residual na produtividade das doses dos resíduos orgânicos e fertilizante mineral nos resíduos orgânicos avaliados. Itutinga, MG, 2010.	141
-----------	---	-----

Gráfico 3	Equações de regressão para número de legumes por planta (LP), em função das doses dos resíduos orgânicos (a) e fertilizante mineral NPK (b). Itutinga, MG, 2010.	144
-----------	---	-----

Gráfico 4	Superfícies resposta para efeito no peso de cem sementes (a) e altura de planta (b) das doses dos resíduos orgânicos e fertilizante mineral nos resíduos orgânicos avaliados. Itutinga, MG, 2010).	146
-----------	---	-----

Gráfico 5	Equação de regressão para altura de inserção do primeiro legume (cm) em função das doses do fertilizante mineral NPK aplicadas. Itutinga, MG, 2010.	149
-----------	--	-----

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

Tabela 1	Análises físico-químicas dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC) utilizados. Itutinga, MG, 2008.....	44
Tabela 2	Resultados e interpretações dos atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm do solo localizado na área experimental de Itutinga, MG, 2008*.....	46
Tabela 3	Resumo da análise de variância para produtividade (PT), número de legumes por planta (LP), número de grãos por legume (GPL), peso de 100 sementes (PCS), altura de planta (AP), altura de inserção do primeiro legume (AI) e índice de acamamento (ACA), obtidos no experimento de fontes e doses de resíduos orgânicos e fertilizante mineral na cultura da soja, Itutinga, MG, 2009.....	48
Tabela 4	Médias de produtividade (PT), número de grãos por legume (GPL), altura de inserção do primeiro legume (AI), de plantas (AP) e índice de acamamento (ACA), influenciadas pela utilização de diferentes fontes de resíduos orgânicos na soja, Itutinga, 2009.....	49

Artigo 2

Tabela 1	Análises físico-químicas dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC) utilizados. Itutinga, MG, 2008.....	75
Tabela 2	Resultados e interpretações dos atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm do solo localizado na área experimental de Itutinga, MG, 2008*.....	77
Tabela 3	Resumo da análise de variância para teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe) e índice de área foliar (IAF), obtidos no experimento de fontes e doses de resíduos orgânicos e fertilizante mineral na cultura da soja. Itutinga, MG, 2009.	80
Tabela 4	Médias dos teores de fósforo foliar (g kg^{-1}) influenciadas pela utilização de diferentes fontes de resíduos orgânicos na soja. Itutinga, MG, 2009.....	82
Tabela 5	Equações de regressão ajustadas para níveis de fertilizante NPK sobre teores foliares de nutrientes na cultura da soja. Itutinga, MG, 2009.....	87

Artigo 3

Tabela 1	Análises físico-químicas dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC) utilizados. Itutinga, MG, 2008.....	105
Tabela 2	Resultados e interpretações dos atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm do solo localizado na área experimental de Itutinga, MG, 2008*.....	106
Tabela 3	Eficiência agrônômica e resultados médios das análises químicas dos solos (profundidade 0 a 0,2 m) obtidos no experimento de fontes e doses de resíduos orgânicos e fertilizante mineral na cultura da soja. Itutinga, MG, 2009.	109

Artigo 4

Tabela 1	Análises físico-químicas dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC) utilizados. Itutinga, MG, 2008.....	133
Tabela 2	Resultados e interpretações dos atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm do solo localizado na área experimental de Itutinga, MG, 2008*.....	135
Tabela 3	Resumo da análise de variância para produtividade (PT), número de legumes por planta (LP), número de grãos por legume (GPL), peso de 100 sementes (PCS), altura de planta (AP) e inserção do primeiro legume (AI) obtidos no experimento de fontes e doses de resíduos orgânicos e fertilizante mineral na cultura da soja. Itutinga, MG, 2010.....	138

Tabela 4	Médias de produtividade em kg ha ⁻¹ (PT), número de legumes por planta (LP), grãos por legume (GPL), peso de cem sementes em g (PCS), altura de plantas em cm (AP) e de inserção do primeiro legume em cm (AI) influenciados pela utilização de diferentes fontes de resíduos orgânicos na soja, Itutinga, MG, 2010	139
----------	--	-----

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	21
1	INTRODUÇÃO	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	30
	REFERÊNCIAS	34
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	37
	ARTIGO 1 Cama de frango, esterco de curral e pó de carvão na produtividade e em outras características agronômicas da soja	38
1	INTRODUÇÃO	40
2	MATERIAL E MÉTODOS	42
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	65
	ARTIGO 2 Cama de frango, esterco de curral e pó de carvão vegetal no estado nutricional de plantas de soja	70
1	INTRODUÇÃO	72
2	MATERIAL E MÉTODOS	74
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
4	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS	96
	ARTIGO 3 Eficiência agronômica do pó de carvão, esterco de curral e cama de frango e atributos químicos de cambissolo háptico cultivado com soja	99
1	INTRODUÇÃO	101
2	MATERIAL E MÉTODOS	104
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	109

4	CONCLUSÕES	119
	REFERÊNCIAS	120
	ANEXO	125
	ARTIGO 4 Efeito residual da cama de frango, esterco de curral e pó de carvão na produtividade e em outras características agronômicas da soja	128
1	INTRODUÇÃO	130
2	MATERIAL E MÉTODOS	132
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	137
4	CONCLUSÕES	150
	REFERÊNCIAS	151

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A segurança alimentar de 9 bilhões de pessoas que, estima-se, viverão em nosso planeta até 2050, é um desafio sem precedentes para a humanidade. Apesar das altas variações das estimativas e definições de insegurança alimentar, infere-se que existam, hoje, mais de 1 bilhão de pessoas subnutridas no mundo, fato que exige da ciência mais do que mudanças incrementais na produção de alimentos. Necessita-se, em menos de 40 anos, transformar radicalmente o estado da arte da agricultura, focada em produzir mais alimentos, praticamente dobrando a produção atual, sem exacerbar os problemas ambientais e, simultaneamente, enfrentar as mudanças climáticas.

Dentre os obstáculos para alcançar a segurança alimentar mundial está a escassez dos recursos produtivos, principalmente terra, nutrientes, água e energia, inserida em complexos cenários de mudanças climáticas que urge por aumento de eficiência dos processos produtivos, visando ao aumento de produtividade com maior eficácia na utilização dos fatores de produção.

Neste contexto, o Brasil é tido como peça chave para a adequada produção alimentar e energética mundial, principalmente pela vantagem comparativa oriunda da alta disponibilidade de recursos naturais e tecnologias apropriadas para a agricultura tropical. Entretanto, as soluções e as inovações para a agricultura devem ser norteadas pelo desenvolvimento de tecnologias embasadas na concepção do desenvolvimento sustentável, ou seja, ambientalmente correto, socialmente justo, economicamente viável e tecnicamente respaldado.

A baixa fertilidade dos solos agrícolas é um dos principais fatores limitantes à obtenção de altas produtividades agrícolas, no Brasil e em outros países tropicais, tendo na adubação a principal estratégia para contornar essa deficiência, geralmente utilizando-se fertilizantes e corretivos para a construção

e a manutenção da fertilidade dos solos. Contudo, o Brasil configura-se como um país altamente deficitário no tocante à produção desses importantes insumos, especialmente para os fertilizantes minerais, haja vista ser hoje o quarto maior mercado consumidor de fertilizantes e apenas o sexto maior produtor mundial, importando mais da metade do que é utilizado no país. Em conjunturas adversas como esta, de extrema dependência externa por insumos, em que os preços da matéria-prima são definidos nos mercados internacionais, assiste-se, regularmente, um mercado interno de alta instabilidade de oferta, aumentando o risco, já inerente, da atividade agrícola.

A busca pela geração de tecnologias para aumento da eficiência dos fertilizantes minerais, a identificação de fontes alternativas de nutrientes e o desenvolvimento de novos produtos e processos, mais sustentáveis, para agricultura tropical e mundial têm se intensificado, sendo de suma importância para países como o Brasil. Nestas circunstâncias, a combinação de resíduos orgânicos e fertilizantes inorgânicos representa uma alternativa promissora para o manejo integrado da nutrição de plantas, visando à maior sustentabilidade econômica e ambiental.

A utilização de resíduos orgânicos preserva recursos finitos, como os solos e fertilizantes minerais derivados de fósseis e realoca subprodutos ao ciclo produtivo como insumos agrícolas. Diversas fontes orgânicas têm demonstrado potencial para suprir a demanda nutricional das plantas, especialmente quando aplicadas em doses adequadas e intervalos regulares de tempo, fornecendo satisfatórias quantidades de nutrientes no momento requerido.

Nesse contexto, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar os efeitos da utilização dos resíduos orgânicos “cama de frango”, “esterco de curral curtido” e “pó de carvão”, associados ou não ao fertilizante mineral NPK, na cultura da soja. Realizaram-se dois experimentos em uma mesma área, durante dois anos subsequentes.

Em ambos os anos avaliaram-se diversas características agronômicas e a produtividade de grãos da cultura da soja. Concomitantemente, avaliou-se o efeito residual dos materiais orgânicos avaliados, nos atributos químicos de um Cambissolo Háplico, distrófico e argiloso, no primeiro ano agrícola. Avaliou-se o efeito residual dos mesmos na lavoura de soja em um sistema convencional de preparo do solo, no segundo ano agrícola.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A baixa fertilidade dos solos agrícolas é um dos principais fatores limitantes a adequadas produtividades da cultura da soja no Brasil e noutros países tropicais (PIMENTEL, 2009). Assim, a busca por incrementos de produtividades tem sido uma estratégia constante nas pesquisas no Brasil, responsáveis pela geração de tecnologias apropriadas que permitem a utilização de solos ácidos, intemperizados e pobres em nutrientes, nos mais diversos modelos de sistemas de produção de soja (TOLLEFSON, 2010).

No Brasil, o consumo de fertilizantes é concentrado na cultura da soja, mercado este responsável por mais de um terço da demanda nacional (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA, 2010). No cenário mundial, o país ocupa a posição de segundo maior produtor e exportador de grãos da cultura (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2010a), estimando-se, para a safra de 2009/10, uma produção de, aproximadamente, 68,7 milhões de toneladas de grãos, cultivada em 23,47 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010).

O Brasil é tido como o quarto maior mercado consumidor de fertilizantes no mundo, sendo apenas o sexto maior produtor, importando significativa parte dos fertilizantes minerais utilizados na agricultura (ANDA, 2010). Para o país, tal dependência externa é preocupante e desempenha papel estratégico contra a soberania da agricultura nacional, haja vista suas proporções territoriais e potenciais de produção agropecuária. Fato esse manifestado recentemente, durante a chamada crise dos fertilizantes de 2007/2008, quando se observaram aumentos superiores a 200% nos preços de alguns nutrientes, como o potássio, além de alta e persistente volatilidade das commodities agrícolas

(FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2008; PIMENTEL, 2009).

No Brasil, a carência nacional das principais matérias-primas; o alto custo dos fertilizantes nacionais devido à precariedade e à insuficiência de investimentos em infraestrutura; a inércia estrutural das plantas de produção; o aumento das áreas agrícolas; além do crescimento da população e da economia mundial; as mudanças no perfil de consumo (aumento do consumo de proteína animal); a consolidação da atuação mundial das empresas produtoras do setor; o aumento da demanda mundial por fertilizantes, principalmente no mercado asiático e o aumento de demanda por conta da produção de biocombustíveis são alguns dos principais fatores apontados como propulsores do aumento do consumo, baixa oferta e consequente aumento nos preços de fertilizantes no Brasil (DIAS; FERNANDES, 2006) e no mundo (FAO, 2008).

Como alternativa, a utilização de resíduos orgânicos como fertilizantes e/ou condicionadores do solo tem se mostrado interessante estratégia para a agricultura brasileira, devido aos altos volumes produzidos de esterco de aves e bovinos (ANUÁRIO PECUÁRIA BRASILEIRA - ANUALPEC, 2010) e subprodutos industriais, como os dos setores florestal e siderúrgico (ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA - AMS, 2010).

O Brasil tem o maior rebanho comercial de bovinos no mundo, estimado em 190,9 milhões de cabeças, segundo projeções da ANUALPEC (2010). No estado de Minas Gerais está concentrada a maioria deste rebanho e a maior bacia leiteira do país, com um plantel de, aproximadamente, 20 milhões de animais, sendo cerca de 6,4 milhões de cabeças tidas como sendo de aptidão leiteira (ANUALPEC, 2010). Estima-se uma produção anual de esterco seco, apenas nessa categoria, de mais 40 milhões de toneladas, apenas no estado de Minas Gerais. A produção de esterco bovino e o inapropriado manejo representam um alto passivo ambiental para a propriedade e mesmo para a atividade pecuária,

pois o resíduo pode representar uma fonte de lixiviados tóxicos para corpos d'águas, fonte de contaminantes e de gases de efeito estufa, principalmente metano e óxido nitroso (CERRI et al., 2010; FAO, 2010).

A integração entre pecuária e lavoura pode ser uma importante estratégia para o manejo sustentável, realocando os resíduos visando à construção da fertilidade dos solos. Bhattacharyya et al. (2008), em um estudo de trinta anos com soja e trigo em sucessão, avaliaram a utilização de adubações orgânicas, minerais e orgânicas + minerais, observando resposta da soja à aplicação de NPK minerais, obtendo-se, entretanto, o rendimento máximo com a utilização conjunta do NPK e esterco bovino. Andreola et al. (2000), estudando adubações orgânicas e minerais, observaram que o uso de esterco de aves proporcionou significativo acúmulo de K e C no solo, o que corrobora os resultados relatados por Moreti et al. (2007), que constataram que, entre os adubos utilizados, os que mais contribuíram para a melhoria dos atributos químicos do solo foram o esterco de galinha e o esterco de galinha combinado com a adubação mineral.

Outro setor agrícola de expressiva participação no agronegócio brasileiro é a avicultura. O Brasil, maior exportador mundial de carne de frango, é o terceiro maior país produtor, atrás apenas dos Estados Unidos e da China (USDA, 2010b). O setor avícola apresenta-se mais integrado e articulado que o de bovinos no Brasil, tendo alta verticalização com a indústria e economia de escala. Nesse sentido, observa-se maior preocupação da cadeia com quesitos ambientais, como, por exemplo, a adequação do manejo dos resíduos produtivos com a chancela de governo e mercado exportador (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2007; BRASIL, 2010). A produção avícola produz considerável volume de cama de frango, resíduo que consiste de material distribuído no piso do aviário para servir de leito, recebendo excreções, restos de ração e penas. Esse resíduo pode constituir valioso insumo

devido à alta concentração de nutrientes (SZOGI; BAUER; VANOTTI, 2010), alta disponibilidade em algumas regiões e baixo custo (SAINJU et al., 2010; TAGOE; HORIUCHI; MATSUI, 2010), requerendo, entretanto, que sua utilização seja respaldada cientificamente quanto ao modo, à quantidade e à época de aplicação, devido ao alto potencial de contaminação ambiental, com risco de ineficiência agrônômica (VADAS et al., 2004; SEITER et al., 2008).

Os resíduos são normalmente subprodutos de atividades industriais, urbanas e agropecuárias e, previamente à sua utilização, é necessário considerar importantes aspectos, como características, disponibilidade, benefícios, aspectos legais, legislação ambiental e eficiência agrônômica (WESTERMAN; BICUDO, 2005). Deve-se considerar, portanto, que a inadequada utilização de resíduos orgânicos representa potencial risco de contaminação ambiental, devendo-se observar os impactos causados pela sua aplicação comparados aos dos fertilizantes tradicionalmente utilizados. Em relação aos impactos ambientais, as tecnologias devem ser avaliadas quanto aos potenciais mitigadores ou geradores de gases de efeito-estufa e ao risco de contaminação do agroecossistema por metais pesados, patógenos, eutrofização de mananciais e lençóis freáticos e ciclagem dos nutrientes (CAVALETTI; ORTEGA, 2009; SILVA et al., 2010).

O Brasil é maior produtor mundial de carvão vegetal, responsável por 40% da produção mundial, que tem como principal destino a produção de ferro gusa, aço, ferro ligas e silício metálico. Estima-se que, somente em 2008, o país consumiu, aproximadamente, 34 milhões de m³ de carvão vegetal (AMS, 2010). Minas Gerais tem o maior parque siderúrgico a carvão vegetal do mundo e se destaca como o maior produtor e consumidor desse insumo energético, atingido a marca de 21,9 milhões de mdc, no ano de 2007, correspondendo a 60% do total produzido. A utilização de florestas para a produção do carvão vegetal utilizado na siderurgia confere maior sustentabilidade à produção do aço, sendo este considerado como de emissões negativas de gases de efeito estufa, ou seja,

uma produção tida como “carbono neutro”, em conformidade ambiental com normas internacionais e, conseqüentemente, maior acesso aos mercados externo (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM, 2010). A utilização de tecnologias apropriadas e ecologicamente corretas provoca a redução do uso dos recursos naturais, desperdícios, geração de resíduos e poluição, sendo uma constante prioridade mundial visando otimizar e racionalizar o uso da biomassa, garantindo sua reciclagem ou reutilização e reintegrando materiais residuais ao ciclo produtivo, de forma a evitar gastos com tratamento e disposição em aterros (BRASIL, 2010).

Deve-se observar que, geralmente, os efeitos agronômicos benéficos advindos da utilização de fontes orgânicas são lentos e mais visíveis a longo prazo, sendo necessária a utilização conjunta de outras práticas culturais conservacionistas visando à construção consistente da fertilidade do agroecossistema (LAL et al., 2007). A utilização prolongada de resíduos orgânicos proporciona um balanço mais equilibrado de fornecimento de nutrientes a longo prazo, visto que somente uma pequena fração do nitrogênio e outros nutrientes tornam-se disponíveis, para as plantas imediatamente após a aplicação ao solo (TITTARELLI et al., 2007).

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A utilização de resíduos orgânicos ricos em nutrientes representa uma promissora tecnologia visando ao aumento sustentável da produtividade da soja. Esses insumos podem proporcionar diminuição do uso de fertilizantes minerais, mantendo ou, mesmo, aumentando os níveis de produtividade.

O resíduo cama de frango, de maior concentração de nutrientes por massa seca, demonstrou alta eficiência agrônômica em relação à adubação referência de 400 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral 4-30-10. Entretanto, deve-se atentar para a utilização criteriosa das doses e fontes de resíduos orgânicos na cultura da soja, para que não ocorra crescimento excessivo e consequente acamamento prejudicial das plantas.

Avaliando-se os resíduos conjuntamente, infere-se que os mesmos foram agronomicamente eficientes quando se utilizaram doses superiores a 7 Mg ha⁻¹. No primeiro ano, a cama de frango influenciou linear e positivamente a produtividade de grãos da cultura, tendo sido identificada similariedade entre as duas maiores doses na característica. Tal fato permite afirmar que a dose de 6 Mg ha⁻¹ de cama de frango representa a melhor dose para o aumento da produtividade, considerando-se o menor custo devido à obtenção, armazenamento e aplicação do insumo, em relação à dose de 9 Mg ha⁻¹. Ressalta-se que não foram observadas incrementos decrescentes na produtividade pelo aumento das doses avaliados, devendo-se realizar trabalhos posteriores comparando-se maiores aportes dos resíduos até a obtenção da máxima eficiência técnica dos resíduos.

Com relação ao efeito residual dos resíduos na produtividade e outras características agrônômicas da cultura da soja, observou-se ser possível a diminuição da dose do fertilizante mineral por meio da prévia utilização de resíduos orgânicos ricos em nutrientes, mantendo adequados os níveis de

produtividade de grãos. Observaram-se menores produtividades oriundas da fertilização por adubos minerais em comparação ao efeito residual do emprego da cama de frango em seus maiores níveis utilizados, de 9 Mg ha^{-1} . O melhor efeito residual da cama de frango, observado na segunda safra, pode ser expresso pelo maior sinergismo com o fertilizante mineral, proporcionando melhores incrementos por quantidade de fertilizante utilizada e pelo máximo patamar (produtividade superior a 4.000 kg ha^{-1}) observado na produtividade, em relação aos demais resíduos avaliados.

Na primeira safra, o resíduo pó de carvão apresentou produtividades médias inferiores às do esterco de curral, entretanto, possibilitou maior efeito residual sobre a produção de grãos na safra subsequente, possivelmente pela sua maior estabilidade no solo e efeitos benéficos sobre os atributos físicos edáficos, em relação ao esterco de curral. Tal fato deve-se à sua composição química inferior aos demais, com maior relação C/N, apresentando-se, dessa forma, como o resíduo com menor taxa de decomposição e mineralização dentre os demais. Em ambas as safras, o resíduo cama de frango apresentou os maiores níveis de produtividade de grãos na cultura da soja, sendo observada como melhor combinação, visando ao efeito residual na safra subsequente, a aplicação de $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ do resíduo com 200 kg ha^{-1} do fertilizante mineral NPK 04-30-10. Os incrementos na produtividade proporcionados pela cama de frango foram bastante significativos e interessantes, visando à economia de insumos e a maximização dos recursos produtivos.

Os resíduos orgânicos avaliados incrementaram linearmente os teores residuais de fósforo, potássio e zinco no solo após o cultivo da soja. A cama de frango proporcionou os maiores aumentos residuais na acidez do solo e na disponibilidade do potássio, enxofre e zinco, após colheita da soja. Recomenda-se a realização de novos estudos utilizando-se doses superiores a 9 Mg ha^{-1} , para os resíduos esterco de curral e pó de carvão, visando ao aumento do efeito

residual na fertilidade do solo e da sustentabilidade produtiva da cultura da soja, buscando-se incrementos significativos de produtividade, principalmente durante a primeira safra após a aplicação dos mesmos.

Recomenda-se também a realização de futuros trabalhos utilizando sistema de plantio direto e ou outros sistemas de produção conservacionistas do solo, como o consorciamento de culturas, visando potencializar os efeitos dos resíduos no aumento da matéria orgânica do solo. Visto o maior aporte de nutrientes influenciar com maior eficácia o agroecossistema, futuros trabalhos devem também considerar a transformação e a reciclagem da cama de frango, esterco de curral e de outros resíduos orgânicos, tais como pelo processo da pirólise de alta eficiência, produzindo coprodutos, como o *biochar* com menor umidade final, proporcionando menor custo de armazenamento, transporte e aplicação. A reciclagem dos resíduos em *biochar*, com posterior agregação de fertilizantes minerais proporciona a oportunidade de aumentar a padronização dos produtos finais, gerando novos produtos, de maior confiabilidade e eficiência técnica nas recomendações dos mesmos como fertilizantes organo-minerais. Concomitantemente, com a utilização da pirólise gerar-se-iam importantes coprodutos, como o gás de síntese e o bio-óleo, ambos passíveis de serem utilizados como combustível e matéria prima para outros produtos. Em processos de alta eficiência, há a possibilidade de se gerar baixas emissões de gases de efeito estufa, com balanço final desses favorável e elegível para a emissão de créditos de carbono, representando, assim, adicional fonte de receita para a cadeia agroindustrial.

A utilização de resíduos orgânicos é uma interessante estratégia visando à melhoria do estado nutricional da cultura da soja, principalmente pelo aumento dos teores foliares dos macronutrientes N, P, K, Mg e S. Observa-se que, com exceção do enxofre, todos os teores foliares de nutrientes correlacionam-se positivamente com a produtividade de grãos, especialmente os macronutrientes

nitrogênio e fósforo, que apresentaram-se mais fortemente correlacionados com o rendimento de grãos. A ausência de correlação significativa entre o enxofre e a produtividade pode advir dos teores adequados do elemento no solo antes da implantação do experimento.

Os resíduos orgânicos cama de frango e esterco de curral incrementaram o índice de área foliar (IAF) da cultura, quando comparados ao pó de carvão, representando as melhores estratégias de manejo visando ao aumento da cobertura vegetal.

REFERÊNCIAS

- ANDREOLA, F. et al. Propriedades químicas de uma Terra Roxa Estruturada influenciadas pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 609-620, set. 2000.
- ANUÁRIO PECUÁRIA BRASILEIRA. São Paulo: Instituto FNP, 2010. 296 p.
- ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Números do setor**. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br>>. Acesso em: 15 out. 2010.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo, 2010. 160 p.
- BHATTACHARYYA, R. et al. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean–wheat system of the Indian Himalayas. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 2, p. 33-46, Jan. 2008.
- BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, v. 14, n. 147, p. 03, ago. 2010.
- CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Nashville, v. 17, n. 8, p. 762-771, May 2009.
- CERRI, C. C. et al. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p. 102-116, jan./fev. 2010.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra Grãos**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 23 de set. 2010.
- DIAS, V. P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Boas práticas de produção de frangos de corte**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves; 2007. 28p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Current World Fertilizer Trends and Outlook to 2011/12**. Roma. 2008. Disponível em <<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/cwfto11.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector - A Life Cycle Assessment**. Roma. 2010. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/012/k7930e/k7930e00.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2010.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Números do setor**. Disponível em <www.feam.br>. Acesso em: 04 out. 2010.

LAL, R. F. et al. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. **Soil Science**, Philadelphia, v. 172, n. 12, p. 121-133, Dec. 2007.

MORETI, D. et al. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 167-175, jan./fev. 2007.

PIMENTEL, D. Energy inputs in food crop production in developing and developed nations. **Energies**, Basel, v. 2, n. 1, p. 1-24, Oct. 2009.

SAINJU, U. M. et al. Poultry litter application increases nitrogen cycling compared with inorganic Nitrogen Fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 3, p. 917-925, Mar. 2010.

SEITER, J. M. et al. XANES spectroscopic analysis of phosphorus speciation in alum-amended poultry litter. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, n. 2, p. 477-485, Mar./Apr. 2008.

SILVA, V. P. et al. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v. 91, n. 1, p. 1831-1839, Sept. 2010.

SZOZI, A. A.; BAUER, P. J.; VANOTTI, E. M. B. Fertilizer effectiveness of phosphorus recovered from broiler litter. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 2, p. 723-727, Mar./Apr. 2010.

TAGOE, S. O.; HORIUCHI, T.; MATSUI, E. T. Effects of carbonized chicken manure on the growth, nodulation, yield, nitrogen and phosphorus contents of four grain legumes. **Journal of Plant Nutrition**, Berlin, v. 33, n. 5, p. 684-700, Jan. 2010.

TITTARELLI, F. et al. Quality and agronomic use of compost. In: DIAZ, L. F. et al. (Ed.). **Compost science and technology, waste management**. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 119–145.

TOLLEFSON, J. Food: The global farm. **Nature**, London, v. 466, n. 29, p. 554-556, July 2010.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Produção mundial avícola**. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 17 set. 2010.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Produtividade mundial da soja**. Disponível em: <www.usda.gov>. Acesso em: 5 jul. 2010.

VADAS, P. A. et al. Effect of poultry diet on phosphorus in runoff from soils amended with poultry manure and compost. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 33, n. 5, p. 1845-1854, Sept./Oct. 2004.

WESTERMAN, P. W.; BICUDO, J. R.; Management considerations for organic waste use in agriculture. **Bioresource Technology**, London, v. 96, n. 2, p. 215-221, Jan. 2005.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1: Cama de frango, esterco de curral e pó de carvão na produtividade e em outras características agronômicas da soja**RESUMO**

Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar os efeitos agronômicos dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão, associados ou não ao fertilizante mineral NPK, na cultura da soja. Realizou-se um experimento de campo em esquema de parcelas subdivididas, avaliando-se as fontes (parcelas) nas doses de 0, 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹ (subparcelas) combinadas com 0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral NPK (subsubparcelas), no ano de 2008, em um Cambissolo Háplico, sob cultivo convencional em Itutinga, MG. Como resultado, observou-se que todas as características avaliadas foram influenciadas pelos tratamentos. A aplicação da cama de frango proporcionou as maiores produtividades, com incrementos médios 26,1% (805 kg ha⁻¹) e 47,7% (1.256 kg ha⁻¹) superiores aos proporcionados pelo esterco de curral e pó de carvão, respectivamente. A utilização do fertilizante mineral proporcionou incrementos de produtividade, entretanto, observa-se que o incremento máximo devido ao uso dos resíduos orgânicos (1.163,6 kg ha⁻¹) foi superior ao proporcionado por este insumo (1.027,4 kg ha⁻¹) em cerca de 13,3%. Todas as fontes, orgânica e mineral, proporcionaram aumento no índice de acamamento das plantas de forma linear com o aumento das doses utilizadas. A cama de frango propiciou o maior índice de acamamento nas plantas. A utilização de resíduos orgânicos, ricos em nutrientes, representa uma promissora tecnologia visando ao aumento da produtividade da soja, entretanto, deve-se atentar para a utilização criteriosa das doses e fontes na cultura da soja para que não ocorram crescimento excessivo e consequente acamamento prejudicial das plantas.

Palavras-chave: *Glycine max*. Sustentabilidade. Resíduos orgânicos. Integração produtiva. Produtividade de grãos.

Organic amendments: poultry litter, farmyard manure and biochar on some agronomic characteristics and yield of the soybean crop

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the agronomical effects of the organic amendments poultry litter, farmyard manure and biochar, associated or not with mineral NPK fertilizer, on the soybean crop. A field experiment was carried out in a split-split-plot scheme, with three replicates in a completely randomized blocks experimental design. Was evaluated the sources (plots) at rates of 0, 3, 6 and 9 Mg ha⁻¹ (split plots) combined with 0, 100, 200, 300 and 400 kg ha⁻¹ (split-split-plots) of the mineral NPK fertilizer in a Haplic Cambissol under conventional tillage, in 2008 at Itutinga, MG. The results showed that all traits were affected by treatments. The application of poultry litter provided the highest yields, with average increases 26.1% (805 kg ha⁻¹) and 47.7% (1,256 kg ha⁻¹) higher than those provided by manure and biochar, respectively. The use of mineral fertilizer also provided yield increases, however the maximum increment due to the use of the organic amendments (1,163.6 kg ha⁻¹) was 13.3% higher than that provided by mineral fertilizer (1,027.4 kg ha⁻¹). All sources, organics and mineral, linearly increased the plant lodging due to rising doses. Poultry litter was the source which provided highest levels of plant lodging. The use of organic amendments, rich in nutrients, is a promising technology to increase the soybean yield, however, the correct choice of the sources and doses must be done under judicious criterion in order to avoid the overgrowth and consequent detrimental plant lodging.

Keywords: *Glycine max*. Sustainability. Organic wastes. Integrated production. Grain yield.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior país produtor e exportador de soja no mundo (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2010), estimando-se, para a safra de 2009/10, produção de, aproximadamente, 68,7 milhões de toneladas de grãos, cultivada em uma área total de 23,47 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010).

A busca por altas produtividades tem sido uma estratégia constante nas pesquisas de países tropicais, como o Brasil. Tal orientação é responsável pela geração de tecnologias apropriadas que permitem a utilização de solos ácidos, fortemente intemperizados e pobres em nutrientes, em diversos sistemas de produção de soja no Brasil (TOLLEFSON, 2010). Nessas condições, para uma adequada utilização agrícola, torna-se necessária a utilização racional e criteriosa dos fertilizantes e corretivos, visando suprir tais deficiências edáficas (MORTELE et al., 2009; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2010). Esses constituem um dos principais insumos agrícolas nos sistemas de produção agrícola nos trópicos, representando também significativa parcela dos custos de produção, justificando um esforço considerável do agricultor para tornar a utilização dessa ferramenta o mais eficiente possível (CASTRO; REIS; LIMA, 2006; MENEGATTI; BARROS, 2007; CAVALETTI; ORTEGA, 2009).

A utilização de resíduos orgânicos como insumos alternativos aos fertilizantes minerais, além de aumentar e melhorar o fornecimento de nutrientes ao sistema (KOWALJOW et al., 2010), melhora, principalmente por meio do aumento da matéria orgânica do solo, diversas propriedades físicas, químicas e biológicas deste, tais como maior disponibilidade de água para as plantas (MOHANTY et al., 2007), estabilidade dos agregados (WILLIAMS; PETTICREW, 2009), maior massa e diversidade microbiana (MANNA et al.,

2007), diminuição do alumínio tóxico (NOLLA; ANGHINONI, 2006), aumento da capacidade de troca de cátions dos solos (HOFFMANN et al., 2001), dentre outros efeitos benéficos.

A dinâmica dos nutrientes nos agroecossistemas está diretamente associada à atividade microbiana, que normalmente é limitada pela baixa presença de carbono no sistema, tendo, portanto, a aplicação de resíduos orgânicos, visando aumento da matéria orgânica, importante contribuição para maior eficiência da ciclagem de nutrientes (GALVÃO; SALCEDO, 2009; AZEEZ; AVERBEKE, 2010).

Considera-se que a utilização inadequada de resíduos orgânicos representa potencial risco de contaminação ambiental, devendo-se comparar resultados causados pela aplicação dos resíduos orgânicos pelos fertilizantes tradicionalmente utilizados. Os resíduos são, normalmente, subprodutos das atividades industriais, urbanas e agropecuárias, e, previamente à sua utilização, torna-se necessário considerar importantes aspectos, como características, disponibilidade, benefícios, aspectos legais, legislação ambiental e eficiência agrônômica (WESTERMAN; BICUDO, 2005). Em relação aos impactos ambientais, as tecnologias devem ser avaliadas quanto aos potenciais mitigadores ou geradores de gases de efeito-estufa, ao risco de contaminação do agroecossistema por metais pesados, patógenos, eutrofização de mananciais e lençóis freáticos (CAVALETT; ORTEGA, 2009; SILVA et al., 2010).

Nesse contexto, objetivou-se, com este trabalho, avaliar a utilização dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral curtido e pó de carvão, associados ou não ao fertilizante mineral NPK, na produtividade e em algumas características agrônômicas da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Milanez, em Itutinga, MG, localizada nas coordenadas 21°23' latitude S, 44° 39' longitude O e altitude média de 958 m. A região apresenta inverno seco e verão chuvoso, com as maiores precipitações em dezembro e janeiro, atingindo média mensal de 254 e 321 mm, respectivamente. A precipitação média anual é de 1.460 mm. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima é do tipo Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) e subtropical de inverno seco, com temperaturas médias de 20,7°C, variando de 17,1°C, em julho a 22,8°C, em fevereiro (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). As temperaturas e precipitações pluviométricas médias ocorridas durante a condução do experimento podem ser visualizadas no Gráfico 1.

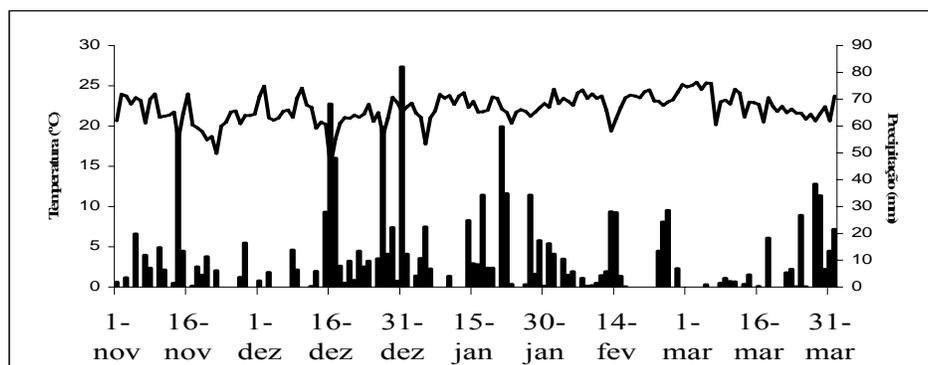


Gráfico 1 Temperaturas médias (°C) e precipitações pluviométricas (mm), entre novembro de 2008 e abril de 2009. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos completamente casualizados, com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos aplicados às parcelas foram as fontes dos resíduos orgânicos, cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC), nas subparcelas as

doses dos resíduos orgânicos: 0, 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹, aplicados em área total no dia anterior à semeadura e incorporados. Nas subsubparcelas, foram utilizados 0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral formulado NPK 04-30-10 com 6,10% de Ca + 2,97% de S + 0,06% de B + 0,97% de Mn + 0,31% de Zn, aplicados manualmente no sulco de semeadura. Segundo as recomendações para adubações de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), calculou-se a necessidade de 120 kg de P₂O₅ e 40 kg de K₂O por hectare, para atender às necessidades da cultura (400 kg do formulado NPK 4-30-10). As subsubparcelas foram constituídas de 4 linhas de 5 m de comprimento espaçadas em 0,5 m, sendo as duas externas bordaduras e as duas centrais as linhas úteis. Por ocasião da colheita, eliminaram-se 0,5 m de cada extremidade das linhas úteis, a título de bordadura.

As composições físico-químicas dos resíduos são apresentadas na Tabela 1. O resíduo “cama de frango” constitui-se de uma mistura de substratos (conhecida como “cama”) que, nesse caso, foi composta por palha de arroz, fezes, penas e restos de ração. O esterco de curral utilizado foi produzido na propriedade, oriundo de gado leiteiro semiconfinado, curtido e seco. O pó de carvão, resíduo industrial, subproduto da siderurgia férrea, foi obtido em siderúrgica de ferro gusa da região, originado de carvão vegetal oriundo da combustão parcial de lenha de eucalipto plantado para tal fim.

Tabela 1 Análises físico-químicas dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC) utilizados. Itutinga, MG, 2008

Parâmetros	Unidades	Resultados		
		CF	EC	PC
pH em água	-	7,40	7,60	7,30
Condutividade elétrica (CE)	dS m ⁻¹	26,40	19,00	2,90
Capacidade de retenção de água	ml g ⁻¹	2,10	1,80	0,80
Densidade aparente	g cm ⁻³	0,40	0,40	0,80
Carbono total	g kg ⁻¹	411,00	285,00	191,00
Matéria orgânica (MO)	g kg ⁻¹	820,00	570,00	380,00
Nitrogênio (N) total	g kg ⁻¹	44,00	24,00	5,00
N-amônio	mg kg ⁻¹	362,00	70,00	26,00
N-nitrato	mg kg ⁻¹	82,00	624,00	178,00
Fósforo (P) total	g kg ⁻¹	8,50	1,10	0,40
Potássio (K) total	g kg ⁻¹	37,00	19,60	2,60
Sódio (Na)	g kg ⁻¹	4,50	0,90	0,40
Cálcio (Ca)	g kg ⁻¹	31,00	9,50	13,00
Magnésio (Mg)	g kg ⁻¹	11,50	5,40	2,30
Enxofre (S)	mg kg ⁻¹	6,20	2,70	0,00
Boro (B)	mg kg ⁻¹	46,70	13,00	0,00
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	119,00	30,00	19,00
Ferro (Fe)	mg kg ⁻¹	2324,00	14,56	354,60
Manganês (Mn)	mg kg ⁻¹	691,00	232,00	1107,00
Zinco (Zn)	mg kg ⁻¹	624,00	82,00	371,00

* Análises realizadas no Laboratório de Análise de Resíduos Orgânicos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras, MG.

O preparo do solo foi realizado com uma aração e uma gradagem. As aplicações dos resíduos orgânicos foram feitas a lanço, nas parcelas, com posterior incorporação, seguidas da abertura dos sulcos de semeadura utilizando tração mecanizada. Antes da semeadura, as sementes da cultivar BRS Favorita RR foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se inoculante turfoso na proporção de 1.200.000 bactérias por semente. Os desbastes foram realizados 15 dias após emergência das plântulas, mantendo-se 15 plantas por metro. A semeadura foi realizada no dia 27 de novembro de 2008, em solo classificado como Cambissolo Háplico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), com os atributos físico-químicas da camada de 0-20 cm e interpretações de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) listados na Tabela 2.

Na ocasião da colheita, R_8 (FEHR et al., 1971), foram avaliadas as seguintes características: número de legumes por planta e grãos por legume amostrados em 10 plantas das fileiras úteis; massa de 100 grãos; rendimento de grãos, em kg ha^{-1} , após conversão para 13% de umidade; altura da planta e da inserção do primeiro legume (tomadas aleatoriamente, em cm, de 10 plantas das fileiras úteis) e índice de acamamento, atribuindo-se nota 1 quando todas plantas estiveram eretas, 2 para algumas plantas inclinadas ou ligeiramente acamadas, 3 para todas as plantas moderadamente inclinadas ou 25%-50% acamadas, 4 para todas as plantas severamente inclinadas ou 50%-80% acamadas e 5 mais de 80% acamadas. Para a realização da análise estatística do acamamento, os dados foram transformados em $(x+1)^{1/2}$.

Tabela 2 Resultados e interpretações dos atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm do solo localizado na área experimental de Itutinga, MG, 2008*

Parâmetro	Unidade	Resultados
pH em H₂O	(1:2,5)	5,4 (acidez média)
P (Mehlich 1)	mg dm ⁻³	2,0 (muito baixo)
K	mg dm ⁻³	98,0 (bom)
Ca²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,5 (médio)
Mg²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,4 (baixo)
Al³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,2 (muito baixo)
H + Al	cmol _c dm ⁻³	4,0 (médio)
Soma de bases	cmol _c dm ⁻³	2,2 (médio)
CTC efetiva (t)	cmol _c dm ⁻³	2,4 (médio)
CTC a pH 7,0 (T)	cmol _c dm ⁻³	6,2 (médio)
Saturação por bases (V)	%	35,0 (baixo)
Saturação por Al³⁺ (m)	%	9,0 (muito baixo)
MO	g kg ⁻¹	40,0 (bom)
P-rem	mg L ⁻¹	14,0
S	mg dm ⁻³	14,9 (muito bom)
Zn	mg dm ⁻³	0,5 (baixo)
Fe	mg dm ⁻³	32,6 (bom)
Mn	mg dm ⁻³	4,8 (baixo)
Cu	mg dm ⁻³	1,5 (bom)
B	mg dm ⁻³	0,4 (médio)
Areia	g kg ⁻¹	310
Silte	g kg ⁻¹	290
Argila	g kg ⁻¹	400

*Análises realizadas no Laboratório de fertilidade de solos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras, MG.

Os dados foram submetidos à análise de variância com auxílio do software Sisvar[®] (Ferreira, 2008), utilizando-se o teste F. Quando pertinente, devido à significância dos fatores, foram realizadas análises de regressão polinomial e teste de Scott Knott para comparação das médias. As superfícies de resposta foram obtidas e interpretadas utilizando-se o pacote estatístico Statistica[®] 6.0 para ambiente Windows.

3 RESULTADOS E DISCUSSAO

Todas as características avaliadas foram influenciadas pelos tratamentos (Tabela 3). Ocorreu diferença significativa entre as fontes utilizadas para a produtividade, número de grãos por legume, altura de plantas, de inserção do primeiro legume e índice de acamamento. Verificou-se efeito da interação entre as fontes e doses de resíduos orgânicos utilizados para produtividade e acamamento. Não se observou efeito simples das diferentes doses dos resíduos orgânicos e fertilizante mineral apenas no número de grãos por legume. Foi observado efeito interativo triplo dos tratamentos para altura de plantas e peso de cem sementes (Tabela 3).

Tabela 3 Resumo da análise de variância para produtividade (PT), número de legumes por planta (LP), número de grãos por legume (GPL), peso de 100 sementes (PCS), altura de planta (AP), altura de inserção do primeiro legume (AI) e índice de acamamento (ACA), obtidos no experimento de fontes e doses de resíduos orgânicos e fertilizante mineral na cultura da soja, Itutinga, MG, 2009

Fontes de variação	GL	Quadrados médios						
		PT	LP	GPL	PCS	AP	AI	ACA
Bloco	2	13907189,73	1434,11	0,053	13,63	77,62	216,30	0,04
Fontes (F)	2	24284373,42*	1169,31	0,057**	9,42	1344,42**	15,69 *	0,95**
Erro 1	4	2119145,42	187,43	0,001	3,13	57,38	1,27	0,05
Dose orgânica (D1)	3	12059890,83**	435,70**	0,011	9,26*	1504,86**	83,37**	0,54**
F x D1	6	1585586,10*	162,58	0,008	2,54	334,50	6,65	0,19**
Erro 2	18	411673,90	80,14	0,023	2,12	128,30	6,54	0,03
Dose NPK (D2)	4	5087048,84**	493,52**	0,007	1,29**	791,37**	60,45**	0,07**
F x D2	8	344671,06	28,01	0,074	0,67**	47,15**	6,32	0,01
D1 x D2	12	153564,83	87,14	0,017	0,19**	72,03**	8,33	0,01
F x D1 x D2	24	196593,18	66,84	0,021	0,22**	26,72**	6,19	0,01
Erro 3	96	209029,65	76,99	0,037	0,06	0,30	6,73	0,02
CV 1 (%)		45,4	39,58	1,6	11,6	10,3	4,5	14,2
CV 2 (%)		20,0	25,88	7,3	9,5	15,4	10,1	10,4
CV 3 (%)		14,3	25,37	9,1	1,7	0,7	10,3	8,1

*Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,05$).

**Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$).

As fontes de resíduos afetaram significativamente a produtividade de grãos. A aplicação do resíduo cama de frango proporcionou as maiores produtividades, sendo os incrementos, em média, 26,1% (805 kg ha⁻¹) e 47,7% (1.256 kg ha⁻¹) maiores que os proporcionados pelos resíduos esterco de curral e pó de carvão, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 Médias de produtividade (PT), número de grãos por legume (GPL), altura de inserção do primeiro legume (AI), de plantas (AP) e índice de acamamento (ACA), influenciadas pela utilização de diferentes fontes de resíduos orgânicos na soja, Itutinga, 2009

Fontes	Médias									
	PT		GPL		AI		AP		ACA	
Pó de carvão	2634,85	B	2,08	B	25,26	A	69,87	B	1,23	B
Esterco de curral	3085,80	B	2,12	A	24,82	A	72,23	B	1,23	B
Cama de frango	3890,71	A	2,14	A	25,84	A	78,99	A	1,97	A

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott (5%).

Os maiores incrementos oriundos da utilização da cama de frango, em relação às outras fontes, podem ser atribuídos ao maior aporte de nutrientes, visto ser a soja uma cultura altamente responsiva ao fornecimento desses (GONÇALVES JÚNIOR et al., 2010), principalmente em solos com limitações de fertilidade e em sistemas de produção que apresentam altos níveis de produtividade, haja vista a alta demanda para a formação de biomassa e exportação dos grãos (BIANCO; PITELLI; CARVALHO, 2007; EMBRAPA, 2008).

Esses resultados são consistentes com os de outros trabalhos em que, com a utilização da cama de frango na soja, também se observou significativos incrementos da produtividade da cultura (VILELA et al., 2009), principalmente pelo aumento de absorção e melhoria na ciclagem de nutrientes, com respostas superiores às observadas para os tratamentos que receberam adubos minerais (ADELI et al., 2005; SAINJU et al., 2010).

O experimento apresentou altos níveis de produtividades, tendo como média geral um rendimento de 3.203,8 kg ha⁻¹ de grãos, acima média nacional de 2.927 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010). Levando-se em conta a cama de frango (3.890,71 kg ha⁻¹), essa diferença é altamente relevante (963,7 kg ha⁻¹). Tal fato demonstra o alto potencial do uso associado de resíduos orgânicos com fertilizantes minerais para aumento da produtividade da soja de forma consistente e sustentável (MORETI et al., 2007; BHATTACHARYYA et al., 2008; YU et al., 2009; MANDAL; HATI; MISRA, 2009).

A produtividade variou de forma linear e positiva, devido às diferentes doses dos resíduos orgânicos utilizadas (Gráfico 2). Tal constatação corrobora os relatos de vários autores que demonstraram a viabilidade da utilização de resíduos orgânicos na melhoria das condições edáficas dos sistemas agrícolas, com reflexos diretos sobre a produtividade de grãos (ADELI et al., 2005; BHATTACHARYYA et al., 2008; GHOSH et al., 2009; VILELA et al., 2009).

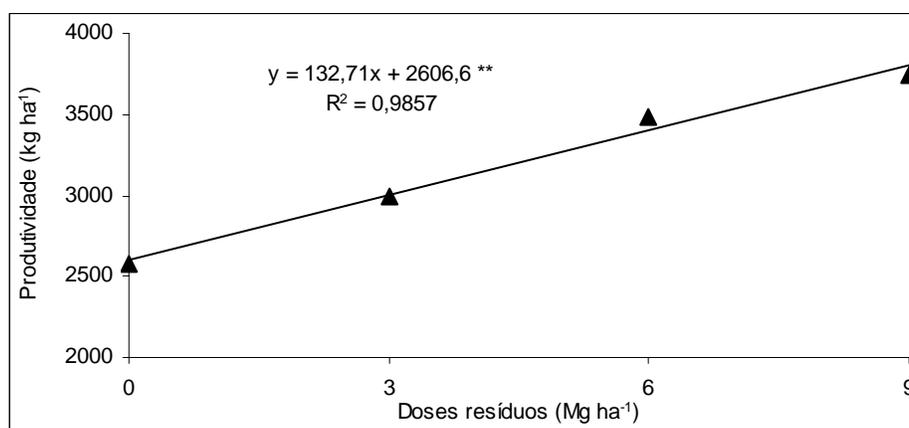


Gráfico 1 Equação de regressão para produtividade (kg ha⁻¹), em função das doses dos resíduos orgânicos aplicadas. Itutinga, MG, 2009.
**Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

Em média, a utilização dos resíduos orgânicos proporcionou incremento de 830,5 kg ha⁻¹ (32,2%) em relação à produtividade na ausência de resíduos

(Gráfico 2). Os resíduos orgânicos têm alta capacidade de melhoria da fertilidade dos solos pelo aporte de nutrientes, menor fixação do fósforo (SHAFQAT; PIERZYNSKI, 2010), aumento da taxa de mineralização de vários nutrientes como o nitrogênio (SAINJU et al., 2010), liberação do potássio (YU et al., 2009), disponibilização de micronutrientes pela quelatização em radicais orgânicos (WANG et al. 2010), efeito corretivo da acidez e mitigador da toxidez por alumínio (NARAMABUYE; HAYNES, 2007) e aumento da biomassa do sistema radicular das plantas (MANDAL; HATI; MISRA, 2009), dentre outros efeitos benéficos para os sistemas produtivos.

Além da melhoria da fertilidade, os resíduos orgânicos têm importante papel nas propriedades físicas do solo (HATI et al., 2008; HEMMAT et al., 2010). Mesmo em estados de alta degradação, a utilização de resíduos orgânicos proporciona melhorias na qualidade física, aumentando a aptidão agrícola dos mesmos (KOWALJOW et al., 2010). Tais efeitos ocorrem principalmente pelo aumento da matéria orgânica do solo que é capaz de gerar benefícios ímpares na funcionalidade produtiva dos solos.

Observou-se interação significativa entre as fontes e doses dos resíduos orgânicos no rendimento de grãos (Gráfico 3). Realizando-se o desdobramento dos efeitos, constatou-se que apenas o pó de carvão não influenciou significativamente a produtividade. Tal fato, provavelmente, deve-se ao baixo aporte de nutrientes alocados ao solo por este resíduo nas doses estudadas (Tabela 1), justificando-se a realização de trabalhos futuros considerando-se a utilização de doses mais elevadas, dentro da viabilidade econômica de aquisição, transporte e aplicação. A decisão de aplicar resíduos orgânicos carece, portanto, de criteriosa escolha quanto às fontes a serem utilizadas, visando ao aumento da produtividade.

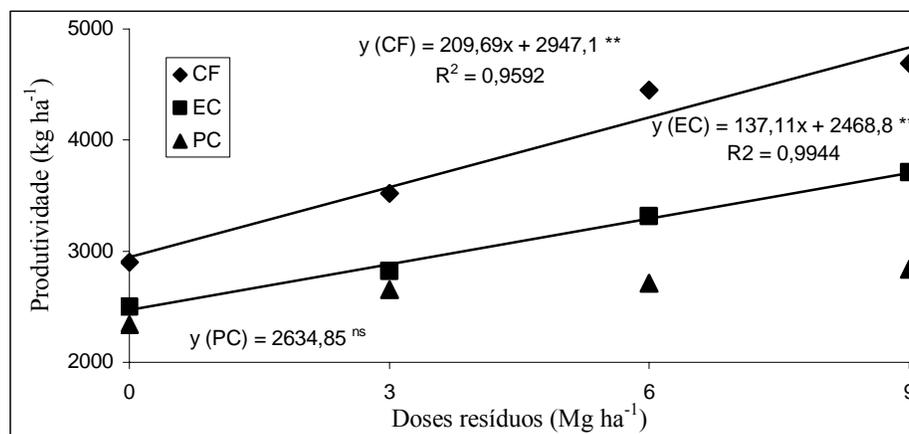


Gráfico 3 Equações de regressão para produtividade (kg ha^{-1}), em função das doses dos resíduos orgânicos para os resíduos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC). Itutinga, MG, 2009. **, ^{ns} Significativo e não significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente ($p \leq 0,01$)

Observa-se que, para cada megagrama de cama de frango e de esterco de curral aplicado, aumenta-se a produtividade da cultura em 209,7 e 137,1 kg ha^{-1} , respectivamente. Esses incrementos são bastante significativos visando à economia de insumos e à maximização dos recursos produtivos.

A aplicação crescente de fertilizante mineral na forma de NPK aumentou a produtividade linearmente (Gráfico 4), demonstrando que, para solos tropicais de baixa fertilidade natural, um dos fatores mais importantes na intensificação da produção agrícola é a adequada adubação do solo e a consequente melhoria da nutrição mineral das plantas (MOTERLE et al., 2009).

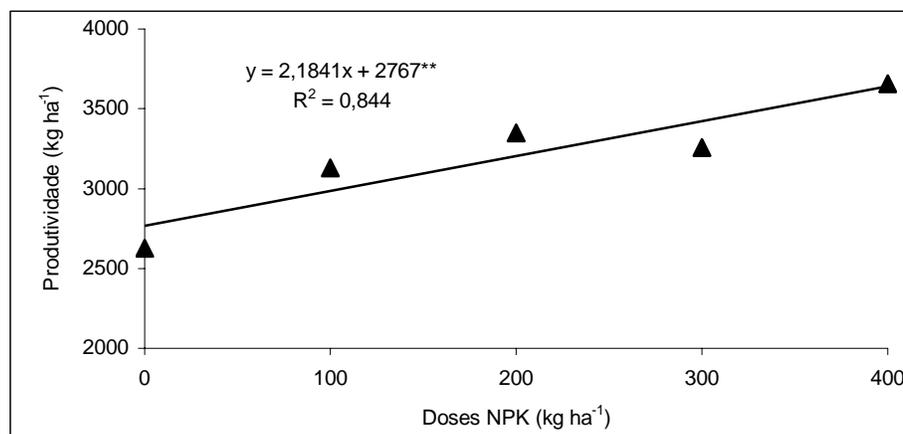


Gráfico 4 Equação de regressão para produtividade (kg ha^{-1}), em função das doses do fertilizante mineral NPK. Itutinga, MG, 2009.
 **Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

O aporte de matéria orgânica nos solos agrícolas melhora o condicionamento físico do solo, aumentando a eficiência do uso da água (HATI et al., 2006), um importante atributo do solo com reflexo direto na obtenção de altas produtividades agrícolas. Nesse sentido, observa-se que o incremento máximo devido ao uso dos resíduos orgânicos ($1.163,6 \text{ kg ha}^{-1}$) foi superior ao proporcionado pelo fertilizante mineral ($1.027,4 \text{ kg ha}^{-1}$) em cerca de 13,3% (Gráficos 2 e 4), demonstrando o importante papel da utilização dos fertilizantes orgânicos no adequado condicionamento das propriedades do solo (HATI et al., 2008).

O incremento da produtividade dá-se por meio dos componentes de produção, sendo dos mais influentes o número de legumes por planta (PASSOS et al., 2008). No presente trabalho, observaram-se efeitos positivos no número de legumes, por consequência da variação crescente das doses dos resíduos orgânicos e do fertilizante mineral (Gráficos 5 e 6). A taxa de incremento no número de legumes por planta foi maior para a aplicação do fertilizante mineral NPK, em que os acréscimos máximos, oriundos das maiores doses dos

fertilizantes orgânicos e minerais foram de 23,9% (7,4 legumes planta⁻¹) e 37,4% (11,2 legumes planta⁻¹), respectivamente.

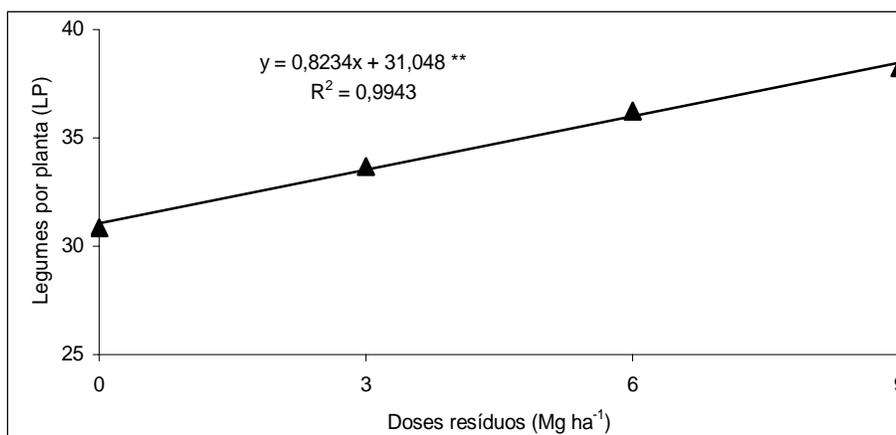


Gráfico 5 Equação de regressão para número de legumes por planta (LP), em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG, 2009. **Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

Esses resultados são condizentes com trabalhos realizados por outros autores, que observaram alta correlação entre a utilização da adubação orgânica e mineral com incrementos no número de legumes (MANDAL; HATI; MISRA, 2009). Na cultura da soja, uma adequada nutrição das plantas é primordial para a fixação dos legumes, a qual requer apropriada disponibilidade de nutrientes e de fotoassimilados destinados aos mesmos, quando em crescimento e desenvolvimento (WIEBOLD; PANCIERA, 1990; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2010).

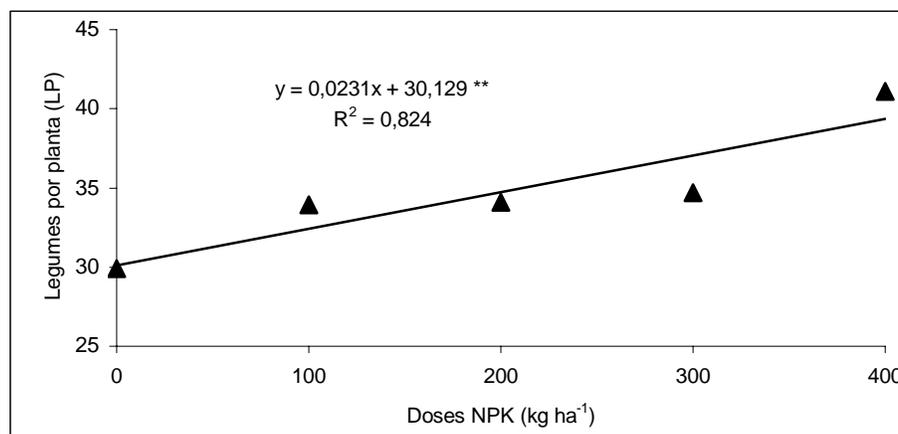


Gráfico 6 Equação de regressão para número de legumes por planta (LP), em função das doses do fertilizante mineral NPK. Itutinga, MG, 2009. **Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

Observou-se efeito conjunto da aplicação das fontes, doses orgânicas e doses do fertilizante mineral no peso das sementes produzidas (Gráfico 7). Realizou-se o desdobramento avaliando-se a resposta das diferentes combinações de doses para cada resíduo orgânico avaliado por meio da metodologia de superfícies de resposta (CUSTÓDIO; MORAIS; MUNIZ, 2000). As superfícies ajustadas para os dados de peso de cem sementes, de acordo com as equações de regressão estimadas, são apresentadas no Gráfico 7. Observa-se que os maiores pesos são obtidos com doses, de ambos os fertilizantes, nos seus maiores níveis.

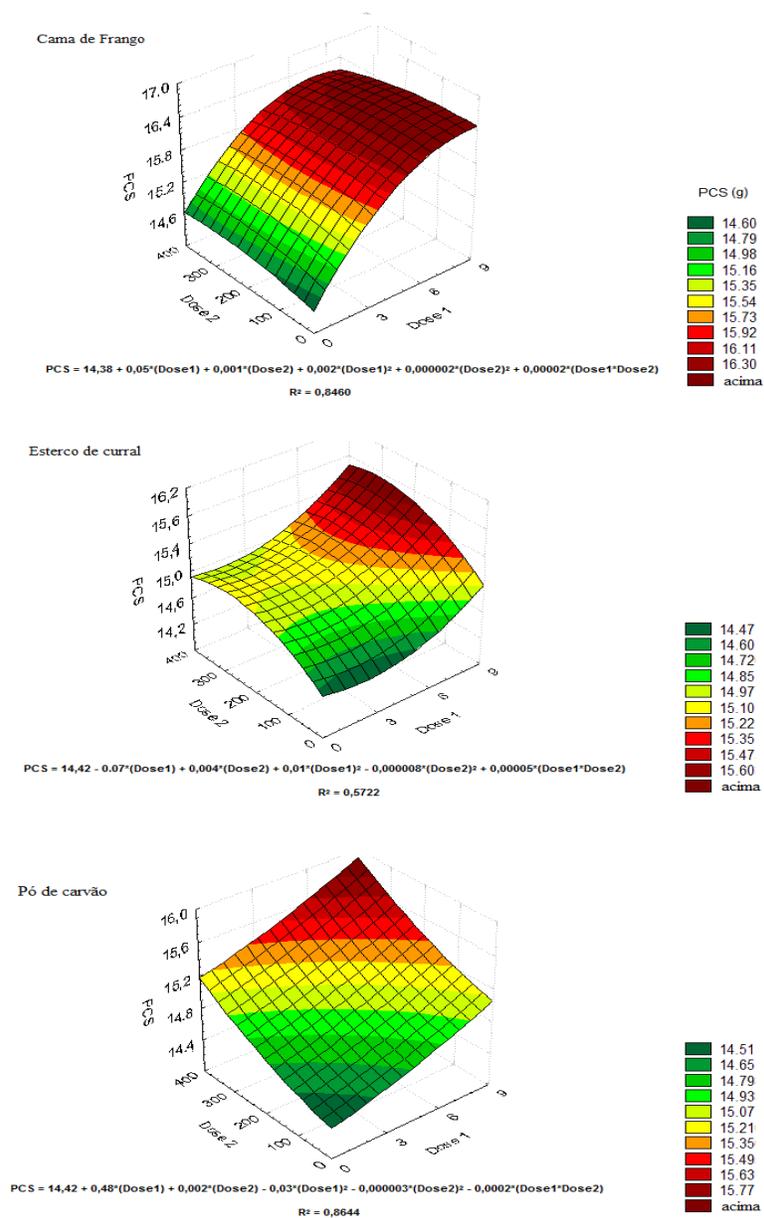


Gráfico 7 Superfícies resposta para efeito no peso de cem sementes (PCS) das doses dos resíduos orgânicos (dose 1= Mg ha⁻¹) e fertilizante mineral (dose 2=kg ha⁻¹) nos resíduos orgânicos avaliados. Itutinga, MG, 2009

Observa-se que o peso de cem sementes (PCS) mostrou-se significativamente influenciado pelo aumento das doses de resíduos e NPK utilizadas e suas combinações. Esses resultados corroboram os observados por outros autores avaliando efeito de fertilizantes orgânicos e minerais na soja (MANDAL; HATI; MISRA, 2009).

Verifica-se, pelo estudo das superfícies, como combinação ótima, a aplicação de $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ do pó de carvão e esterco de curral, em conjunto com 200 kg ha^{-1} do fertilizante mineral para a obtenção de um PCS de 14,91 e 14,96 g, respectivamente. De acordo com a superfície de resposta, a melhor dose quando se utiliza a cama de frango é de $8,34 \text{ Mg ha}^{-1}$, combinada com $85,4 \text{ kg ha}^{-1}$ do formulado NPK, em que se encontra o ponto estacionário ótimo de 16,50 g por cem sementes. O pó de carvão e o esterco de curral não diferiram entre si e apresentaram valores de PCS de 10,2% e 10,6% menores que o observado pelo uso da cama de frango, respectivamente. Sabe-se que a adequada nutrição da planta é de suma importância para o enchimento de grãos e, conseqüentemente, sobre a qualidade das mesmas. Segundo Krzyzanowski, França-Neto e Costa (1991), o maior tamanho da semente influencia positivamente a produtividade da soja, devido ao melhor estande gerado e conseqüente estabelecimento da cultura em campo, principalmente quando a semeadura é efetuada em condições de estresse climático que exigem semeaduras mais profundas (MADANZI; CHIDUZA; RICHARDSON-KAGELER, 2010).

A altura de planta também foi influenciada pelas fontes e doses dos resíduos e fertilizante mineral. Observa-se maior crescimento das plantas em função do aumento das doses, com valores preditos nos pontos estacionários, como máximas alturas de 76,2; 74,7 e 85,8 cm, quando da utilização do pó de carvão, esterco de curral e cama de frango, respectivamente (Gráfico 8).

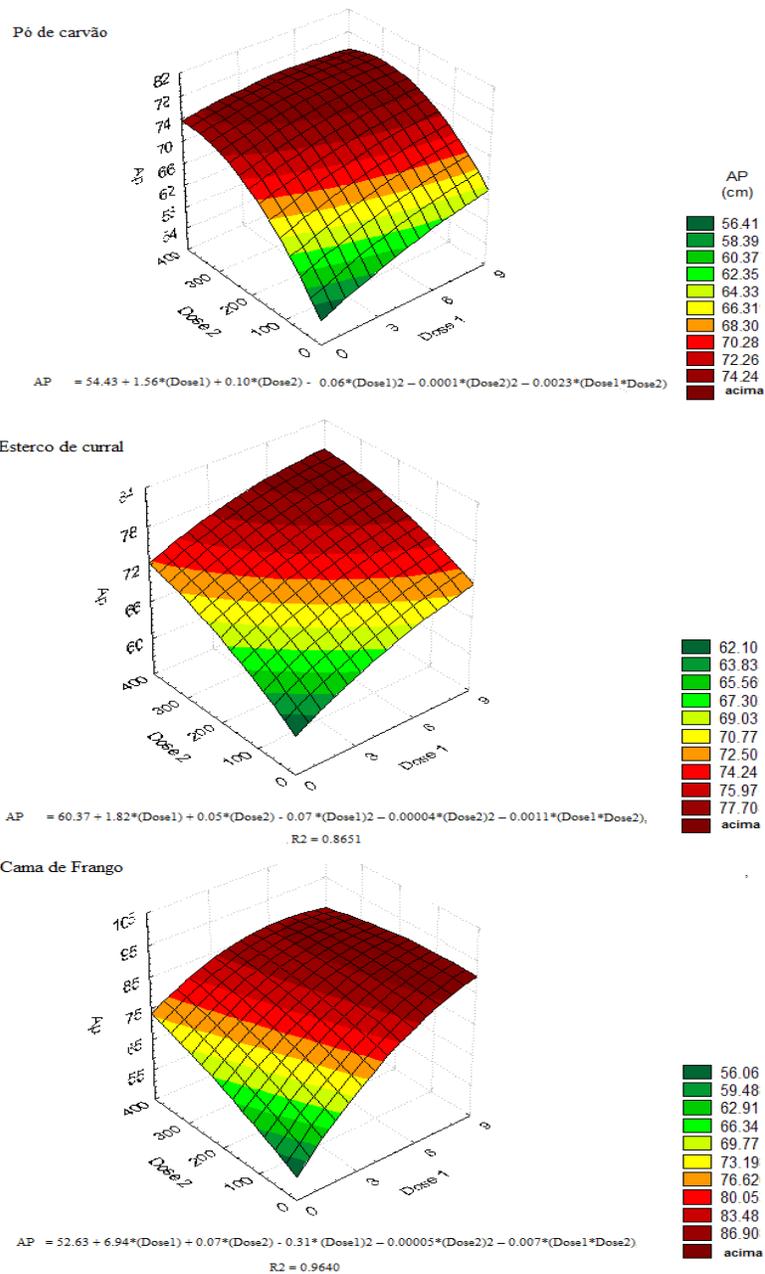


Gráfico 8 Superfícies resposta para efeito na altura de plantas (AP) das doses resíduos orgânicos (dose 1 = Mg ha⁻¹) e fertilizante mineral (dose 2 = kg ha⁻¹), para os resíduos orgânicos avaliados. Itutinga, MG, 2009

Deve-se atentar para as doses correspondentes às maiores alturas de plantas (pontos estacionários), com utilização de $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de ambos os resíduos animais (CF e EC) combinados com a dose de 200 kg de NPK por hectare, sendo necessários $7,25 \text{ Mg ha}^{-1}$ de pó de carvão combinados com $317,1 \text{ kg ha}^{-1}$ do formulado mineral NPK, para o valor estacionário de altura da planta. Esses resultados são congruentes com os obtidos por Mandal, Hati e Misra (2009), que observaram maiores alturas quando da associação entre esterco de curral com fertilizante mineral em relação ao uso isolado do fertilizante mineral e ao tratamento controle sem fertilizantes.

As fontes de resíduos influenciaram significativamente a altura de inserção do primeiro legume da soja, porém, não se identificaram diferenças quando se aplicou o teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade, na busca das diferenças dos conglomerados de médias (Tabela 4). Observando-se esses valores, verifica-se variação de $24,82$ a $25,84 \text{ cm}$, sendo considerada de baixa amplitude e com valores dentro dos padrões aceitáveis para a colheita mecânica, uma vez que, com a utilização de colhedoras modernas, consegue-se bom desempenho com cultivares que apresentam inserções próximas a 12 cm . Verificou-se que as diferentes doses dos resíduos orgânicos e do formulado NPK incrementaram a variável (Gráficos 9 e 10). Em média, os resíduos orgânicos aumentaram a altura em $10,5\%$, uma diferença pequena em relação à obtida no fertilizante NPK (incremento de $9,6\%$).

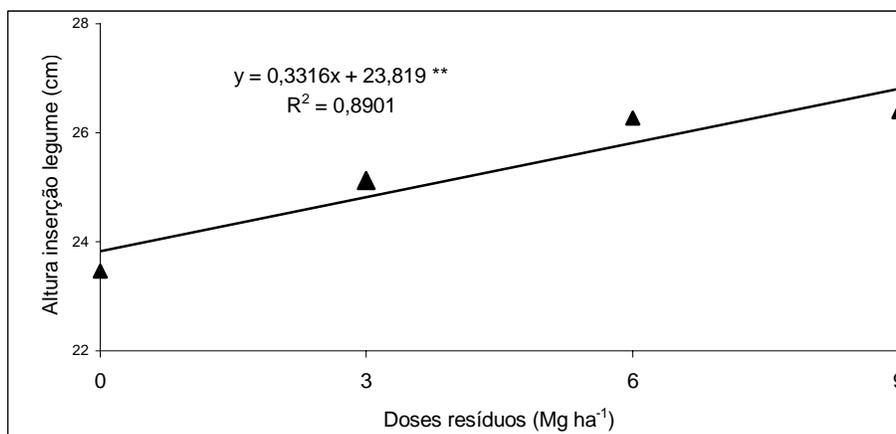


Gráfico 9 Equação de regressão para altura de inserção do primeiro legume (AI) em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG, 2009. **Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

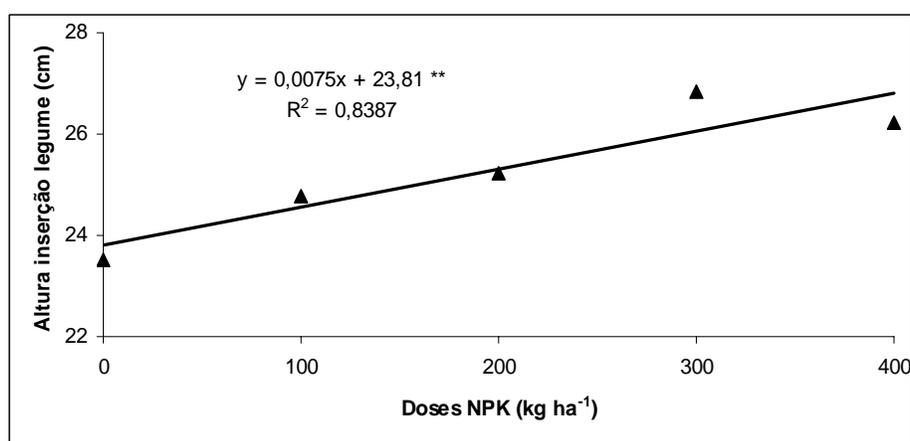


Gráfico 10 Equação de regressão para altura de inserção do primeiro legume (AI) em função das doses do fertilizante mineral NPK. Itutinga, MG, 2009. **Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

O índice de acamamento variou em função das fontes, das doses de resíduos orgânicos e de fertilizante NPK utilizadas, sem interação entre si (Tabelas 3 e 4). A utilização da cama de frango em doses mais elevadas elevou o índice de acamamento nas plantas (Gráfico 11). Em média, com a utilização da

cama de frango, o índice foi próximo de 2, o que representa a presença de algumas plantas inclinadas ou ligeiramente acamadas, não representando problema para a colheita mecanizada. Desdobrando-se a interação entre as fontes e as doses dos resíduos orgânicos utilizados, constatou-se influência significativa apenas do resíduo cama de frango na variável.

A cama de frango tem cerca de 1,8 e 8,8 vezes mais nitrogênio que os resíduos esterco de curral e pó de carvão, respectivamente, o que explica o maior crescimento das plantas em altura, haja vista ser este um aporte suplementar ao nitrogênio oriundo da fixação biológica e do NPK aplicado para fornecimento de P e K. Deve-se atentar, portanto, à possibilidade de desequilíbrio nutricional quando da utilização de resíduos orgânicos, em comparação às necessidades das culturas (WESTERMAN; BICUDO, 2005). Por isso, a adubação com a cama de frango pode desfavorecer o balanço adequado de nutrientes no sistema solo-planta, em que a associação criteriosa com fertilizante mineral pode significar interessante estratégia de manejo da fertilidade dos solos de forma mais sustentável (YU et al., 2009; LIU et al., 2009).

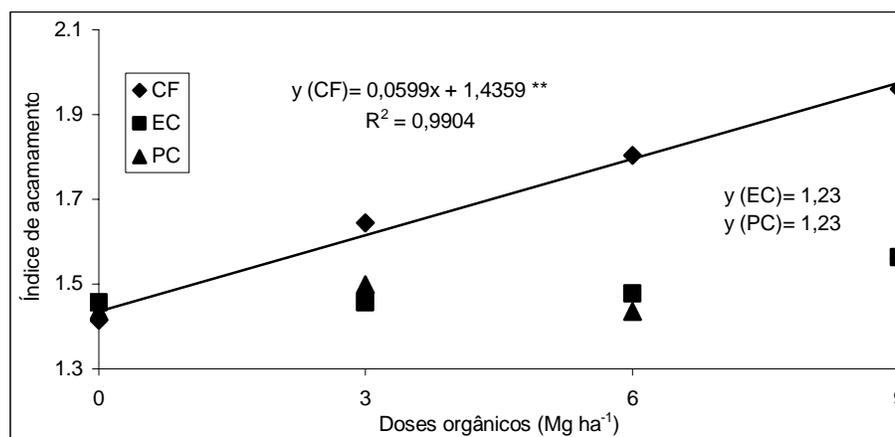


Gráfico 11 Equação de regressão para índice de acamamento (ACA) em função das doses dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC). Itutinga, MG, 2009. **Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

O aumento das doses de NPK proporcionou um aumento linear no índice de acamamento das plantas (Gráfico 12). Aumentando-se a disponibilidade de nutrientes para a planta, houve maior alocação de fotoassimilados para o crescimento, ocasionando aumento do número de legumes, peso dos grãos e altura das plantas, proporcionando, por consequência, maior inclinação das plantas (Tabela 3). Nessa condição, poder-se-ia trabalhar com densidades de plantio menores e ou com cultivares mais precoces e resistentes ao acamamento para amenizar o efeito, embora o nível médio de acamamento observado possibilite o trabalho normal das colhedoras.

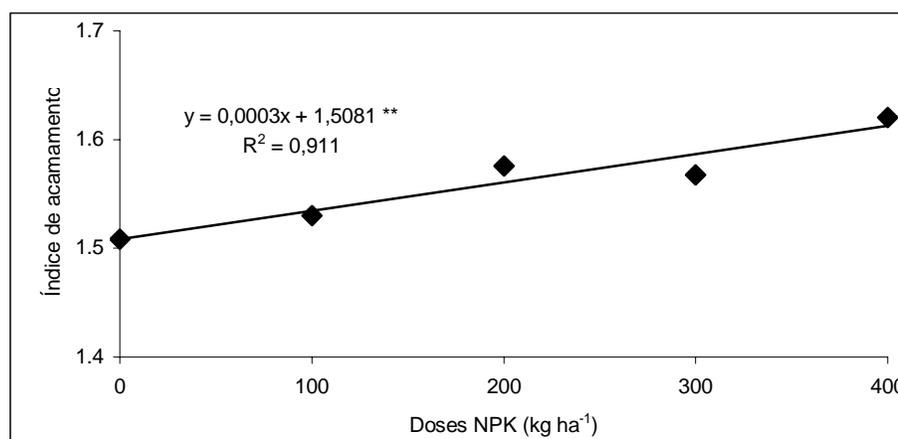


Gráfico 12 Equação de regressão para índice de acamamento (ACA), em função das doses do fertilizante mineral. Itutinga, MG, 2009.
 **Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

Constatou-se diferença no número de grãos por legume devido ao efeito das diferentes fontes orgânicas (Tabela 3). O resíduo pó de carvão apresentou os menores valores dessa característica em relação às outras fontes (Tabela 4). As diferenças foram relativamente pequenas e, possivelmente, de baixa expressão e reflexo na produtividade. Baixa variação nesta característica pode ocorrer devido ao fato de o número de sementes por legume ter alto controle genético e, por isso, é pouco susceptível à variação ambiental (RITCHIE et al., 1997), sendo o

fenótipo definido pelo número de óvulos por legumes e pela frequência de aborto dos embriões, tendo caráter quantitativo multigênico (TISCHENER et al., 2003).

4 CONCLUSÕES

A utilização de resíduos orgânicos ricos em nutrientes, como a cama de frango, representa uma promissora tecnologia visando ao aumento sustentável da produtividade da soja.

É possível diminuir a dose dos fertilizantes minerais NPK por meio da utilização de resíduos orgânicos ricos em nutrientes, mantendo os níveis de produtividade.

Deve-se atentar para a utilização criteriosa das doses e fontes de resíduos orgânicos na cultura da soja para que não ocorram crescimento excessivo e conseqüente acamamento prejudicial das plantas.

REFERÊNCIAS

- ADELI, A. et al. Effects of broiler litter on soybean production and soil nitrogen and phosphorus concentrations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 1, p. 314-321, Jan./Feb. 2005.
- AZEEZ, J. O.; AVERBEKE, W. V. Fate of manure phosphorus in a weathered sandy clay loam soil amended with three animal manures. **Bioresource Technology**, London, v. 101, n. 16, p. 6584-6588, Aug. 2010.
- BHATTACHARYYA, R. et al. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean-wheat system of the Indian Himalayas. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 2, p. 33-46, Jan. 2008.
- BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; CARVALHO, L. B. Estudo comparativo do acúmulo de massa seca e macronutrientes por plantas de *Glycine max* (L.) Merrill. e *Euphorbia heterophylla* L. **Ensaios e Ciência**, Campo Grande, v. 11, n. 2, p. 61-72, ago. 2007.
- CASTRO, S. H. de; REIS, R. P.; LIMA, A. L. R. Custos de produção da soja cultivada sob sistema de plantio direto: estudo de multicaseiros no oeste da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1146-1153, nov./dez. 2006.
- CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Energy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Nashville, v. 17, n. 8, p. 762-771, May 2009.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra Grãos**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 23 set. 2010.
- CUSTÓDIO, T. N.; MORAIS, A. R.; MUNIZ, J. A. Superfície de resposta em experimento com parcelas subdivididas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 1008-1023, out./dez. 2000.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil: 2009 e 2010. Londrina: EMBRAPA Soja; EMBRAPA Cerrados; EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2008. 262 p.

FEHR, W. R. et al. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, Jan. 1971.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, jul./dez. 2008.

GALVÃO, S. R. D. S.; SALCEDO, I. H. Soil phosphorus fractions in sandy soils amended with cattle manure for long periods. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 613-622, mar./jun. 2009.

GHOSH, P. K. et al. Assessment of nutrient competition and nutrient requirement in soybean/sorghum intercropping system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 31, n. 1, p. 43-50, July 2009.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C. et al. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 660-666, maio/jun. 2010.

HATI, K. M. et al. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India. **Bioresource Technology**, London, v. 97, n. 16, p. 2182-2188, Nov. 2006.

HATI, K. M. et al. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of an Alfisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 148, n. 2, p. 173-179, Oct./Dec. 2008.

HEMMAT, A. et al. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 108, n. 1-2, p. 43-50, Sept. 2010.

HOFFMANN, I. et al. Farmers management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, London, v. 86, n. 3, p. 263-275, Sept. 2001.

KOWALJOW, E. et al. Organic and inorganic fertilizer effects on a degraded Patagonian rangeland. **Plant and Soil**, London, v. 332, n. 1-2, p. 135-145, Jan. 2010.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; COSTA, N. P. Efeito da classificação de sementes de soja por tamanho sobre sua qualidade e a precisão de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 13, n. 1, p. 59-68, jul. 1991.

LIU, M. et al. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 42, n. 2, p. 166-175, June 2009.

MADANZI, T.; CHIDUZA, C.; RICHARDSON-KAGELER, S. J. Effects of planting method and seed size on stand establishment of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill cv. Solitaire]. **Soil and Tillage Research**, London, v. 106, n. 2, p. 171-176, Jan. 2010.

MANDAL, K. G.; HATI, K. M.; MISRA, E. A. K. Biomass yield and energy analysis of soybean production in relation to fertilizer-NPK and organic manure. **Biomass & Bioenergy**, Amsterdam, v. 33, n. 12, p. 1670-1679, Dec. 2009.

MANNA, M. C. et al. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. **Soil & Tillage Research**, London, v. 94, n. 2, p. 397-409, June 2007.

MENEGATTI, A. L. A.; BARROS, A. L. M. de. Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 01, p. 163-183, jan./mar. 2007.

MOHANTY, M. et al. Water transmission characteristics of a Vertisol and water use efficiency of rainfed soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under subsoiling and manuring. **Soil & Tillage Research**, London, v. 93, n. 2, p. 420-428, Apr. 2007.

MORETI, D. et al. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 167-175, jan./fev. 2007.

MOTERLE, L. M. et al. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 256-265, abr./jun. 2009.

NARAMABUYE, F. X.; HAYNES, E. R. J. The liming effect of five organic manures when incubated with an acid soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Zeitschrift, v. 170, n. 5, p. 615-622, May 2007.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em latossolo sob plantio direto em diferentes condições de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 955-963, jul. 2006.

PASSOS, A. M. A. et al. Cinetina e nitrato de potássio em características agronômicas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 925-928, jul. 2008.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RITCHIE, S. W. et al. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service, 1997. 20 p. (Special Report, 53).

SAINJU, U. M. et al. Poultry litter application increases nitrogen cycling compared with inorganic nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 3, p. 917-925, Mar. 2010.

SHAFQAT, M. N.; PIERZYNSKI, G. M. Long-term effects of tillage and manure applications on soil phosphorus fractions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 41, n. 9, p. 1084-1097, Jan. 2010.

SILVA, V. P. et al. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v. 91, n. 1, p. 1831-1839, Sept. 2010.

TISCHNER, T. et al. Genetics of seed abortion and reproductive traits in soybean (*Glycine max*). **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 2, p. 464 - 473, Mar. 2003.

TOLLEFSON, J. Food: The global farm. **Nature**, London, v. 466, n. 29, p. 554-556, July 2010.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Produtividade mundial da soja** . Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 5 jul. 2010.

VILELA, L. A. F. et al. Comparação de adubo químico com cama de frango na adubação da soja (*Glycine max*), em Neossolo quartzarênico no sudoeste goiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 5., 2009, Goiânia. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2009. 1 CD-ROM.

WANG, X. D. et al. Dynamics of humic substance-complexed copper and copper leaching during composting of chicken manure, **Pedosphere**, London, v. 20, n. 2, p. 245-251, Apr. 2010.

WESTERMAN, P. W.; BICUDO, J. R. Management considerations for organic waste use in agriculture. **Bioresource Technology**, London, v. 96, n. 2, p. 215-221, Jan. 2005.

WIEBOLD, W. J.; PANCIERA, M. T. Vasculature of soybean racemes with altered intraraceme competition. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 5, p. 1089-1093, Sept./ Oct. 1990.

WILLIAMS, N. D.; PETTICREW, E. L. Aggregate stability in organically and conventionally farmed soils. **Soil Use and Management**, Malden, v. 25, n. 3, p. 284-292, Sept. 2009.

YU, W. et al. Effects of nutrient cycling on grain yields and potassium balance. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, London, v. 84, n. 3, p. 203-213, July 2009.

ARTIGO 2: Cama de frango, esterco de curral e pó de carvão vegetal no estado nutricional de plantas de soja

RESUMO

Os teores foliares de nutrientes são importantes indicadores do estado nutricional das plantas. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar os efeitos de diferentes resíduos orgânicos, combinados ou não a um fertilizante mineral no estado nutricional de plantas de soja. Realizou-se um experimento de campo em esquema de parcelas subdivididas avaliando-se as fontes dos resíduos nas doses de 0, 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹ combinadas com 0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral, no ano de 2008, em um Cambissolo Háplico, sob cultivo convencional, em Itutinga, MG. Os tratamentos influenciaram todos os nutrientes, exceto os teores de boro e cobre. O maior aporte de resíduos orgânicos elevou linearmente os níveis de nitrogênio nas plantas de soja. Observou-se que a cama de frango proporcionou os maiores teores de fósforo nas plantas. Estudando-se as interações entre as fontes e suas doses para P, K, Mg e S, observou-se que a cama de frango proporcionou os maiores incrementos nos teores, geralmente de forma quadrática. O fertilizante mineral influenciou os teores de P, Ca, Mg, S, Zn, Mn e Fe nas plantas de soja. A cama de frango e esterco de curral combinados com fertilizante mineral proporcionou incrementos de até 4 no índice de área foliar da cultura. Todos os nutrientes, exceto o S, correlacionaram-se linear e positivamente com a produtividade de grãos. A utilização de resíduos orgânicos apresenta-se como interessante estratégia visando à melhoria do estado nutricional da cultura da soja, principalmente pelo aumento dos teores foliares de N, P, K, Mg, S e Fe.

Palavras-chave: *Glycine max*. Sustentabilidade. Fertilizantes orgânicos. Manejo integrado nutrição. Teores foliares nutrientes.

Poultry litter, farmyard manure and biochar on the nutritional status of soybean plants

ABSTRACT

Foliar nutrient levels are important indicators of the nutritional status of soybean plants. In this sense, the objective of this paper was to evaluate the effects of different organic wastes: poultry litter, farmyard manure and biochar combined or not with a mineral fertilizer on the nutritional status of soybean plants. A field experiment was carried out in Itutinga, MG, in a split-split-plot scheme, in a completely randomized blocks experimental design. Was evaluated the sources (plots) at rates of 0, 3, 6 and 9 Mg ha⁻¹ (split plots) combined with 0, 100, 200, 300 and 400 kg ha⁻¹ (split split-plots) of the mineral fertilizer, in 2008, in a Cambissol under conventional cultivation. The results showed that all nutrients were affected by treatments, except the levels of Cu and B. The high input of organic wastes linearly increased the nitrogen levels in soybean plants. It was observed that the poultry litter provided the highest phosphorus levels in the plants. Studying the interactions between sources and doses for P, K, Mg and S, was found the poultry litter caused the largest increases of the nutrients levels, in general a quadratic curve. The mineral fertilizer significantly influenced the levels of P, Ca, Mg, Zn, S, Mn and Fe on soybean plants. The poultry litter and farmyard manure, associated to mineral fertilizer, boosted the foliar area index up to 4. All nutrients, except the S, correlated positive and linearly to the grain yield. The use of organic waste is presented as interesting strategy aimed at improving the nutritional status of soybean, mainly by boosting the foliar levels of N, P, K, Mg, S and Fe.

Keywords: *Glycine max.* Sustainability. Organic fertilizers. Integrated nutrition management. Foliar nutrient levels.

1 INTRODUÇÃO

A combinação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos representa uma promissora alternativa para o manejo integrado da nutrição de plantas, visando à maior sustentabilidade econômica e ambiental. A utilização de resíduos orgânicos preserva recursos finitos, como os solos e fertilizantes minerais derivados de fósseis e realoca ao ciclo produtivo subprodutos como insumos agrícolas.

A dinâmica dos nutrientes nos agroecossistemas está diretamente associada à atividade microbiana, que, normalmente, é limitada pela baixa presença de carbono no sistema, tendo, portanto, a aplicação de resíduos orgânicos, visando aumento da matéria orgânica, importante contribuição para maior eficiência da ciclagem de nutrientes (GALVÃO; SALCEDO, 2009; YU et al., 2009). Muitos autores, em experimentos de longo prazo, demonstraram que a combinação de fontes orgânicas e inorgânicas de nutrientes levam à maior disponibilidade e melhor sincronização na liberação de nutrientes, tendo como consequência uma mais adequada absorção pelas plantas com aumento da produtividade e qualidade dos produtos agrícolas (AZEEZ; AVERBEKE, 2010; DIACONO; MONTEMURRO, 2010).

Além dos aspectos técnicos, a utilização de fontes alternativas de fertilizantes é estratégica para países altamente dependentes de matéria-prima importada dos fertilizantes minerais. Diversas fontes orgânicas têm demonstrado grande potencial para suprir a demanda nutricional das plantas, principalmente quando aplicadas em doses adequadas e a intervalos regulares de tempo, fornecendo quantidades satisfatórias de nutrientes no momento requerido (DIACONO; MONTEMURRO, 2010). Tal prática proporciona aos produtores melhor rentabilidade e sustentabilidade da atividade agrícola em comparação à

aplicação isolada de fertilizantes minerais (RUSSELLE; ENTZ; FRANZLUEBBERS, 2007; BHATTACHARYYA et al., 2010).

Nesse contexto, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar a utilização dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral curtido e pó de carvão, associados ou não ao fertilizante mineral NPK, no estado nutricional da planta de soja cultivada em Cambissolo Háplico em sistema convencional de preparo do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Milanez, em Itutinga, MG, localizada nas coordenadas 21°23' latitude S, 44°39' longitude O e altitude média de 958 m. A região apresenta inverno seco e verão chuvoso, com as maiores precipitações em dezembro e janeiro, quando a média mensal chega a 254 e 321 mm, respectivamente; a precipitação média anual é de 1.460 mm. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima é do tipo Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) e subtropical de inverno seco, com temperaturas médias de 20,7°C, variando de 17,1°C, em julho a 22,8°C, em fevereiro (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). As temperaturas médias e precipitações pluviométricas ocorridas durante a condução do experimento podem ser visualizadas no Gráfico 1.

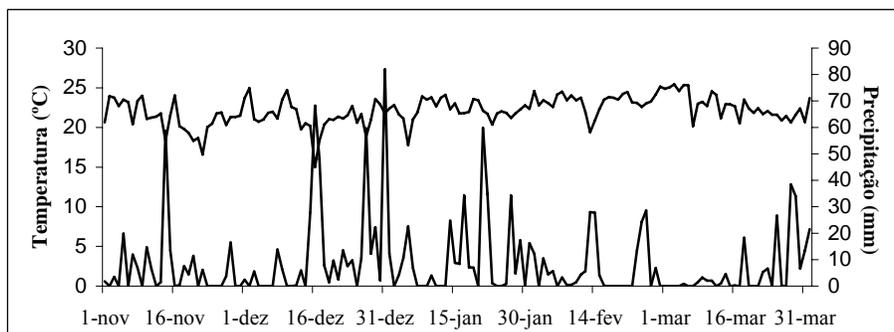


Gráfico 1 Temperaturas médias (°C) e precipitações pluviométricas (mm) entre novembro de 2008 e abril de 2009. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos completamente casualizados, em esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos aplicados às parcelas foram as fontes dos resíduos orgânicos, cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC). Nas subparcelas foram utilizadas as doses dos resíduos orgânicos 0; 3; 6 e 9 Mg ha⁻¹, aplicados em área

total no dia anterior à sementeira e incorporados. Nas subsubparcelas foram utilizados 0; 100; 200; 300 e 400 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral formulado NPK 04-30-10 com 6,10% de Ca + 2,97% de S + 0,06% de B + 0,97 de Mn + 0,31% de Zn, aplicados manualmente no sulco de sementeira. As adubações seguiram, como referência, recomendações segundo Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), utilizando-se 120 kg de P₂O₅ e 40 Kg de K₂O por hectare, para atender às necessidades da cultura (400 kg do formulado NPK 4-30-10).

As subsubparcelas foram constituídas de 4 linhas de 5 m de comprimento espaçadas em 0,5 m, sendo as duas externas bordaduras e as duas centrais as linhas úteis. Por ocasião da coleta dos dados, eliminaram-se 0,5 m de cada extremidade das linhas úteis, a título de bordadura.

As composições físico-químicas dos resíduos são apresentadas na Tabela 1. O resíduo cama de frango é constituído de uma mistura de substratos composta por palha de arroz, fezes, penas e restos de ração. O esterco de curral utilizado foi produzido na propriedade, oriundo de gado leiteiro semiconfinado, curtido e seco. O pó de carvão, resíduo industrial subproduto da siderurgia férrea, foi obtido em siderúrgica de ferro gusa da região, originado de carvão vegetal oriundo da combustão parcial de lenha de eucalipto plantado para tal fim.

Tabela 1 Análises físico-químicas dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC) utilizados. Itutinga, MG, 2008

Parâmetros	Unidades	Resultados		
		CF	EC	PC
pH em água	-	7,40	7,60	7,30
Condutividade elétrica (CE)	dS m ⁻¹	26,40	19,00	2,90
Capacidade de retenção de água	ml g ⁻¹	2,10	1,80	0,80
Densidade aparente	g cm ⁻³	0,40	0,40	0,80
Carbono total	g kg ⁻¹	411,00	285,00	191,00
Matéria orgânica (MO)	g kg ⁻¹	820,00	570,00	380,00

Tabela 1, “Conclusão”

Parâmetros	Unidades	Resultados		
		CF	EC	PC
Nitrogênio (N) Total	g kg ⁻¹	44,00	24,00	5,00
N-amônio	mg kg ⁻¹	362,00	70,00	26,00
N-nitrato	mg kg ⁻¹	82,00	624,00	178,00
Fósforo (P) total	g kg ⁻¹	8,50	1,10	0,40
Potássio (K) total	g kg ⁻¹	37,00	19,60	2,60
Sódio (Na)	g kg ⁻¹	4,50	0,90	0,40
Cálcio (Ca)	g kg ⁻¹	31,00	9,50	13,00
Magnésio (Mg)	g kg ⁻¹	11,50	5,40	2,30
Enxofre (S)	mg kg ⁻¹	6,20	2,70	0,00
Boro (B)	mg kg ⁻¹	46,70	13,00	0,00
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	119,00	30,00	19,00
Ferro (Fe)	mg kg ⁻¹	2324,00	14,56	354,60
Manganês (Mn)	mg kg ⁻¹	691,00	232,00	1107,00
Zinco (Zn)	mg kg ⁻¹	624,00	82,00	371,00

*Análises realizadas no Laboratório de Análise de Resíduos Orgânicos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras, MG.

O preparo do solo foi realizado com uma aração e gradagem. As aplicações dos resíduos orgânicos foram feitas a lanço, nas parcelas, com posterior incorporação, seguidas da abertura dos sulcos de semeadura utilizando tração mecanizada. Antes da semeadura, as sementes da cultivar BRS Favorita RR foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se inoculante turfoso na proporção de 1.200.000 bactérias por semente. Os desbastes foram realizados 15 dias após emergência das plântulas, mantendo-se 15 plantas por metro. A semeadura foi realizada no dia 27 de novembro de 2008, em solo classificado como Cambissolo Háplico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), com os atributos físico-químicos da camada de 0-20 cm e interpretações, de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Resultados e interpretações dos atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm do solo localizado na área experimental de Itutinga, MG, 2008*

Parâmetro	Unidade	Resultados
pH em H₂O	(1:2,5)	5,4 (acidez média)
P (Mehlich 1)	mg dm ⁻³	2,0 (muito baixo)
K	mg dm ⁻³	98,0 (bom)
Ca²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,5 (médio)
Mg²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,4 (baixo)
Al³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,2 (muito baixo)
H + Al	cmol _c dm ⁻³	4,0 (médio)
Soma de bases	cmol _c dm ⁻³	2,2 (médio)
CTC efetiva (t)	cmol _c dm ⁻³	2,4 (médio)
CTC a pH 7,0 (T)	cmol _c dm ⁻³	6,2 (médio)
Saturação por bases (V)	%	35,0 (baixo)
Saturação por Al³⁺ (m)	%	9,0 (muito baixo)
MO	g kg ⁻¹	40,0 (bom)
P-rem	mg L ⁻¹	14,0
S	mg dm ⁻³	14,9 (muito bom)
Zn	mg dm ⁻³	0,5 (baixo)
Fe	mg dm ⁻³	32,6 (bom)
Mn	mg dm ⁻³	4,8 (baixo)
Cu	mg dm ⁻³	1,5 (bom)
B	mg dm ⁻³	0,4 (médio)
Areia	g kg ⁻¹	310
Silte	g kg ⁻¹	290
Argila	g kg ⁻¹	400

Análises realizadas no Laboratório de fertilidade de solos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras, MG.

As amostragens foliares para determinação de teores dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, B, Zn, Fe e Mn foram realizadas no estágio de desenvolvimento de plena floração R₂ (FEHR et al., 1971), coletando-se o quarto trifólio a partir do ápice das plantas, em 20% das plantas das fileiras úteis.

Foram avaliados, no estágio fenológico R₅ (FEHR et al., 1971), os índices de área foliar (IAF), utilizando-se o método dos discos foliares, determinando-se a área foliar a partir do produto entre massa total de folhas

secas e a massa foliar específica, obtida pela pesagem dos discos foliares de área conhecida, coletados da parte central das folhas de 5 plantas da área da parcela útil, utilizando-se um perfurador metálico (PEREIRA; MACHADO, 1987; HEIFFIG et al., 2006).

Os dados foram submetidos à análise de variância para o esquema de parcelas subdivididas, com auxílio do software Sisvar[®] (FERREIRA, 2008), utilizando-se o teste F. Quando pertinente, devido à significância dos fatores, foram realizadas análises de regressão polinomial e teste de Tukey, para comparação das médias. As superfícies de resposta, isolinhas e correlações de Pearson foram obtidas utilizando-se o pacote estatístico Statistica[®] 6.0 para ambiente Windows.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se, nos resumos da análise de variância, influencia significativa dos tratamentos nos teores foliares de todos os macronutrientes e micronutrientes catiônicos manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe) e no índice de área foliar (IAF) da cultura (Tabela 3).

Tabela 3 Resumo da análise de variância para teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe) e índice de área foliar (IAF), obtidos no experimento de fontes e doses de resíduos orgânicos e fertilizante mineral na cultura da soja. Itutinga, MG, 2009

Fontes de variação	GL	Quadrados médios											
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe	IAF
Bloco	1	2,4453	0,0161	2,5521	0,8168	0,0001	0,0211	831,9753	62,0353	53,7341	4,6138	1489,6653	17,2471
Fontes (F)	2	0,7483	0,0524*	0,1412	0,0179	0,0039	0,0102	28,4535	6,6456	2890,5356	1281,2918	551,1310	25,1252**
Erro 1	2	0,6689	0,0014	0,0824	0,1489	0,0047	0,0057	260,8992	6,9307	1718,8751	111,8504	407,5453	1,0523
Dose orgânica (D1)	3	0,7917*	0,0240**	0,0608*	0,0800	0,0102**	0,0018	85,2313	2,2152	534,6330	126,0129	404,4207	4,2545
F x D1	6	0,3909	0,0080**	0,0652**	0,0616	0,0038**	0,0030*	35,3739	2,2018	523,7498	9,3287	540,5980*	3,3668
Erro 2	9	0,1547	0,0010	0,0091	0,0322	0,0005	0,0005	41,6769	1,4748	345,9916	32,6882	145,5929	1,5627
Dose NPK (D2)	4	0,1407	0,0016 *	0,0121	0,0720**	0,0033*	0,0014*	16,6884	0,2126	69,5523*	44,1070**	199,0976**	3,5902**
F x D2	8	0,0482	0,0006	0,0094	0,0125	0,0011	0,0002	17,5955	0,6334	35,8470	15,3279	152,4459**	1,5201*
D1 x D2	12	0,0985	0,0002	0,0072	0,0151	0,0002	0,0006	15,5536	0,4360	20,6785	7,0948	34,2739	1,7616*
F x D1 x D2	24	0,0709	0,0004	0,0042	0,0113	0,0005	0,0006	11,4609	0,2931	21,7599	10,2999	88,9057*	1,5166**
Erro 3	48	0,0579	0,0005	0,0058	0,0158	0,0009	0,0005	12,3537	0,4102	25,5924	7,6916	42,3102	0,7446
CV 1 (%)		18,21	17,54	21,53	29,02	19,23	29,02	34,22	35,72	91,21	39,54	20,33	34,00
CV 2 (%)		8,76	14,84	7,15	13,48	5,99	8,84	13,68	16,48	40,92	21,38	12,15	41,44
CV 3 (%)		5,36	10,56	5,72	9,47	8,27	8,90	7,45	8,69	11,13	10,37	6,55	28,60

*Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,05$).

**Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$).

Observou-se efeito linear sobre os teores de nitrogênio nas plantas, em função das diferentes doses dos resíduos orgânicos aplicadas (Gráfico 2). Segundo Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), o nível crítico de N foliar é de 45 g kg^{-1} , obtido com a aplicação de $4,72 \text{ Mg ha}^{-1}$ dos resíduos orgânicos. Apesar da utilização do inoculante na dose recomendada de 1.200.000 bactérias por sementes, observou-se resposta da aplicação dos resíduos nos teores, elevando os níveis foliares aos patamares recomendados, demonstrando a importância do aporte de nutrientes em solos distróficos para a adequada fixação biológica do nitrogênio atmosférico (ABBASI; MANZOOR; TAHIR, 2010). Embora a maior parte do N exigido pela cultura da soja seja fornecida pela fixação simbiótica do N atmosférico, a utilização de N suplementar, por meio da cama de frango, pode aumentar a absorção e a eficiência de uso deste elemento, com consequente incremento do rendimento de grãos, sendo, inclusive, superior aos fertilizantes minerais (ADELI et al., 2005).

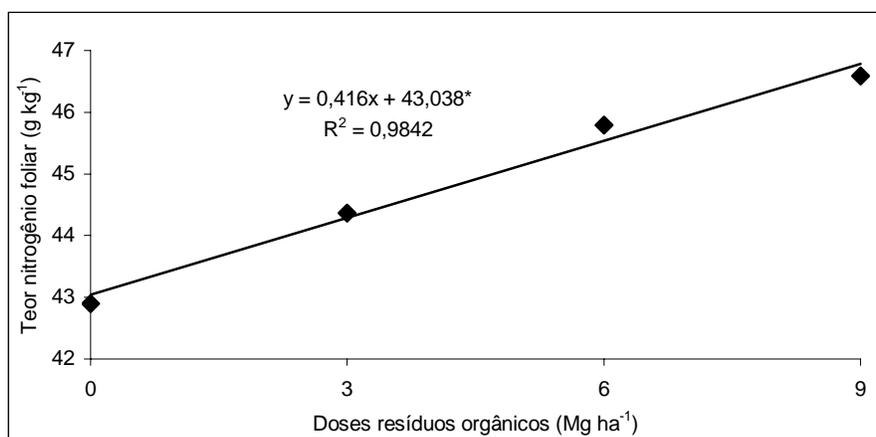


Gráfico 2 Equação de regressão para teores nitrogênio foliar (g kg^{-1}) em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG, 2009. *Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,05$)

O resíduo cama de frango destacou-se dos demais, proporcionando, em média, incrementos nos teores de fósforo nas plantas 25,0% e 31,6% maiores em relação ao esterco de curral e ao pó de carvão, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 Médias dos teores de fósforo foliar (g kg^{-1}) influenciadas pela utilização de diferentes fontes de resíduos orgânicos na soja. Itutinga, MG, 2009

Resíduos	Teores fósforo
Pó de carvão	1,9 B
Esterco de curral	2,0 B
Cama de frango	2,5 A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Verificou-se efeito interativo das fontes e doses dos resíduos orgânicos nos teores foliares de fósforo nas plantas. Desdobrando-se os efeitos das doses para cada fonte nos teores foliares de fósforo, observou-se resposta quadrática para as doses da cama de frango e linear para o pó de carvão (Gráfico 3). Para a cama de frango, o maior teor de fósforo estimado, derivando-se a equação da regressão, foi de $3,1 \text{ g kg}^{-1}$, por meio da aplicação de $10,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ do resíduo, esperando-se decréscimos nos teores quando da utilização de doses acima dessa. A utilização de 6 Mg ha^{-1} proporcionou $2,9 \text{ g kg}^{-1}$, considerados adequados para a cultura da soja (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

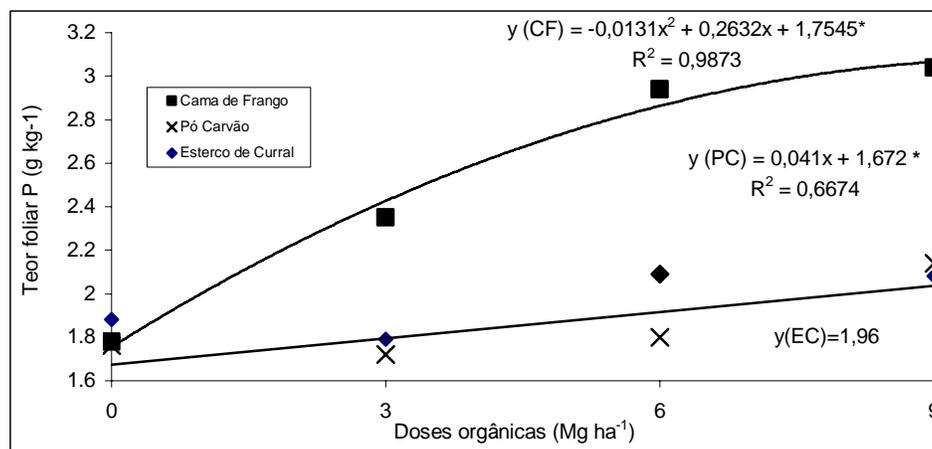


Gráfico 3 Equações de regressão para teores fósforo foliar (g kg^{-1}), em função das doses dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão. Itutinga, MG, 2009. *Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,05$)

Os teores foliares do potássio foram influenciados diferentemente pelas doses dos resíduos orgânicos (Gráfico 4). Para a cama de frango, resíduo mais rico em potássio que os demais (Tabela 1), observou-se resposta quadrática nos teores de potássio, com o maior teor estimado relacionado à utilização de 6,7 Mg do resíduo por hectare, para a obtenção de um teor foliar máximo de $14,9 \text{ g kg}^{-1}$. Esses dados são concordantes com os observados por outros autores que verificaram que a integração de fertilizantes minerais (uréia) com esterco de aves foi a melhor estratégia de fertilização do solo, agrônômica, ambiental e economicamente, visando ao aumento da absorção de N, P e K em plantas de milho (ABBASI et al., 2010). Por outro lado, Adeli et al. (2005) observaram que a utilização de cama de frango proporciona maiores incrementos na produtividade de grãos na cultura da soja, com maior eficiência de absorção e uso do N e P pelas plantas de soja. Observou-se incremento linear nos teores

utilizando-se o pó de carvão, com a maior dose apresentando valor de $13,5 \text{ g kg}^{-1}$, sendo 8,7% superior à não utilização do resíduo (dose 0).

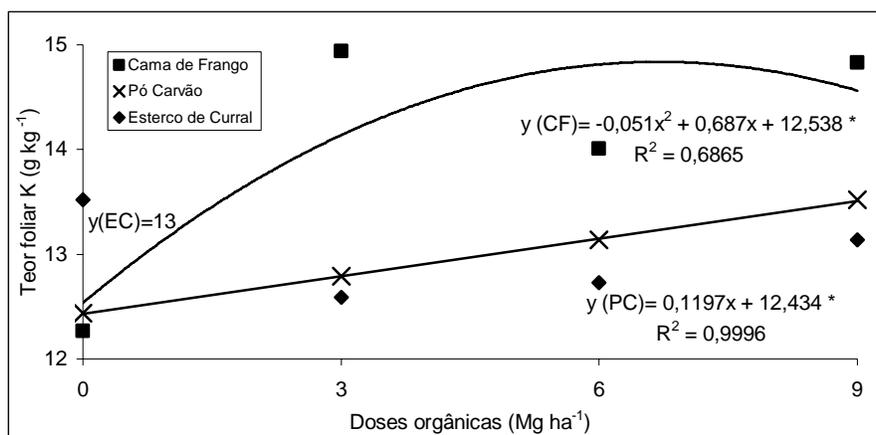


Gráfico 4 Equações de regressão para teores potássio foliar (g kg^{-1}), em função das doses dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão. Itutinga, MG, 2009. *Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,05$)

Não se obtiveram diferenças significativas nos teores foliares do potássio em função das doses de esterco de curral, diferentemente dos resultados obtidos por Yu et al. (2009), que observaram que a aplicação de esterco de curral curtido aumentou a disponibilidade do potássio no solo, com balanço positivo após as colheitas. Tais diferenças podem ser devido ao tempo de avaliação dos experimentos, visto que estes autores testaram a aplicação do resíduo durante 18 anos e em doses superiores às testadas no presente trabalho.

Observaram-se efeitos significativos das doses de todas as fontes nos teores de magnésio (Gráfico 5). Para a cama de frango, os maiores teores foram alcançados utilizando-se a dose de 9 Mg ha^{-1} , obtendo-se $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ de magnésio, valor dado como crítico segundo Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999). Entretanto, observa-se que a dose de 6 Mg ha^{-1} gerou concentração similar, justificando-se sua escolha pela economia na obtenção do resíduo, transporte e

aplicação. O pó de carvão apresentou resposta também quadrática, constando-se menores valores de magnésio foliar, de $3,3 \text{ g kg}^{-1}$, pela utilização de $3,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ do resíduo. De acordo com a equação da regressão ajustada para o esterco de curral, estima-se uma necessidade de $15,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ do mesmo para se obter o mesmo efeito da maior dose aplicada da cama de frango, de $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ de magnésio.

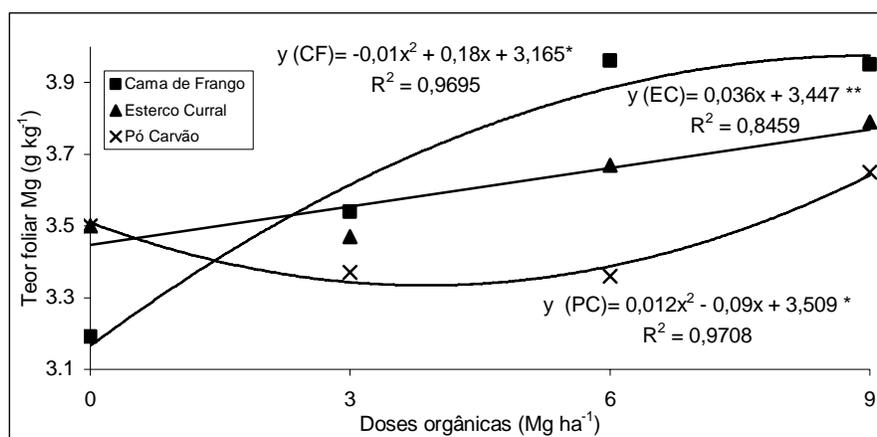


Gráfico 5 Equações de regressão para teores magnésio foliar (g kg^{-1}), em função das doses dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão, Itutinga, MG, 2009. *, ** Significativo, a 5% e a 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente

Desdobrando-se os efeitos das doses e fontes de resíduos orgânicos sobre os teores de enxofre foliar, observa-se efeito linear das doses da cama de frango com incrementos de até 28,6% quando se utilizou 9 Mg do resíduo por hectare em relação à ausência dos mesmo (Gráfico 6). Visto ser a cultura da soja altamente responsiva ao enxofre com incrementos de produtividade altamente correlacionados com aumentos dos teores foliares (VITTI et al., 2007; REZENDE et al., 2009), pode-se considerar que a utilização da cama de frango representa uma interessante fonte de enxofre para a cultura da soja.

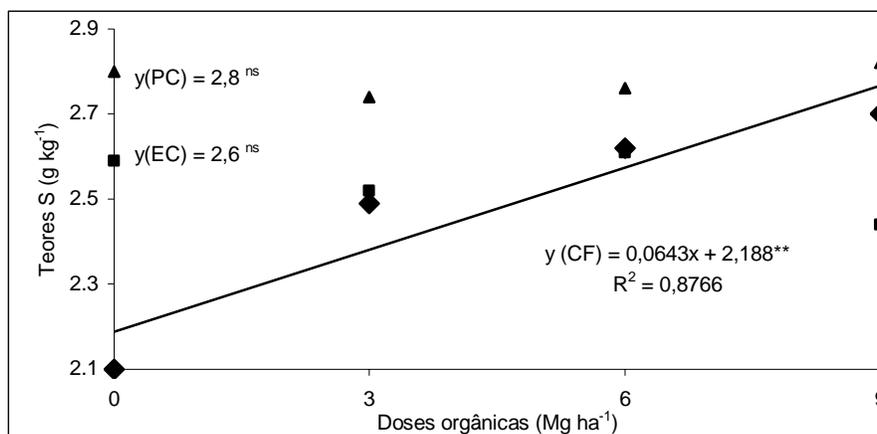


Gráfico 6 Equação de regressão para teores enxofre foliar (g kg^{-1}), em função das doses dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão, Itutinga, MG, 2009. **Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

Os teores significativamente maiores de enxofre foliar, quando da aplicação da cama de frango, em relação às outras fontes, pode advir da maior concentração do nutriente frente aos outros resíduos (Tabela 1). Na busca por aprimorar melhorias no ambiente produtivo avícola e reduzir custo de produção, as granjas utilizam aditivos para mitigar a volatilização de amônia da cama dos aviários, sendo de grande expressão de uso e eficiência o sulfato de alumínio (MEDEIROS et al., 2008), que pode ter contribuído para o aumento do elemento no resíduo e, conseqüentemente, nos teores foliares.

A aplicação do fertilizante mineral NPK influenciou significativamente os teores dos macronutrientes fósforo, cálcio, magnésio e enxofre e dos micronutrientes zinco, manganês e ferro (Tabela 3). De acordo com as equações das regressões ajustadas aos dados observados no experimento (Tabela 5), estima-se que sejam necessários pelo menos 147,3 kg do fertilizante mineral para se alcançar o valor crítico da faixa ótima para os teores foliares do fósforo,

a partir de valores médios, publicados para lavouras comerciais de soja no Brasil, por Urano et al. (2007).

Tabela 5 Equações de regressão ajustadas para níveis de fertilizante NPK sobre teores foliares de nutrientes na cultura da soja. Itutinga, MG, 2009

	Equações	R ² (%)	QM desvio	Médias	Nível crítico ¹
P	y=0,00046x + 0,202250	79,33	0,000369 ^{ns}	2,1	2,7
Ca	y=0,000289x + 1,272	69,64	0,042531 ^{ns}	13,3	8,1
Mg	y=0,000068x + 0,344417	83,26	0,000099 ^{ns}	3,6	2,4
S	y=0,000043x + 0,25125	80,67	0,000530 ^{ns}	2,6	2,0
Zn	y=0,00004x ² - 0,01897x + 28,135536	42,36	50,848943 [*]	26,75	32,35
Mn	y=0,009942x + 43,465833	85,26	19,399548 ^{ns}	45,45	36,23

Y= teores do nutriente no tecido foliar (g kg⁻¹ e mg kg⁻¹, macro e micronutrientes, respectivamente);

x = dose do fertilizante NPK; ¹ Média de Urano et al, 2007.

*, ^{ns} Significativo e não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F (p≤0,05), respectivamente.

Observou-se efeito conjunto da aplicação das fontes, doses orgânicas e do fertilizante mineral nos teores foliares do ferro (Gráfico 7). Realizando-se o desdobramento, avaliou-se a resposta das diferentes combinações de doses para cada resíduo orgânico por meio da metodologia de superfícies de resposta (CUSTÓDIO; MORAIS; MUNIZ, 2000). Observa-se que os maiores teores são obtidos com doses de ambos os fertilizantes nos seus maiores níveis. Para cama de frango e esterco de curral, a utilização de 3,5 Mg ha⁻¹ dos resíduos combinados com 200 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral proporcionam resposta de 102,1 e 96,2 mg kg⁻¹ de ferro foliar como valores preditos nos pontos estacionários das superfícies. Entretanto, para o pó de carvão, são necessários 5,5 Mg combinados com 200 kg ha⁻¹ dos insumos para a obtenção de 94,4 mg kg⁻¹ de ferro foliar.

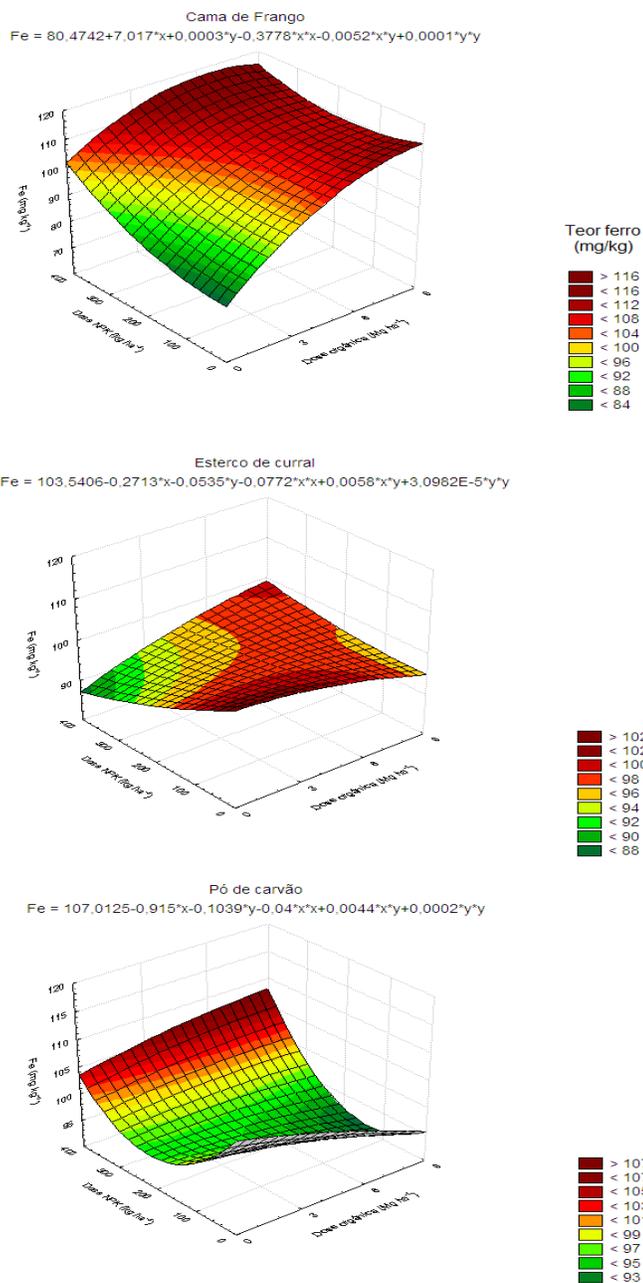


Gráfico 7 Superfícies resposta para efeitos das doses dos resíduos orgânicos e fertilizante mineral cama de frango, pó de carvão e esterco de curral nos teores de ferro foliar. Itutinga, MG, 2009

Os teores foliares de ferro mostraram-se significativamente influenciados pelo aumento das doses de resíduos e NPK utilizadas e suas combinações, com possível efeito sobre a produtividade de grãos (Gráfico 9). Esses resultados corroboram os observados por outros autores avaliando efeitos de fertilizantes orgânicos e minerais na soja. Dadhich e Somani (2007) avaliaram diferentes níveis de fertilizantes minerais (fósforo), esterco de curral e biofertilizantes na absorção de nutrientes pela cultura da soja e seu efeito residual no trigo semeado em sucessão e observaram aumento de absorção de Zn, Cu, Mn e Fe nas culturas avaliadas, com influência positiva sobre a produtividade de grãos das mesmas.

Observou-se efeito triplo dos fatores avaliados sobre o índice de área foliar da cultura. As fontes diferiram entre si nos patamares de IAF observados (Gráfico 8). O resíduo pó de carvão apresentou IAF significativamente menores que os demais resíduos, com patamares máximos menores que 3, enquanto os outros resíduos geraram IAF maiores que 4, em suas melhores associações. A diferença entre o pó de carvão e os demais, nos maiores níveis, foi de cerca de 25% de redução da área foliar, o que pode representar alto impacto sobre a produtividade de grãos da cultura, como observado por Barros (2002), avaliando três níveis de desfolha (33%, 66% e 100%), em três épocas reprodutivas (R4, R5 e R6) na região central do Brasil. Este autor constatou que as menores produtividades de grãos, quando da desfolha de 33%, ocorreram no estágio reprodutivo R5, com perda média de 8,06% em relação ao tratamento testemunha, sem desfolha.

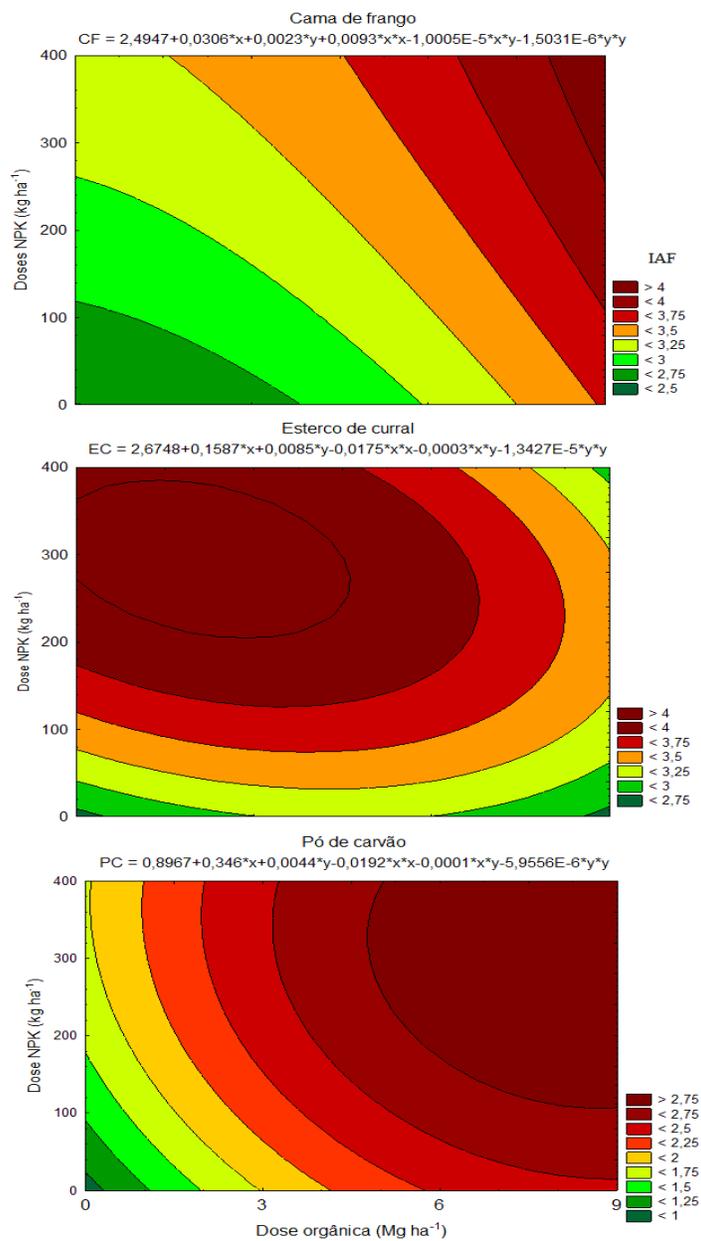


Gráfico 8 Isolinhas para efeitos das doses dos resíduos orgânicos cama de frango, pó de carvão e esterco de curral e fertilizante mineral nos índices de área foliar. Itutinga, MG, 2009

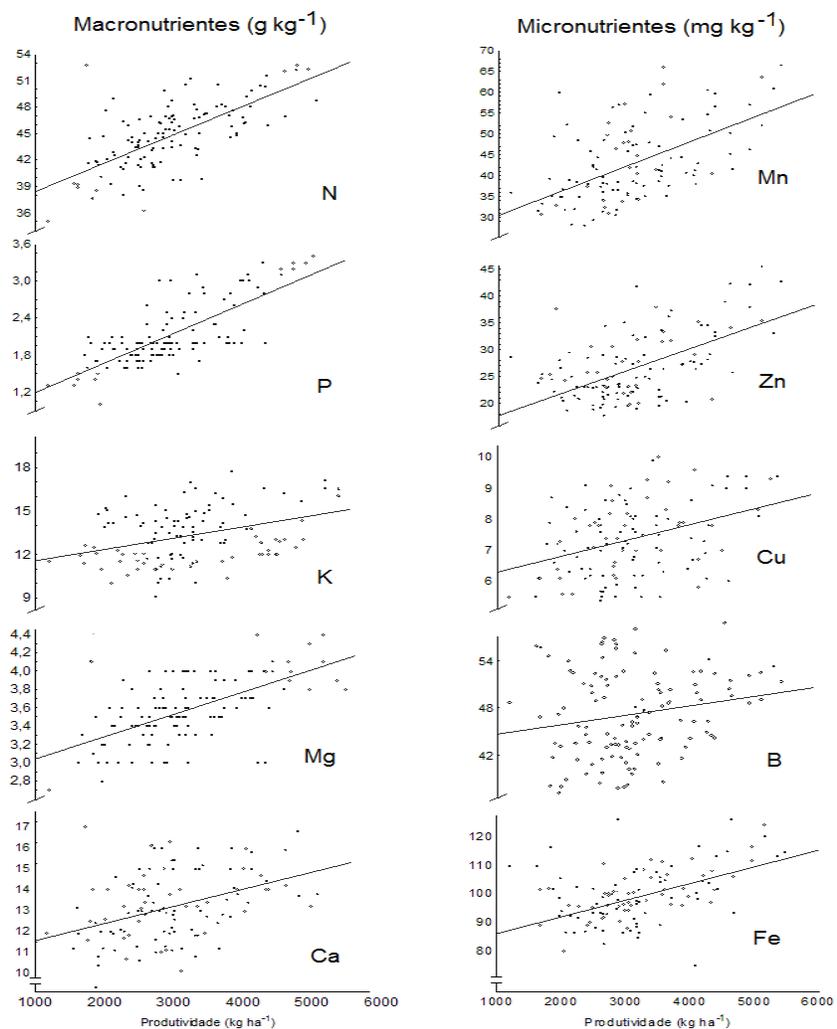
No presente trabalho, a maior redução de área foliar observada foi de, aproximadamente, 75% entre os tratamentos de maior e menor IAF, isto é, entre os valores observados para a cama de frango em seus maiores níveis e do pó de carvão com os menores aportes de insumos (Gráfico 8). Segundo Pelúzio et al. (2004), as maiores perdas na produtividade ocorrem no desfolhamento durante as fases reprodutivas da soja, com decréscimos de aproximadamente 34,4% e 79,8% quando há desfolha de 66% e 100% da planta, no estágio R4, respectivamente. Os maiores índices ocorreram em função da combinação entre as maiores doses dos resíduos e fertilizante mineral, exceto no caso do esterco de curral, que apresentou os maiores IAF, acima de 4, quando foram utilizados os maiores níveis de fertilizante mineral NPK, associado a até 4,5 Mg do resíduo.

O aumento da área foliar, fonte de fotoassimilados que possui estreita relação alostérica com a produção de grãos, representa interessante estratégia para o incremento de produtividade da cultura da soja, quando outros recursos se encontram disponíveis ao sistema produtivo (SHARMA; KAUR; THIND, 2006). Visando à economia do fertilizante mineral por meio da substituição do insumo por resíduos orgânicos, buscando maximizar a resposta da cultura na produção do seu aparato fotossintetizante, é possível afirmar que se podem utilizar doses menores que a recomendada associando-se 9, 6 e 3 Mg da cama de frango, esterco de curral e pó de carvão, respectivamente, com 250, 200 e 190 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral para a obtenção dos maiores IAF observados (Gráfico 8).

O incremento da área foliar da cultura devido ao uso da cama de frango em seus maiores níveis pode explicar os comportamentos decrescentes (resposta quadrática) dos teores dos macronutrientes P, K e Mg observados após utilização de doses maiores desse resíduo, em um possível efeito de diluição dos elementos, em função do aumento da síntese e expansão dos tecidos foliares (Gráficos 3, 4 e 5).

Os nutrientes correlacionaram-se positivamente com a produtividade de grãos, exceto o enxofre, que apresentou não significância ($p=0,9058$), possivelmente devido aos adequados teores do elemento no solo antes da implantação do experimento, tendo seu incremento devido ao uso da cama de frango sido considerado como um consumo de luxo. No Gráfico 9 observa-se que os nutrientes apresentaram diferentes magnitudes de correlação com a produtividade, sendo os mais próximos de 1 mais fortemente correlacionados ($P>N>Mg>Zn>Fe>Mn>Ca>K>Cu>B$). Os teores de fósforo e nitrogênio foram os únicos a apresentarem coeficientes de correlação acima de 70%, demonstrando que tais nutrientes foram os que mais contribuíram para o incremento da produtividade.

Conforme salientado, os teores de nitrogênio responderam linearmente ao incremento dos resíduos orgânicos (Gráfico 2), o que permite inferir sobre o possível efeito aditivo das doses dos resíduos orgânicos na produtividade, mediante utilização dos insumos, desconsiderando-se outros possíveis fatores limitantes. Similarmente, verificou-se efeito significativo do incremento das doses dos resíduos, principalmente a cama de frango, nos teores foliares de fósforo, potássio e magnésio nas plantas de soja (Gráficos 3, 4 e 5), que apresentaram correlação positiva com a produtividade (Gráfico 9). Os teores foliares de enxofre foram significativamente influenciados pelo incremento das doses de resíduos (Gráfico 6) e fertilizante mineral NPK aplicadas (Tabela 5). Entretanto, não se observou correlação significativa entre o elemento e a produtividade de grãos, o que difere de resultados constatados por Rezende et al. (2009), possivelmente pelos menores níveis do elemento averiguados no solo na implantação do experimento e pela deficiência nutricional constatada nas plantas pelos autores, proporcionando maior responsividade ao enxofre.



Nutriente	Equação	Coefficiente de correlação (r)	P
N	$y = 35,4608 + 0,0029 \cdot x$	0,7111	0,0000
P	$y = 0,7609 + 0,0004 \cdot x$	0,7617	0,0000
K	$y = 10,7559 + 0,0008 \cdot x$	0,3836	0,00002
Mg	$y = 2,7948 + 0,0002 \cdot x$	0,6212	0,0000
Ca	$y = 10,8163 + 0,0007 \cdot x$	0,4109	0,00000
S	$y = 2,61$	0,9058	0,00000
B	$y = 43,4725 + 0,0012 \cdot x$	0,1934	0,0343
Mn	$y = 24,698 + 0,0058 \cdot x$	0,5685	0,0000
Zn	$y = 13,621 + 0,0041 \cdot x$	0,6093	0,0000
Cu	$y = 5,8019 + 0,0005 \cdot x$	0,3810	0,00002
Fe	$y = 80,2011 + 0,0058 \cdot x$	0,5883	0,0000

Gráfico 9 Correlações lineares de Pearson entre teores foliares de nutrientes e produtividade de grãos obtidos no experimento de resíduos orgânicos e fertilizante mineral. Itutinga, MG, 2009

A associação entre resíduos orgânicos e fertilizantes minerais na cultura da soja demonstra ser uma alternativa interessante para a agricultura tropical, devido aos altos volumes de biomassa produzidos, proporcionando adequado suprimento da demanda nutricional das plantas, principalmente quando aplicados em doses adequadas e intervalos regulares de tempo, fornecendo quantidades satisfatórias de nutrientes às plantas, com reflexo direto e positivo sobre a produtividade de grãos e a sustentabilidade dos agroecossistemas (CHATURVEDI; CHANDEL, 2005; JING; ANDO; JIANRONG, 2008; N'DAYEGAMIYE, 2009; RAMESH et al., 2009; BHATTACHARYYA et al., 2010).

4 CONCLUSÕES

A utilização de resíduos orgânicos apresenta-se como interessante estratégia visando à melhoria do estado nutricional da cultura da soja, principalmente pelo aumento dos teores foliares dos nutrientes N, P, K, Mg, S e Fe.

A utilização de resíduos ricos em nutrientes, como a cama de frango, proporciona melhorias mais significativas no estado nutricional de plantas de soja que as observadas por resíduos mais pobres nutricionalmente.

Os resíduos orgânicos cama de frango e esterco de curral incrementam o IAF da cultura de forma superior ao resíduo pó de carvão, representando interessante estratégia de manejo visando ao aumento da cobertura vegetal.

Com exceção do enxofre, todos os nutrientes correlacionam-se positivamente com a produtividade de grãos, especialmente os macronutrientes nitrogênio e fósforo.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, M. K.; MANZOOR, M.; TAHIR, M. M. Efficiency of rhizobium inoculation and P fertilization in enhancing nodulation, seed yield, and phosphorus use efficiency by field grown soybean under hilly region of Rawalakot Azad Jammu and Kashmir, Pakistan PB. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 33, n. 7, p. 1080-1102, Jan. 2010.
- ABBASI, M. K. et al. Comparative effectiveness of urea N, poultry manure and their combination in changing soil properties and maize productivity under rainfed conditions in northeast Pakistan. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 211-230, Mar. 2010.
- ADELI, A. et al. Effects of broiler litter on soybean production and soil nitrogen and phosphorus concentrations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 1, p. 314-321, Jan./Feb. 2005.
- AZEEZ, J. O.; AVERBEKE, W. V. Fate of manure phosphorus in a weathered sandy clay loam soil amended with three animal manures. **Bioresource Technology**, London, v. 101, n. 16, p. 6584-6588, Aug. 2010.
- BARROS, H. B. Desfolha na produção de soja (*Glycine max* 'M-SOY 109'), cultivada no cerrado, em Gurupi-To, Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 18, n. 2, p. 5-10, dez. 2002.
- BHATTACHARYYA, R. et al. Fertilization effects on yield sustainability and soil properties under irrigated wheat-soybean rotation of an Indian Himalayan upper valley. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v. 86, n. 2, p. 255-268, Jan. 2010.
- CHATURVEDI, S.; CHANDEL, A. S. Influence of organic and inorganic fertilization on soil fertility and productivity of soybean (*Glycine max*). **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 50, n. 4, p. 311-313, Mar. 2005.
- CUSTÓDIO, T. N.; MORAIS, A. R.; MUNIZ, J. A. Superfície de resposta em experimento com parcelas subdivididas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 1008-1023, out./dez. 2000.

DADHICH, S. K.; SOMANI, L. L. Effect of integrated nutrient management in a soybean-wheat crop sequence on the yield, micronutrient uptake and post-harvest availability of micronutrients on typic ustochrepts soil. **Acta Agronomica Hungarica**, Budapeste, v. 55, n. 2, p. 205-216, June 2007.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 30, n. 2, p. 401-422, Apr./June 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FEHR, W. R. et al. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, Jan. 1971.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, jul./dez. 2008.

GALVÃO, S. R. D. S.; SALCEDO, I. H. Soil phosphorus fractions in sandy soils amended with cattle manure for long periods. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 613-622, mar./jun. 2009.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 285-295, abr./jun. 2006.

JING, Y.; ANDO, H.; JIANRONG, F. Effects of some new organic manures on yield, quality and N use efficiency of green soybean. **Journal of Zhejiang University**, Hangzhou, v. 34, n. 3, p. 289-295, May 2008.

MEDEIROS, R. et al. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da umidade na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2321-2326, nov. 2008.

N'DAYEGAMIYE, A. Soil properties and crop yields in response to mixed paper mill sludges, dairy cattle manure, and inorganic fertilizer application. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, n. 4, p. 826-835, Nov. 2009.

PELUZIO, J. M. et al. Efeitos sobre o soja do desfolhamento em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 51, n. 297, p. 575-585, set./out. 2004.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. (Boletim n.114).

RAMESH, P. et al. Production potential, nutrient uptake, soil fertility and economics of soybean (*Glycine max*) - based cropping systems under organic, chemical and integrated nutrient management practices. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 54, n. 3, p. 278-283, Sept. 2009.

REZENDE, P. M. et al. Enxofre aplicado via foliar na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1255-1259, set./out. 2009.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RUSSELLE, M. P.; ENTZ, M. H.; FRANZLUEBBERS, A. J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in north America. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 325-334, Mar./Apr. 2007.

SHARMA, K.; KAUR, H.; THIND, S. K. Kinetin and Triacantanol effects on leaf characteristics, nitrate reductase activity, nodulation and yield in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] under reduced light intensity. **Environment and Ecology**, New Delhi, v. 24, n. 2, p. 426-429, June 2006.

URANO, E. O. M. et al. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 63-72, jun. 2007.

VITTI, G. C. et al. Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 225-229, fev. 2007.

YU, W. et al. Effects of nutrient cycling on grain yields and potassium balance. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v. 84, n. 3, p. 203-213, July 2009.

ARTIGO 3: Eficiência agronômica do pó de carvão, esterco de curral e cama de frango e atributos químicos de cambissolo háplico cultivado com soja

RESUMO

Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar a eficiência agronômica e os efeitos residuais da utilização dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão em diversos atributos químicos de um Cambissolo Háplico cultivado convencionalmente com a cultura da soja. Realizou-se um experimento de campo em esquema de parcelas subdivididas, em delineamento de blocos casualizados com três repetições, avaliando-se as fontes (parcelas) nas doses de 0, 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹ (subparcelas), no ano de 2008, em Itutinga, MG. A utilização da cama de frango apresentou maior eficiência agronômica em comparação ao esterco de curral e ao pó de carvão. O pó de carvão apresentou maiores teores residuais de cálcio e magnésio, com conseqüente incremento na soma das bases (SB), pH, CTC efetiva (t) do solo e saturação de bases (V), sendo o valor desta última 28% e 17% superior aos apresentados pela cama de frango e esterco de curral, respectivamente. Por sua vez, a cama de frango proporcionou aumentos significativos nos teores residuais de potássio, enxofre e zinco disponíveis no solo. A eficiência agronômica dos resíduos variou positiva e linearmente com o aumento das doses desses. As doses 6 e 9 Mg ha⁻¹ dos resíduos aumentaram os teores residuais de zinco e potássio no solo em 35,7% e 33,9%, respectivamente. A utilização do resíduo cama de frango em solos de baixa fertilidade natural apresenta eficiência agronômica em relação à utilização do fertilizante mineral, entretanto, deve-se observar correta utilização, a fim de evitar a depleção de bases (cálcio e magnésio) no solo, devido ao incremento de produtividade.

Palavras-chave: *Glycine max*. Sustentabilidade. Resíduos orgânicos. Manejo integrado adubação. Índice de eficiência agronômica

Organic amendments: biochar, farmyard manure and poultry litter on chemical properties of a tropical dystrophic cambisol under a soybean crop

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects of the use of organic wastes: poultry litter, farmyard manure and biochar on several chemical attributes of a Cambisol under conventional tillage of soybean crop. A field experiment was carried out in split-plot scheme in randomized complete block design with three replications, in order to evaluate 3 sources of organic waste (plot) at rates of 0, 3, 6 and 9 Mg ha⁻¹ in Itutinga, MG, 2008. The results showed that several important characteristics were influenced by the sources of organic wastes. The use of poultry litter provided higher agronomic efficiency index compared to farmyard manure and biochar. The biochar increased the levels of calcium and magnesium, with a consequent increase in the sum of bases (SB), base saturation (V), pH and effective CEC at pH 7 (t) of the soil, despite its low agronomic efficiency index. The values of the SB provided by the biochar were, 28 and 17% higher in face those provided by poultry litter and farmyard manure, respectively. In turn, the poultry litter significantly increased the levels of potassium, sulfur and zinc availability in the soil. In general, the doses 6 and 9 Mg ha⁻¹ of waste increased the levels of zinc and potassium in the soil at 35.7 and 33.9%, respectively. Poultry litter provides increases in the levels of potassium in the soil; however attention must be paid in order to avoid the excessive increase in the soil acidity and salinity.

Keywords: *Glycine max.* Sustainability. Organic wastes. Integrated fertilization management. Agronomic efficiency index.

1 INTRODUÇÃO

A baixa fertilidade dos solos agrícolas é um dos principais fatores limitantes à produção e a altas produtividades da cultura da soja no Brasil e de outros países tropicais (PIMENTEL, 2009). Visando contornar tal situação, faz-se mister a utilização de fertilizantes e corretivos para o aumento e a manutenção da fertilidade dos solos.

O consumo de fertilizantes no Brasil está concentrado em algumas culturas, sendo a cultura da soja responsável por mais de um terço da demanda nacional desses insumos (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO ADUBOS - ANDA, 2010). A importação de adubos químicos representa significativa parcela do déficit na balança comercial de produtos químicos no Brasil. Tal dependência externa torna-se mais preocupante em cenários como o manifestado durante a chamada crise dos fertilizantes de 2007/2008, quando se observou aumento superior a 200% no preço de alguns nutrientes, tal como o potássio, além da alta e persistente volatilidade nas cotações mundiais das commodities agrícolas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2008; PIMENTEL, 2009).

Nesse sentido, a utilização de resíduos orgânicos como insumos alternativos tem se mostrado interessante estratégia para a agricultura brasileira, devido aos altos volumes produzidos e disponíveis, oriundos do rebanho de aves e bovinos, subprodutos industriais, dentre outros (ANUÁRIO PECUÁRIO BRASILEIRO - AGROPEC, 2010).

Muitos autores, em experimentos de longo prazo, têm demonstrado que a combinação de fontes orgânicas e inorgânicas de nutrientes leva à maior disponibilidade e sincronização sinérgica na liberação de nutrientes, tendo como consequência mais adequada absorção pelas plantas (LINQUIST; PHENGSOUVANNA; SENGXUE, 2007; SAINJU, 2010).

Um manejo apropriado da fertilidade do solo tem reflexo positivo direto na produtividade das lavouras. Bhattacharyya et al. (2008) observaram que as produtividades anuais de um sistema de rotação soja-trigo diminuíram utilizando apenas fertilizantes minerais, ao passo que, com os tratamentos N + esterco bovino e NPK + esterco bovino, observaram-se incrementos significativos para as culturas. Dados mais recentes revelaram que o índice de produtividade sustentável e a eficiência agrônômica de fertilizantes são maiores quando da utilização de fertilizantes minerais NPK ou N em conjunto com esterco bovino (BHATTACHARYYA et al., 2010).

A utilização de resíduos orgânicos na agricultura também tem caráter benéfico ao meio ambiente, pois reduz as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera ao incrementar a matéria orgânica do solo nos agroecossistemas, ao alterar o destino final e retirar os resíduos das áreas de deposição usuais (WAGNER-RIDDLE et al., 2006; PAGLIARI et al., 2010), por aumentar a capacidade de fixação de carbono no sistema solo-planta (TRIBERTI et al., 2008), melhorando a eficiência da produção (YAN; GONG, 2010), além de diminuir as emissões oriundas do transporte de fertilizantes e de tratamento dos resíduos (SILVA et al., 2010).

Apesar do menor aporte de nutrientes por volume e área aplicada, os resíduos orgânicos, como o esterco bovino e a cama de frango, podem ser até mesmo superiores aos fertilizantes minerais, ao melhorarem os atributos biológicos, físicos e químicos do solo (BULLUCK et al., 2002; BHATTACHARYYA et al., 2010). Avaliando a adsorção de fósforo em solos, Souza et al. (2006), utilizando esterco bovino e calcário, observaram que a adição desses materiais reduziu a capacidade máxima de adsorção de P, tornando-o mais disponível para as plantas.

Os resíduos orgânicos têm a capacidade de restaurar solos degradados por meio do aumento da matéria orgânica no solo e da consequente melhoria das

mais diversas propriedades edáficas (KOWALJOW et al., 2010). Os mesmos autores, comparando o efeito residual de fertilizantes orgânicos e inorgânicos em áreas semiáridas manejadas por queimadas, observaram que os fertilizantes inorgânicos comportaram-se sinergicamente com os orgânicos, aumentando e melhorando a revegetação e cobertura vegetal.

Deve-se observar que, geralmente, os efeitos benéficos advindos da utilização de fontes orgânicas são lentos e mais visíveis a longo prazo, sendo necessária a utilização conjunta de outras práticas culturais conservacionistas, visando à construção consistente e manutenção da fertilidade do agroecossistema (LAL et al., 2007). A utilização prolongada de resíduos orgânicos proporciona um balanço mais equilibrado de fornecimento de nutrientes a longo prazo, visto que somente uma pequena fração do nitrogênio e outros nutrientes tornam-se disponíveis, para as plantas imediatamente após a aplicação (TITTARELLI et al., 2007).

Nesse contexto, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar a eficiência agrônômica e o efeito residual da utilização dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral curtido e pó de carvão em diversos atributos químicos de um Cambissolo Háplico distrófico após cultivo com soja em um sistema convencional de preparo do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Milanez, em Itutinga, MG, localizada nas coordenadas 21°23' latitude S, 44°39' longitude O e altitude média de 958 m. A região apresenta inverno seco e verão chuvoso, com as maiores precipitações em dezembro e janeiro, quando a média mensal chega a 254 e 321 mm, respectivamente; a precipitação média anual é de 1.460 mm. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima é do tipo Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) e subtropical de inverno seco, com temperaturas médias de 20,7°C, tendo uma variação de 17,1°C, em julho a 22,8°C, em fevereiro (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). As precipitações e temperaturas médias, diárias, observadas na região durante o experimento, são apresentadas no Gráfico 1.

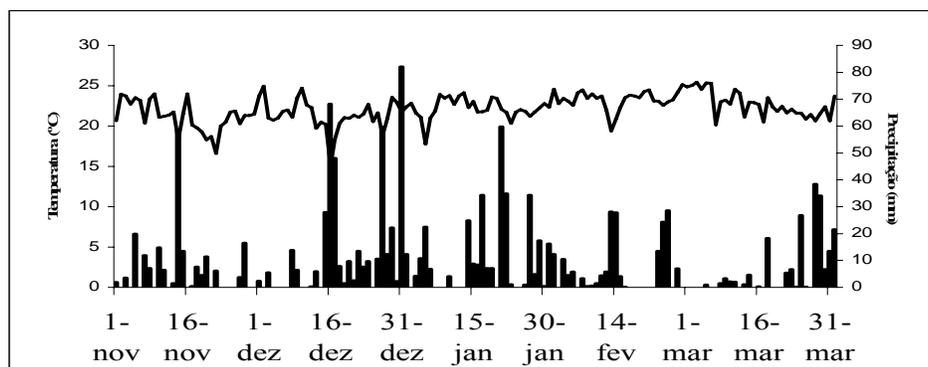


Gráfico 1 Temperaturas médias (°C) e precipitações pluviométricas (mm) entre novembro de 2008 e abril de 2009. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos completamente casualizados, com três repetições em esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos aplicados às parcelas foram as fontes dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC). Nas subparcelas,

foram utilizadas as doses dos resíduos orgânicos 0; 3; 6 e 9 Mg ha⁻¹, aplicados em área total no dia anterior à semeadura e incorporados. As subparcelas foram constituídas de 4 linhas de 5 m de comprimento espaçadas em 0,5 m, sendo as duas externas bordaduras e as duas centrais as linhas úteis. Para coleta das amostras, desconsideraram-se 0,5 m de cada extremidade das linhas úteis, a título de bordadura.

A composição físico-química dos resíduos é apresentada na Tabela 1. O resíduo cama de frango é constituído de uma mistura de substratos (conhecida como “cama”) que, nesse caso, foi composta por palha de arroz, fezes, penas e restos de ração. O esterco de curral utilizado foi produzido na propriedade, oriundo de gado leiteiro semiconfinado, curtido e seco. O pó de carvão, resíduo industrial, subproduto da siderurgia férrea, foi obtido em siderúrgica de ferro gusa da região, originado de carvão vegetal oriundo da combustão parcial de lenha de eucalipto plantado para tal.

Tabela 1 Análises físico-químicas dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC) utilizados. Itutinga, MG, 2008

Parâmetros	Unidades	Resultados		
		CF	EC	PC
pH em água	-	7,40	7,60	7,30
Condutividade elétrica (CE)	dS m ⁻¹	26,40	19,00	2,90
Capacidade de retenção de água	ml g ⁻¹	2,10	1,80	0,80
Densidade aparente	g cm ⁻³	0,40	0,40	0,80
Carbono total	g kg ⁻¹	411,00	285,00	191,00
Matéria orgânica (MO)	g kg ⁻¹	820,00	570,00	380,00
Nitrogênio (N) Total	g kg ⁻¹	44,00	24,00	5,00
N-amônio	mg kg ⁻¹	362,00	70,00	26,00
N-nitrato	mg kg ⁻¹	82,00	624,00	178,00
Fósforo (P) total	g kg ⁻¹	8,50	1,10	0,40
Potássio (K) total	g kg ⁻¹	37,00	19,60	2,60
Sódio (Na)	g kg ⁻¹	4,50	0,90	0,40
Cálcio (Ca)	g kg ⁻¹	31,00	9,50	13,00
Magnésio (Mg)	g kg ⁻¹	11,50	5,40	2,30

Tabela 1 “Conclusão.”

Parâmetros	Unidades	Resultados		
		CF	EC	PC
Enxofre (S)	mg kg ⁻¹	6,20	2,70	0,00
Boro (B)	mg kg ⁻¹	46,70	13,00	0,00
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	119,00	30,00	19,00
Ferro (Fe)	mg kg ⁻¹	2324,00	14,56	354,60
Manganês (Mn)	mg kg ⁻¹	691,00	232,00	1107,00
Zinco (Zn)	mg kg ⁻¹	624,00	82,00	371,00

* Análises realizadas no Laboratório de Análise de Resíduos Orgânicos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras, MG.

O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração e gradagem. As aplicações dos resíduos orgânicos foram feitas a lanço, nas parcelas, com posterior incorporação, seguidas da abertura dos sulcos de semeadura utilizando tração mecanizada. Antes da semeadura, as sementes da cultivar BRS Favorita RR foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se inoculante turfoso na proporção de 1.200.000 bactérias por semente. Os desbastes foram realizados 15 dias após emergência das plântulas, mantendo-se 15 plantas por metro. A semeadura foi realizada no dia 27 de novembro de 2008, em solo classificado como Cambissolo Háplico distrófico (EMPRESA BRASILEIRA PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), com os atributos físico-químicos da camada de 0-20 cm e interpretações, de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Resultados e interpretações dos atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm do solo localizado na área experimental de Itutinga, MG, 2008*

Parâmetro	Unidade	Resultados
pH em H ₂ O	(1:2,5)	5,4 (acidez média)
P (Mehlich 1)	mg dm ⁻³	2,0 (muito baixo)
K	mg dm ⁻³	98,0 (bom)
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,5 (médio)
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,4 (baixo)
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,2 (muito baixo)
H + Al	cmol _c dm ⁻³	4,0 (médio)

Tabela 2 “Conclusão”.

Parâmetro	Unidade	Resultados
Soma de bases	cmol _c dm ⁻³	2,2 (médio)
CTC efetiva (t)	cmol _c dm ⁻³	2,4 (médio)
CTC a pH 7,0 (T)	cmol _c dm ⁻³	6,2 (médio)
Saturação por bases (V)	%	35,0 (baixo)
Saturação por Al³⁺ (m)	%	9,0 (muito baixo)
MO	g kg ⁻¹	40,0 (bom)
P-rem	mg L ⁻¹	14,0
S	mg dm ⁻³	14,9 (muito bom)
Zn	mg dm ⁻³	0,5 (baixo)
Fe	mg dm ⁻³	32,6 (bom)
Mn	mg dm ⁻³	4,8 (baixo)
Cu	mg dm ⁻³	1,5 (bom)
B	mg dm ⁻³	0,4 (médio)
Areia	g kg ⁻¹	310
Silte	g kg ⁻¹	290
Argila	g kg ⁻¹	400

Análises realizadas no Laboratório de fertilidade de solos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras, MG.

Após a colheita, foram realizadas amostragens de solo nas subparcelas, no intuito de verificar a influência dos resíduos orgânicos nos teores de nutrientes do solo (profundidade 0,00 - 0,20 m), sendo analisados os seguintes atributos químicos do solo: P (Mehlich 1), K (Mehlich 1), Ca²⁺ (KCl - 1 mol L⁻¹), Mg²⁺ (KCl - 1 mol L⁻¹), S (Fosfato Monocálcico em ácido acético), Zn (Mehlich 1), Fe (Mehlich 1), Mn (Mehlich 1), Cu (Mehlich 1), B (Água quente), Al³⁺ (KCl - 1 mol L⁻¹), H + Al (H pelo SMP), P-rem, SB, t, T, m, V, MO (Na₂Cr₂O₇ 4N+H₂SO₄ 10N) e pH em água.

Visando identificar e avaliarem-se práticas de manejo mais sustentáveis, calculou-se o índice de eficiência agrônômica (IEA) dos tratamentos, por meio da fórmula: IEA = (PTi-PTo)/(PTp-PTo)*100, em que PTi é a produtividade observada do tratamento, PTo a produtividade da testemunha sem uso de resíduos, PTp a produtividade referência em que se aplicaram 400 kg ha⁻¹ de

fertilizante mineral, segundo recomendação de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999).

Os dados foram submetidos à análise de variância com auxílio do software Sisvar[®] (Ferreira, 2008), utilizando-se o teste F. Quando pertinente, devido à significância dos fatores, foram realizadas análises de regressão polinomial e teste de Scott Knott para comparação das médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme se pode observar pelo resumo das análises de variância (Anexo A), os tratamentos afetaram todas as variáveis avaliadas, exceto os teores de matéria orgânica (MO), boro (B), manganês (Mn), cobre (Cu), ferro (Fe) e da capacidade potencial de troca catiônica no pH 7 (T). Observa-se que os efeitos foram devido, principalmente, às fontes dos resíduos orgânicos utilizadas (Anexo A e Tabela 3).

Tabela 3 Eficiência agrônômica e resultados médios das análises químicas dos solos (profundidade 0 a 0,2 m) obtidos no experimento de fontes e doses de resíduos orgânicos e fertilizante mineral na cultura da soja. Itutinga, MG, 2009

Atributos	Resíduos orgânicos			Médias
	Cama de frango	Esterco de curral	Pó de carvão	
Eficiência agrônômica	148,42 A	51,04 B	15,04 B	71,49
pH em água	5,53 B	5,58 B	5,68 A	5,59
P (mg dm⁻³)	2,13 A	1,67 A	1,74 A	1,85
K (mg dm⁻³)	105,44 A	78,17 B	67,25 B	83,62
Ca²⁺ (cmol_c dm⁻³)	1,29 B	1,52 B	1,83 A	1,55
Mg²⁺ (cmol_c dm⁻³)	0,35 B	0,38 B	0,44 A	0,39
Al³⁺ (cmol_c dm⁻³)	0,15 A	0,10 B	0,09 B	0,11
H +Al (cmol_c dm⁻³)	3,86 A	3,68 A	3,30 B	3,61
Soma de Bases (cmol_c dm⁻³)	1,93 B	2,10 B	2,47 A	2,16
CTC efetiva (t) (cmol_c dm⁻³)	2,08 B	2,20 B	2,56 A	2,28
CTC a pH 7(T) (cmol_c dm⁻³)	5,78 A	5,78 A	5,77 A	5,78
Saturação por Al (%)	7,75 A	4,67 B	4,00 B	5,47
Saturação por bases (%)	33,40 B	36,32 B	42,65 A	37,46
M.O. (g kg⁻¹)	27,3 A	28,2 A	26,7 A	27,3
P-rem (mg L⁻¹)	16,53 A	16,46 A	16,73 A	16,58
S (mg dm⁻³)	12,59 A	9,14 B	8,18 B	9,97
Zn (mg dm⁻³)	1,54 A	1,08 B	1,16 B	1,26
Fe (mg dm⁻³)	31,57 A	31,96 A	34,56 A	32,69
Mn (mg dm⁻³)	6,54 A	5,81 A	7,16 A	6,41
Cu (mg dm⁻³)	1,53 A	1,47 A	1,44 A	1,47
B (mg dm⁻³)	0,28 A	0,19 A	0,18 A	0,20

Médias seguidas pela mesma letra, nas linhas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de agrupamento Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Verifica-se, por meio das amostras de solo realizadas, que a adição da cama de frango apresentou maior eficiência agronômica em comparação ao esterco de curral e ao pó de carvão (Tabela 3), proporcionando, inclusive, incremento residual de $7,44 \text{ mg dm}^{-3}$ nos teores do potássio, em comparação ao valor obtido originalmente no solo ($98,0 \text{ mg dm}^{-3}$). O incremento residual do elemento no solo pela adição da cama de frango pode estar relacionado às concentrações do nutriente 1,9 e 14,2 vezes superiores em relação ao esterco de curral e pó de carvão, respectivamente (Tabela 1). Esse fato demonstra o alto potencial da utilização de cama de frango como fonte potássica alternativa de baixo custo, visto que, apenas em 2009, o Brasil despendeu cerca de US\$ 2 bilhões com a importação de cloreto de potássio, principal fonte de potássio dos fertilizantes minerais (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA, 2010). Considerando-se o aumento da escassez mundial desse nutriente com consequente elevação dos preços dos formulados NPK, torna-se necessário intensificar pesquisas no âmbito de substituir e ou elevar a eficiência de uso das fontes existentes.

Constatou-se relação linear entre as doses dos resíduos aplicadas e o aumento do índice de eficiência agronômica (Gráfico 2). Observa-se que as doses somente foram eficientes quando da aplicação de 7 Mg ha^{-1} dos resíduos avaliados, equivalendo-se à produtividade obtida pela aplicação da adubação referência, segundo Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), de 400 kg ha^{-1} do fertilizante mineral 04-30-10 com micronutrientes. A curva melhor ajustou-se ao modelo linear, indicando a necessidade do estudo de doses maiores visando à obtenção do ponto de máximo rendimento técnico e econômico.

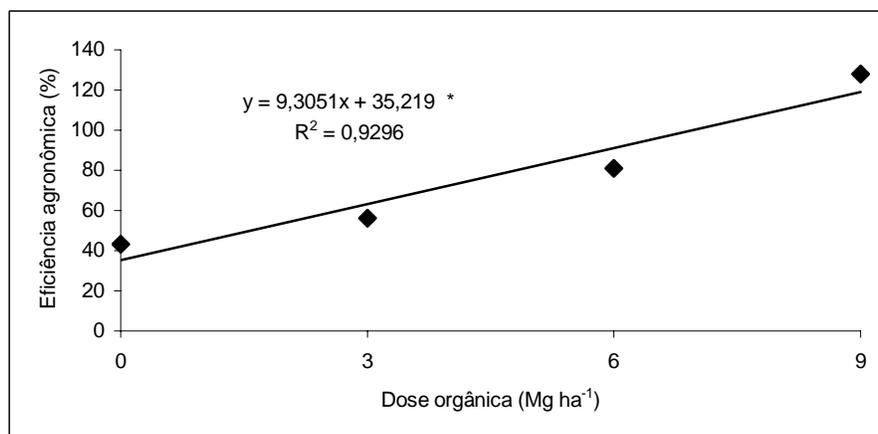


Gráfico 2 Equação de regressão para o índice de eficiência agrônômica em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG. *Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F

Incrementos na produtividade com doses acima de 7 Mg ha⁻¹ demonstram o alto potencial produtivo alcançado nas condições estudadas, com aumento de produção acima do esperado para a adubação referência (100% de eficiência). Os resíduos orgânicos, que têm alta capacidade de melhoria da fertilidade dos solos pelo aporte de nutrientes, proporcionam menor fixação do fósforo (SHAFQAT; PIERZYNSKI, 2010) e aumentam a taxa de mineralização de vários nutrientes como o nitrogênio (SAINJU et al., 2010), de liberação do potássio (YU et al., 2009), de disponibilização de micronutrientes pela quelatização em radicais orgânicos (WANG et al., 2010), além de proporcionar efeito corretivo da acidez e amenizador da toxidez por alumínio (NARAMABUYE; HAYNES, 2007) e aumentar a biomassa do sistema radicular das plantas (MANDAL; HATI; MISRA, 2009), dentre outros efeitos benéficos, que podem influenciar positivamente o aumento de produtividade da cultura.

Os teores residuais de cálcio e magnésio foram significativamente maiores no pó de carvão, apesar de os teores de todos os tratamentos serem

considerados baixos para o magnésio (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999; SOUSA; LOBATO, 2002). Os maiores teores dos cátions Ca e Mg influenciaram significativamente os valores da soma de bases (SB) e da saturação por bases (V) no tratamento pó de carvão que apresentaram, em média, valores 28% e 17% superiores aos apresentados pela cama de frango e esterco de curral, respectivamente (Tabela 3). Tal fato pode advir da menor exportação de bases nos grãos, isto é, menor produtividade, como pode ser observado no menor valor de eficiência agrônômica proporcionada pelo pó de carvão (Tabela 3).

A saturação por bases é resultante direta da manutenção dos cátions Ca, Mg, K e Na na camada cultivada do solo, que depende da geração de cargas negativas nas superfícies das argilas e matéria orgânica do solo. A saturação por bases alcançada pela incorporação do pó de carvão é considerada adequada, agronomicamente, para a maioria das culturas de sequeiro no Brasil (SOUSA; LOBATO, 2002), demonstrando baixa depleção de bases na utilização deste resíduo, provavelmente pela baixa produtividade obtida pelo resíduo (Tabela 3). A incorporação desse resíduo aos solos agrícolas tem recebido crescente interesse por parte da ciência atual, pois sabe-se que solos antropogênicos extremamente férteis e sustentáveis, como as chamadas terras pretas de índio da Amazônia (MORRIS, 2006), possuem alta concentração de carvões do tipo recalcitrante e persistente de alta superfície específica, altamente estável no seu núcleo molecular, porém, quimicamente reativos na periferia de suas estruturas (CUNHA et al., 2009). Dessa maneira, vislumbra-se, por meio da pirólise de resíduos de biomassa, a obtenção de carvão vegetal em pó, de insumos ricos em carbono (*biochar*) que simulariam a gênese destes solos antropogênicos com cobenefícios ímpares para aumento da sustentabilidade de agroecossistemas de alta produtividade, com emissão negativa de gases de efeito estufa e concomitante produção de energia, principalmente em solos de baixa fertilidade

natural e degradados (LEHMANN, 2007; WOOLF et al., 2010; SOHI et al., 2010).

Observou-se que a utilização da cama de frango aumentou os valores da acidez trocável (Al^{3+}) e de enxofre nas amostras, possivelmente pela presença de aditivos no resíduo. Na busca para aprimorar melhorias no ambiente produtivo avícola e reduzir custo de produção, as granjas utilizam aditivos para mitigar a volatilização de amônia da cama dos aviários, sendo de grande expressão de uso e eficiência o sulfato de alumínio (MEDEIROS et al., 2008). O valor significativamente maior da saturação por alumínio (m), quando da aplicação da cama de frango, em relação às outras fontes, corrobora a conjectura abordada, pois demonstra maior participação do alumínio trocável na CTC efetiva (t) do solo, apesar dos altos teores de bases (K, Ca, Mg e Na) presente na cama de frango. Embora tais valores de alumínio sejam considerados baixos e agronomicamente adequados, deve-se atentar para o fato de que os efeitos foram avaliados em um curto prazo e os efeitos podem ser aditivos po meio da utilização contínua e frequente do resíduo alçando, com o tempo, patamares não recomendados. De forma geral, pode-se afirmar que a acidez dos solos sob adubação com resíduos orgânicos de origem animal foram superiores à observada quando se utilizou o pó de carvão, com maiores valores de pH obtidos pela utilização desse resíduo (Tabela 3).

Miller e Miller (2000) destacam que a aplicação de resíduos orgânicos pode afetar as propriedades do solo, mas os efeitos, geralmente, não são visíveis durante um curto período de tempo. Mais especificamente, Tittarelli et al. (2007) apontam que o método mais simples de analisar o valor agrônômico dos resíduos orgânicos é por meio do cálculo tanto do fornecimento de matéria orgânica quanto de nutrientes para as plantas no primeiro ano, pois a liberação lenta dos nutrientes é responsável pelo aumento da produção agrícola, principalmente nos anos subsequentes, tendo-se, assim, grande dificuldade de avaliar rapidamente o

verdadeiro valor agronômico desses materiais orgânicos. Igualmente, não se observou efeito, a curto prazo, da aplicação dos resíduos orgânicos no incremento da matéria orgânica do solo. Observou-se decréscimo desses valores em relação à análise realizada antes do experimento de $1,27 \text{ dag kg}^{-1}$ solo. Salienta-se que essas perdas possam advir do preparo intenso do solo visando torná-lo agricultável, em que o revolvimento da leiva expõe considerável quantidade da matéria orgânica, antes protegida, aos efeitos oxidativos da atmosfera (BARRETO et al., 2009).

A mudança de uso da terra é um dos principais fatores geradores de gases de efeito estufa, dentre estes o CO_2 , oriundo da matéria orgânica do solo (CERRI et al., 2010). Na medida do possível, devem-se utilizar medidas conservacionistas, como o sistema de plantio direto, visando preservar e incrementar a sustentabilidade dos sistemas produtivos por meio do aumento da matéria orgânica do solo (WAGNER-RIDDLE et al., 2007; CARVALHO et al., 2009) e ou pela reintrodução ao sistema produtivo vegetal dos resíduos orgânicos que, como os esterco, são importantes fontes de gases de efeito estufa, segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2006).

Deve-se considerar que o solo em estudo, Cambissolo, é altamente susceptível a perdas, por erosão hídrica, de solo, nutrientes e matéria orgânica em condições de sistema de cultivo convencional com preparo do solo por revolvimento (SILVA et al., 2005). Os mesmos autores, em Lavras, MG, na mesma bacia hidrográfica do presente trabalho, observaram perdas de solo de até $374,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ por ano, representando o carbono orgânico, arrastado pela enxurrada, a maior parte dos sedimentos coletados para análise. Atribuíram-se os altos valores de perdas ao intenso preparo do solo, de baixa permeabilidade, em condições de chuvas intensas e de alta erodibilidade (uma aração e duas gradagens).

As doses crescentes dos resíduos influenciaram positiva e linearmente os teores residuais do fósforo no solo (Gráfico 3), demonstrando que as doses podem ser consideradas baixas para a característica, haja vista a curva ajustada aos dados ter sido uma reta.

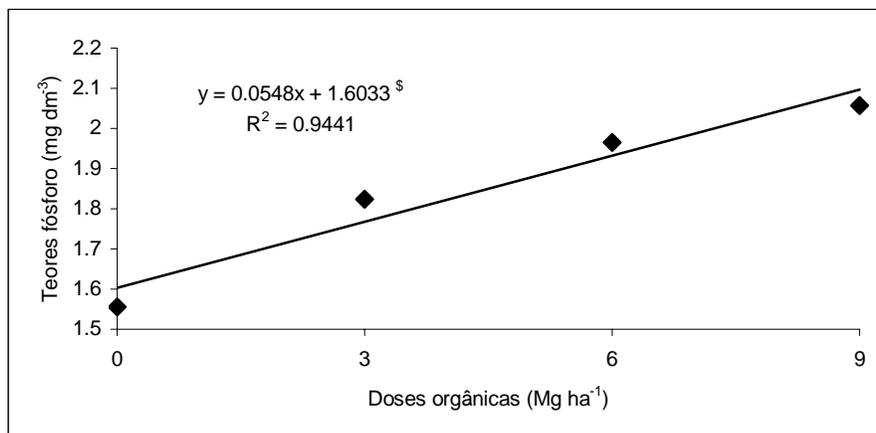


Gráfico 3 Equação de regressão para teores de fósforo (P) no solo em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG. [§]Significativo, a 5,23% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,0523$)

Com o aumento das doses dos resíduos orgânicos, sítios de adsorção de P no solo podem ter sido bloqueados pela forte ligação de grupos funcionais carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica às hidroxilas dos óxidos de Fe e Al, competindo com sítios de adsorção de P e aumentando a disponibilidade desse nutriente às plantas (SEITER et al., 2008). Os resíduos orgânicos podem ser valiosas fontes de fósforo para a agricultura, principalmente os oriundos de excrementos animais, monogástricos, como as aves, que têm baixa eficiência de utilização de rações. (AZEEZ et al., 2010). Essas fontes podem representar insumos eficientes agronomicamente (Tabela 3) e de baixo custo, devido à sua disponibilidade nas propriedades e regiões, apresentando melhor rentabilidade para o produtor rural.

Os tratamentos não afetaram os teores dos micronutrientes catiônicos Mn, Cu, Fe e do B, entretanto, observaram-se efeitos residuais das fontes nos teores do zinco no solo, com as maiores concentrações obtidas pela cama de frango (Tabela 3). A ausência de efeito dos tratamentos sobre os teores do cobre pode estar associada ao aumento significativo dos teores de zinco, visto que os dois elementos concorrem por sítio complexantes na fase húmica do solo (LIU et al., 2008; WANG et al., 2010). A utilização dos resíduos orgânicos deve ser respaldada em pesquisas que avaliem seu efeito nos teores dos elementos no solo e sua dinâmica no agroecossistema (GAJ; SCHNUG, 2002), pois a aplicação frequente ao longo do tempo pode ocasionar contaminações por nitratos e ou metais pesados, tais como o zinco e cobre, no solo, vegetação e corpos d'água (WANG et al., 2010).

Observou-se efeito positivo linear das doses dos resíduos orgânicos sobre os teores do zinco no solo (Gráfico 4).

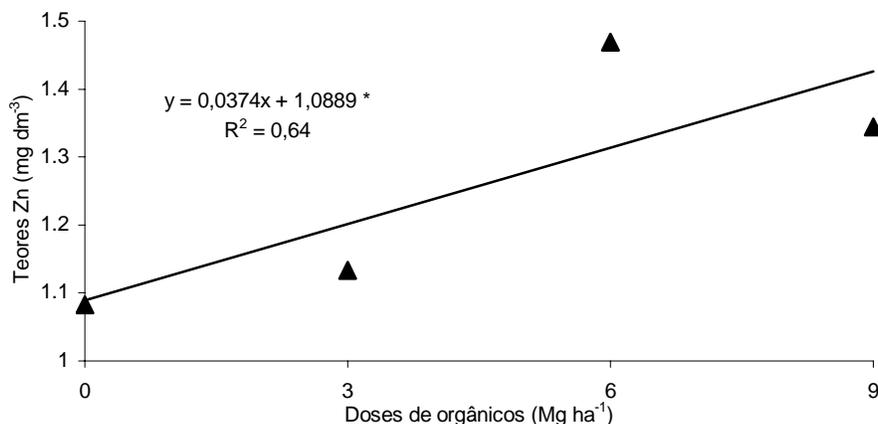


Gráfico 4 Equação de regressão para teores de zinco (Zn) no solo em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG. *Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,05$)

No geral, para cada megagrama de resíduo utilizada, gerou-se um incremento nos teores de zinco no solo de $0,0374 \text{ mg dm}^{-3}$. A dose de 6 Mg ha^{-1}

proporcionou um incremento médio de 35,7% ($0,39 \text{ mg dm}^{-3}$) em relação à ausência de utilização de resíduos. Ressalta-se que, apesar dos incrementos, todos os níveis ficaram abaixo do nível crítico definido para o estado de Minas Gerais, por Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), sendo, no entanto, considerado médio para solos do cerrado, segundo Sousa e Lobato (2002). O aumento dos teores de zinco por meio do uso de resíduos orgânicos é descrito na literatura (SMANHOTTO et al., 2010).

Os teores do potássio no solo apresentaram um comportamento linear em função das doses dos resíduos utilizados, com a maior dose apresentando um incremento médio de 33,7% nos teores edáficos em relação à não utilização do mesmo (Gráfico 5).

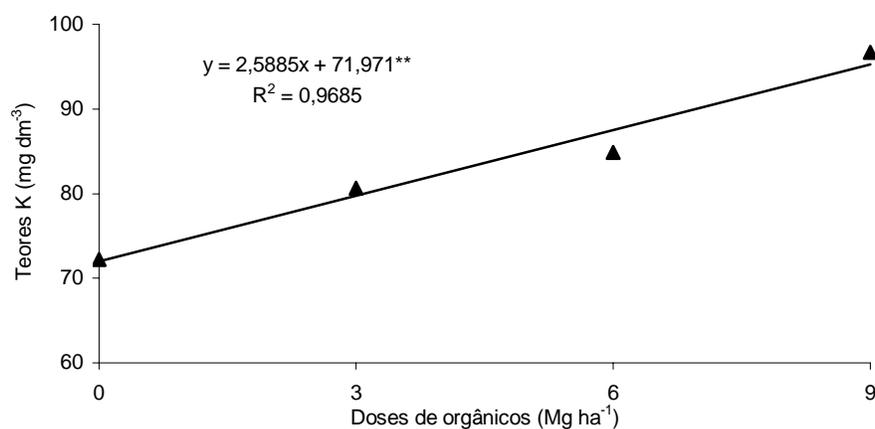


Gráfico 5 Equação de regressão para teores de potássio (K) no solo em função das doses dos resíduos orgânicos. Itutinga, MG. **Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

A utilização de fertilizantes visando suprir as demandas nutricionais da soja quanto aos macronutrientes, especialmente o fósforo e o potássio, é condição essencial visando incrementos na produtividade no Brasil (OLIVEIRA et al., 2001; PASSOS et al., 2008). O potássio é o segundo nutriente mais absorvido pela planta da soja, sendo também o segundo mais exportado, em altas

proporções, devendo haver uma reposição no mínimo nesses níveis para a manutenção da fertilidade do solo (MOTERLE et al., 2009). Yu et al. (2009) observam que a aplicação conjunta de esterco com fertilizante mineral mostra-se como a melhor estratégia de adubação visando aumento dos teores do K em um sistema de produção composto por soja em rotação ao milho na China.

4 CONCLUSÕES

A utilização de resíduos orgânicos ricos em nutrientes, como a cama de frango, mostra-se agronomicamente eficiente, visando ao incremento da produtividade de grãos na cultura da soja.

Os resíduos orgânicos avaliados proporcionam incrementos lineares nos teores residuais de fósforo, potássio e zinco no solo, após o cultivo da soja.

A cama de frango proporciona aumentos residuais na acidez do solo e disponibilidade do potássio, enxofre e zinco em curto prazo.

Doses de até 9 Mg ha⁻¹ para os resíduos esterco de curral e pó de carvão são ineficazes visando ao aumento do efeito residual na fertilidade do solo e à sustentabilidade produtiva da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO PECUÁRIA BRASILEIRA. São Paulo: Instituto FNP, 2010. 296 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo, 2010. 160 p.

AZEEZ, J. O.; AVERBEKE, W. V. Fate of manure phosphorus in a weathered sandy clay loam soil amended with three animal manures. **Bioresource Technology**, London, v. 101, n. 16, p. 6584-6588, Aug. 2010.

BARRETO, R. C. et al. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Oxford, v. 132, n.4, p.243-251, May 2009.

BHATTACHARYYA, R. et al. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean–wheat system of the Indian Himalayas. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 2, p. 33-46, Jan. 2008.

BHATTACHARYYA, R. et al. Fertilization effects on yield sustainability and soil properties under irrigated wheat-soybean rotation of an Indian Himalayan upper valley. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v. 86, n. 2, p. 255-268, Jan. 2010.

BULLUCK, L. R. et al. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 19, n. 2, p. 147-160, Feb. 2002.

CARVALHO, J. et al. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, London, v. 103, n. 2, p. 342-349, May 2009.

CERRI, C. C. et al. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p. 102-116, jan./fev. 2010.

CUNHA, T. J. F. et al. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra preta do índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 85-93, jan. 2009.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de, FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Current world fertilizer trends and outlook to 2011/12**. Rome, 2008. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/cwfto11.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2010.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, jul./dez. 2008.

GAJ, R.; SCHNUG, E. Effect of organic fertilisers on the zinc and cadmium uptake of soybeans and wheat on an artificially contaminated soil. **Landbauforschung Volkenrode**, Berlin, v. 52, n.3, p. 255-258, July 2002.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: agriculture, forestry and other land use**. Tokyo: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. v. 4, 644 p.

KOWALJOW, E. et al. Organic and inorganic fertilizer effects on a degraded Patagonian rangeland. **Plant and Soil**, London, v. 332, n. 1, p. 135-145, Jan. 2010.

LAL, R. et al. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. **Soil Science**, Philadelphia, v. 172, n. 12, p. 943-956, Dec. 2007.

LEHMANN, J. A handful of carbon, **Nature**, London, v. 447, n. 10, p. 143-144, May 2007.

LINQUIST, B. A.; PHENGSOUVANNA, V.; SENGXUE, P. Benefits of organic residues and chemical fertilizer to productivity of rain-fed lowland rice and to soil nutrient balances. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v. 79, n. 1, p. 59-72, Jan. 2007.

- LIU, S. et al. Competitive complexation of copper and zinc by sequentially extracted humic substances from manure compost. **Agricultural Sciences in China**, Beijing, v. 7, n. 10, p. 1253-1259, Oct. 2008.
- LOBATO, E; SOUSA, D. M. G. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416p.
- MANDAL, K. G.; HATI, K. M.; MISRA, E. A. K. Biomass yield and energy analysis of soybean production in relation to fertilizer-NPK and organic manure. **Biomass & Bioenergy**, Amsterdam, v. 33, n. 12, p. 1670-1679, Dec. 2009.
- MEDEIROS, R. et al. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da umidade na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2321-2326, nov. 2008.
- MILLER, D. M.; MILLER, W. P. Land application of wastes. In: SUMMER, M. E. (Ed.). **Handbook of Soil Science**. Boca Raton: CRC, 2000. p. 217-245.
- MORRIS, E. Putting the carbon back: black is the new green. **Nature**, London v. 442, n.2, p. 624-626, Sep. 2006.
- MOTERLE, L. M. et al. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 256-265, abr./jun. 2009.
- OLIVEIRA, F. A. et al. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa de vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 329-335, abr./jun. 2001.
- PAGLIARI, P. et al. Phosphorus availability and early corn growth response in soil amended with turkey manure ash. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 41, n. 11, p. 1369-1382, Jan. 2010.
- PASSOS, A. M. A. et al. Cinetina e nitrato de potássio em características agronômicas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 925-928, jul. 2008.
- PIMENTEL, D. Energy inputs in food crop production in developing and developed nations. **Energies**, v. 2, n. 1, p. 1-24, Oct. 2009.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª**

aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

SAINJU, U. M. et al. Poultry litter application increases nitrogen cycling compared with inorganic nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 3, p. 917-925, Mar. 2010.

SEITER, J. M. et al. DL XANES spectroscopic analysis of phosphorus speciation in alum-amended poultry litter. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, n. 2, p. 477-485, Mar./Apr. 2008.

SHAFQAT, M. N.; PIERZYNSKI, G. M. Long-term effects of tillage and manure applications on soil phosphorus fractions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 41, n. 9, p. 1084-1097, Jan. 2010.

SILVA, A. M. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, dez. 2005.

SILVA, V. P. et al. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v. 91, n. 1, p. 1831-1839, Sept. 2010.

SMANHOTTO, A. et al. Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 346-357, mar./abr. 2010.

SOHI, S. P. et al. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 105, n. 4, p. 47-82, Oct. 2010.

SOUZA, R. F. et al. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 975-983, nov./dez. 2006.

TITTARELLI, F. et al. Quality and agronomic use of compost. In: DIAZ, L. F. et al. (Ed.). **Compost science and technology, waste management**. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 119-145.

TRIBERTI, L. et al. Can mineral and organic fertilization help sequester carbon dioxide in cropland? **Europe Journal Agronomy**, London, v. 29, n. 1, p. 13-20, July 2008.

WAGNER-RIDDLE, C. et al. Micrometeorological mass balance approach for greenhouse gas flux measurements from stored animal manure. **Agricultural and Forest Meteorology**, Kidlington, v. 136, n. 3-4, p. 175-187, Nov. 2006.

WAGNER-RIDDLE, C. et al. Intensive measurement of nitrous oxide emissions from a corn-soybean-wheat rotation under two contrasting management systems over 5 years. **Global Change Biology**, New York, v. 13, n. 8, p. 1722-1736, Aug. 2007.

WANG, X. D. et al. Dynamics of humic substance-complexed copper and copper leaching during composting of chicken manure. **Pedosphere**, London, v. 20, n. 1, p. 245-251, Jan. 2010.

WOOLF, D. et al. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communication**, London, v. 1, n. 56, p. 56-60, July 2010.

YAN, X. Y.; GONG, W. The role of chemical and organic fertilizers on yield, yield variability and carbon sequestration- results of a 19-year experiment. **Plant and Soil**, London, v. 331, n. 1-2, p. 471-480, June 2010.

YU, W. et al. Effects of nutrient cycling on grain yields and potassium balance. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, London, v. 84, n. 3, p. 203-213, July 2009.

ANEXO

ANEXO A

Tabela 1A Resumo da análise de variância para eficiência agronômica (EA), pH (pH), teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), Itutinga, MG, 2009

Fontes de variação	GL	Quadrados médios						
		EA	pH	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	2	13151,76	0,10	0,64	183,32	0,21	0,030	21,50
Fontes (F)	2	48335,10**	0,08**	0,74	4643,41**	0,89**	0,027*	64,69*
Erro 1	4	984,58	0,01	0,20	232,634	0,05	0,003	8,03
Dose orgânica (D1)	3	12573,66**	0,01	0,43 §	933,98**	0,14	0,010	7,43
F x D1	6	1888,46	0,04	0,25	296,26	0,29	0,012	13,70
Erro 2	18	1561,30	0,03	0,14	120,63	0,18	0,011	5,95
CV 1 (%)		43,89	1,08	24,47	18,24	14,13	13,55	28,42
CV 2 (%)		55,26	2,84	20,09	13,13	27,56	26,30	24,47

*Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,05$).**Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$).§ Significativo, a 10% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,10$).

Tabela 2A Resumo da análise de variância para alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), saturação de bases (V), índice de saturação de alumínio (m) e capacidade de troca catiônica efetiva (t). Itutinga, MG, 2009

Fontes de variação	GL	Quadrados médios						
		Al	H+Al	SB	V	m	t	Al
Bloco	2	0,0019	1,2519	0,3286	160,5219	3,8611	0,3419	0,0019
Fontes (F)	2	0,0119**	0,9786*	0,9169**	268,3611*	48,0278*	0,7353**	0,0119**
Erro 1	4	0,0007	0,0974	0,0436	15,8019	4,3611	0,0386	0,0007
Dose orgânica (D1)	3	0,0003	0,0203	0,2847	37,9222	1,0648	0,3003	0,0003
F x D1	6	0,0019	0,2463	0,3814	82,7211	4,8426	0,3608	0,0019
Erro 2	18	0,0033	0,4130	0,2664	91,5968	14,1944	0,2290	0,0033
CV 1 (%)		23,14	8,63	9,65	10,61	38,16	8,62	23,14
CV 2 (%)		50,69	17,78	23,85	25,55	68,85	20,98	50,69

*Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,05$).**Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$).

Tabela 3A Resumo da análise de variância para matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica potencial (T), teores de manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe) e boro (B). Itutinga, MG, 2009

Fontes de variação	GL	Quadrados médios						
		MO	T	Mn	Cu	Zn	Fe	B
Bloco	2	0,1163	0,9169	9,5568	0,0083	0,8459	65,1036	0,0008
Fontes (F)	2	0,0663	0,0011	5,6806	0,0020	0,7228*	31,7269	0,0058
Erro 1	4	0,0362	0,0828	2,2963	0,0830	0,0828	5,1469	0,0042
Dose orgânica (D1)	3	0,0190	0,2689	1,9264	0,0379	0,2952*	16,5693	0,0059
F x D1	6	0,0351	0,1089	2,0483	0,0679	0,1087	18,5940	0,0018
Erro 2	18	0,0264	0,1031	1,5793	0,0294	0,0864	11,2655	0,0034
CV 1 (%)		6,94	4,98	23,65	19,79	22,89	6,94	32,27
CV 2 (%)		5,93	5,56	19,62	11,77	23,37	10,27	29,27

*Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,05$).

**Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$).

ARTIGO 4: Efeito residual da cama de frango, esterco de curral e pó de carvão na produtividade e em outras características agronômicas da soja

RESUMO

Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar agronomicamente o efeito residual dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral e pó de carvão, associados ou não ao fertilizante mineral NPK na cultura da soja. Realizou-se um experimento de campo em esquema de parcelas subdivididas, avaliando-se as fontes (parcelas) nas doses de 0, 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹ (subparcelas) combinadas com 0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral NPK (sub-subparcelas), aplicados no ano de 2008 e com reaplicação somente das doses do NPK, em 2009, em um Cambissolo Háplico, sob cultivo convencional em Itutinga, MG. Como resultado, observou-se que todas as características avaliadas, exceto o número de sementes por legume, foram influenciadas pelos tratamentos. A aplicação da cama de frango proporcionou as maiores produtividades, com incrementos médios 27,4% (701 kg ha⁻¹) e 20,5% (553 kg ha⁻¹) superiores aos proporcionados pelo esterco de curral e pó de carvão, respectivamente. Observou-se efeito sinérgico entre os resíduos orgânicos e o fertilizante mineral no incremento das produtividades, principalmente por meio da utilização da cama de frango. Por meio da derivação das superfícies de resposta, observou-se que a melhor combinação de doses dos dois insumos foi a aplicação de 5,5 Mg ha⁻¹ dos resíduos juntamente com 200 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral NPK, visando à obtenção das produtividades ótimas. A prévia utilização de resíduos orgânicos, ricos em nutrientes, representa uma promissora tecnologia visando ao aumento sustentável da produtividade da soja.

Palavras-chave: *Glycine max*. Sustentabilidade. Resíduos orgânicos. Integração produtiva. Produtividade de grãos.

Residual effects of the organic amendments poultry litter, farmyard manure and biochar on the soybean crop

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the residual effects of the organic wastes poultry litter, farmyard manure and biochar combined or not with mineral NPK fertilizer on some agronomic characteristics of the soybean crop. A field experiment was carried out in a split-split-plot scheme, with three replicates in a completely randomized blocks experimental design. Was evaluated the sources (plots) at rates of 0, 3, 6 and 9 Mg ha⁻¹ (split plots) combined with 0, 100, 200, 300 and 400 kg ha⁻¹ (split-split-plots) of the mineral NPK fertilizer, used in 2008, and only the reutilization of the mineral fertilizer in 2009, in a Cambissol under conventional cultivation, in Itutinga, MG. As result, it was observed that all characteristics, except the number of seeds per pod, were influenced by the treatments. The application of poultry litter provided the highest yield, with average increases of 27.4% (701 kg ha⁻¹) and 20.5% (553 kg ha⁻¹) higher than those provided by farmyard manure and biochar, respectively. Observed synergistic effect between organic amendments and mineral fertilizer increasing the yields, especially observed by the poultry litter use. Through the derivation of the response surfaces was observed the best dose combination of the two inputs was the application of 5.5 Mg ha⁻¹ of all organic amendments with 200 kg ha⁻¹ of the mineral fertilizer in order to provide the optimum yield. The use of organic amendments, rich in nutrients, is a promising and sustainable technology to increase the yield.

Keywords: *Glycine max*. Sustainability. Organic wastes. Integrated production. Grain yield.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior mercado consumidor de fertilizantes, sendo apenas o sexto maior produtor mundial. Mais da metade dos fertilizantes utilizados no país é importada (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO ADUBOS - ANDA, 2010). Os fertilizantes inorgânicos, que constituem a base dos formulados NPK, têm como matéria-prima produtos derivados do petróleo e minérios com preços definidos nos mercados internacionais, de alta volatilidade e instabilidade de oferta, representando alta parcela dos custos de produção para a cultura da soja (CASTRO; REIS; LIMA, 2006).

Neste contexto, diversos pesquisadores têm buscado gerar tecnologias para aumento da eficiência dos fertilizantes comerciais e identificar fontes alternativas de nutrientes, como os resíduos orgânicos, para o desenvolvimento de novos produtos e processos, mais sustentáveis, para agricultura tropical e mundial (RASHAD et al., 2010; SZOGI; BAUER; VANOTTI, 2010; TAGOE; HORIUCHI; MATSUI, 2010). Diversas fontes orgânicas têm demonstrado grande potencial para suprir a demanda nutricional das plantas, principalmente quando aplicadas em doses adequadas e intervalos regulares de tempo, fornecendo quantidades satisfatórias de nutrientes no momento requerido (DIACONO; MONTEMURRO, 2010). Tal prática proporciona aos produtores melhor rentabilidade e sustentabilidade da atividade agrícola em comparação à aplicação isolada de fertilizantes minerais (RUSSELLE; ENTZ; FRANZLUEBBERS, 2007; BHATTACHARYYA et al., 2010).

Vários resíduos orgânicos têm sido testados para a utilização na cultura da soja. Por exemplo, Lemainski e Silva (2006), com bio-sólido úmido e fertilizante mineral, concluíram que o aproveitamento do bio-sólido como fertilizante é viável, sendo esse mais eficiente que o fertilizante mineral como fonte de nutrientes. Corrêa et al. (2008), avaliando a aplicação de lodo de esgoto

centrifugado e de biodigestor, escória de aciaria e lama cal, concluíram que a produtividade da soja é favorecida pela aplicação desses materiais. Ghosh et al. (2009), avaliando a dinâmica competitiva por nutrientes em sistema consorciado entre soja-sorgo, sob seis níveis de combinações entre adubação orgânica e mineral, observaram que a aplicação de 75% NPK mineral + esterco de galinha/esterco bovino/fósforo é uma opção viável de manejo integrado de nutrientes para atender à demanda nutricional do sistema. Esses resultados corroboram o de Liu et al. (2009), o qual indica que o desenvolvimento de práticas de adubação eficazes, com a adequada manipulação da quantidade e fontes de resíduos orgânicos, pode melhorar a sustentabilidade dos ecossistemas em longo prazo.

A cama de frango, em regiões com disponibilidade, demonstra ser uma viável alternativa para a produção de soja, podendo reduzir significativamente os custos de produção (RIBEIRO et al., 2009; VILELA et al., 2009). O aumento dos custos diretos e externalidades dos fertilizantes comerciais faz do uso de resíduos orgânicos na agricultura uma opção atrativa. Esse fato gera aumento na demanda por pesquisas para avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização combinada de condicionadores orgânicos com fertilizantes minerais como uma abordagem para desenvolver estratégias de adubações mais sustentáveis (MELO; SILVA; DIAS, 2008; LIU et al., 2009).

Entretanto, poucos são os trabalhos que avaliam o efeito residual dos resíduos orgânicos. Nesse contexto, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito residual da cama de frango, esterco de curral curtido e pó de carvão, associados ou não ao fertilizante mineral NPK, em diversas características agrônômicas e na produtividade da soja cultivada em sistema convencional de preparo do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Milanez, em Itutinga, MG, localizada nas coordenadas 21°23' latitude S, 44°39' longitude O e altitude média de 958 m. A região apresenta inverno seco e verão chuvoso, com as maiores precipitações em dezembro e janeiro, atingindo média mensal de 254 e 321 mm, respectivamente; a precipitação média anual é de 1.460 mm. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima é do tipo Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) e subtropical de inverno seco, com temperaturas médias de 20,7°C, tendo uma variação de 17,1°C, em julho, a 22,8°C, em fevereiro (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). As temperaturas médias e precipitações pluviométricas ocorridas durante a condução do experimento podem ser visualizadas no Gráfico 1.

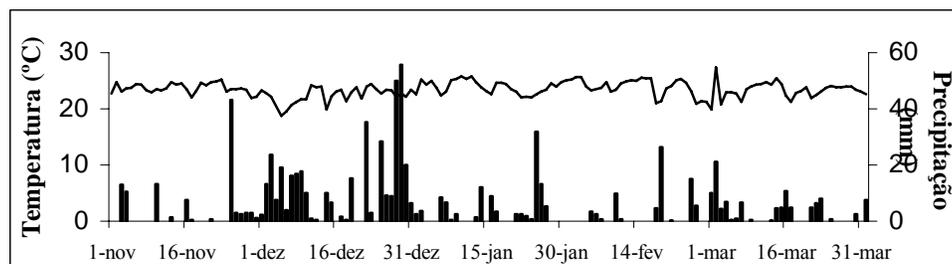


Gráfico 1 Temperaturas médias (°C) e precipitações pluviométricas (mm), entre novembro de 2009 e abril de 2010. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos completamente casualizados, com três repetições em esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos aplicados às parcelas foram as fontes dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC) aplicados na safra anterior (2008/2009). Nas subparcelas, variaram-se as doses dos resíduos orgânicos 0, 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹, aplicados e incorporados em área total no dia

anterior à sementeira em 2008. Nas subparcelas foram utilizados 0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral formulado NPK 04-30-10 com 6,10% de Ca + 2,97% de S + 0,06% de B + 0,97 de Mn + 0,31% de Zn, aplicados manualmente no sulco de sementeira em ambas as safras. Segundo as recomendações para adubações de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), calculou-se a necessidade de 120 kg de P₂O₅ e 40 kg de K₂O por hectare, para atender às necessidades da cultura (400 kg do formulado NPK 4-30-10). As subparcelas foram constituídas de 4 linhas de 5 m de comprimento espaçadas em 0,5 m, sendo as duas externas bordaduras e as duas centrais as linhas úteis. Por ocasião da colheita, eliminara-se 0,5 m de cada extremidade das linhas úteis, a título de bordadura.

As composições físico-químicas dos resíduos são apresentadas na Tabela 1. O resíduo cama de frango é constituído de uma mistura de substratos (conhecida como “cama”) que, nesse caso, foi composta por palha de arroz, fezes, penas e restos de ração. O esterco de curral utilizado foi produzido na propriedade, oriundo de gado leiteiro semiconfinado, seco e curtido. O pó de carvão, resíduo industrial, subproduto da siderurgia férrea, foi obtido em siderúrgica de ferro gusa da região, originado de carvão vegetal oriundo da combustão de lenha de eucalipto plantado para tal fim.

Tabela 1 Análises físico-químicas dos resíduos orgânicos cama de frango (CF), esterco de curral (EC) e pó de carvão (PC) utilizados. Itutinga, MG, 2008

Parâmetros	Unidades	Resultados		
		CF	EC	PC
pH em água	-	7,40	7,60	7,30
Condutividade elétrica (CE)	dS m ⁻¹	26,40	19,00	2,90
Capacidade de retenção de água	ml g ⁻¹	2,10	1,80	0,80
Densidade aparente	g cm ⁻³	0,40	0,40	0,80
Carbono total	g kg ⁻¹	411,00	285,00	191,00
Matéria orgânica (MO)	g kg ⁻¹	820,00	570,00	380,00
Nitrogênio (N) total	g kg ⁻¹	44,00	24,00	5,00

Tabela 1 “Conclusão”.

Parâmetros	Unidades	Resultados		
		CF	EC	PC
N-amônio	mg kg ⁻¹	362,00	70,00	26,00
N-nitrato	mg kg ⁻¹	82,00	624,00	178,00
Fósforo (P) total	g kg ⁻¹	8,50	1,10	0,40
Potássio (K) total	g kg ⁻¹	37,00	19,60	2,60
Sódio (Na)	g kg ⁻¹	4,50	0,90	0,40
Cálcio (Ca)	g kg ⁻¹	31,00	9,50	13,00
Magnésio (Mg)	g kg ⁻¹	11,50	5,40	2,30
Enxofre (S)	mg kg ⁻¹	6,20	2,70	0,00
Boro (B)	mg kg ⁻¹	46,70	13,00	0,00
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	119,00	30,00	19,00
Ferro (Fe)	mg kg ⁻¹	2324,00	14,56	354,60
Manganês (Mn)	mg kg ⁻¹	691,00	232,00	1107,00
Zinco (Zn)	mg kg ⁻¹	624,00	82,00	371,00

Análises realizadas no Laboratório de Análise de Resíduos Orgânicos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras, MG.

O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração e uma gradagem. As aplicações dos resíduos orgânicos foram feitas a lanço, nas parcelas na safra de 2008/2009, com posterior incorporação. A abertura dos sulcos de semeadura utilizou tração mecanizada. Antes da semeadura, as sementes da cultivar BRS Favorita RR foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se inoculante turfoso na proporção de 1.200.000 bactérias por semente. Os desbastes foram realizados 15 dias após emergência das plântulas, mantendo-se 15 plantas por metro. A semeadura foi realizada em novembro de 2009, em solo classificado como Cambissolo Háplico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), com os atributos físico-químicos da camada de 0-20 cm listados na Tabela 2.

Tabela 22 Resultados e interpretações dos atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm do solo localizado na área experimental de Itutinga, MG, 2008*

Parâmetro	Unidade	Resultados
pH em H₂O	(1:2,5)	5,4 (acidez média)
P (Mehlich 1)	mg dm ⁻³	2,0 (muito baixo)
K	mg dm ⁻³	98,0 (bom)
Ca²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,5 (médio)
Mg²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,4 (baixo)
Al³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,2 (muito baixo)
H + Al	cmol _c dm ⁻³	4,0 (médio)
Soma de bases	cmol _c dm ⁻³	2,2 (médio)
CTC efetiva (t)	cmol _c dm ⁻³	2,4 (médio)
CTC a pH 7,0 (T)	cmol _c dm ⁻³	6,2 (médio)
Saturação por bases (V)	%	35,0 (baixo)
Saturação por Al³⁺ (m)	%	9,0 (muito baixo)
MO	g kg ⁻¹	40,0 (bom)
P-rem	mg L ⁻¹	14,0
S	mg dm ⁻³	14,9 (muito bom)
Zn	mg dm ⁻³	0,5 (baixo)
Fe	mg dm ⁻³	32,6 (bom)
Mn	mg dm ⁻³	4,8 (baixo)
Cu	mg dm ⁻³	1,5 (bom)
B	mg dm ⁻³	0,4 (médio)
Areia	g kg ⁻¹	310
Silte	g kg ⁻¹	290
Argila	g kg ⁻¹	400

Análises realizadas no Laboratório de fertilidade de solos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras, MG.

Na ocasião da colheita, R₈ (FEHR et al., 1971), foram avaliadas as seguintes características: número de legumes por planta e grãos por legume amostrados em 10 plantas das fileiras úteis, massa de 100 grãos, rendimento de grãos em kg ha⁻¹ após conversão para 13% de umidade, altura da planta e da inserção do primeiro legume (tomadas aleatoriamente, em cm, de 10 plantas das fileiras úteis).

Os dados foram submetidos à análise de variância com o auxílio do software Sisvar[®] (Ferreira, 2008), utilizando-se o teste F. Quando pertinente, devido à significância dos fatores, foram realizadas análises de regressão polinomial e teste de Scott Knott para comparação das médias. As superfícies de

resposta foram obtidas e interpretadas utilizando-se o pacote estatístico Statistica[®] 6.0 para ambiente Windows.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as características avaliadas foram influenciadas pelos tratamentos, exceto o número de grãos por legume (Tabela 3). A ausência para essa característica deu-se, possivelmente, pelo fato de a mesma possuir alto controle genético e, por isso, é pouco susceptível às fontes de variação ambiental (RITCHIE et al., 1997), sendo o fenótipo definido pelo número de óvulos por legumes e pela frequência de aborto dos embriões, tendo caráter quantitativo multigênico (TISCHENER et al., 2003).

Tabela 3 Resumo da análise de variância para produtividade (PT), número de legumes por planta (LP), número de grãos por legume (GPL), peso de 100 sementes (PCS), altura de planta (AP) e inserção do primeiro legume (AI) obtidos no experimento de fontes e doses de resíduos orgânicos e fertilizante mineral na cultura da soja. Itutinga, MG, 2010

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios					
		PT	LP	GPL	PCS	AP	AI
Bloco	2	2939354,6578	338,0563	0,0091	0,4077	4168,4222	193,4389
Fontes (F)	2	8185322,4601*	123,7905	0,0436	3,0209 [§]	1626,5389*	18,4389
Erro 1	4	784697,1219	81,1228	0,0189	0,4482	216,5722	33,1556
Dose orgânica (D1)	3	4849677,8179**	655,2085**	0,0339	30,3862**	546,9704 [§]	3,3537
F x D1	6	2238745,7385**	74,9683	0,0187	1,0769 [§]	280,6426	18,1649
Erro 2	18	394455,6043	94,0005	0,0166	0,4091	215,3074	31,2500
Dose NPK (D2)	4	15385770,9778**	839,5845**	0,0154	12,2767**	1597,9111**	38,5083*
F x D2	8	634253,4794**	71,7727	0,0131	1,3439**	75,4694 [§]	10,9250
D1 x D2	12	347592,1244 [§]	61,8711	0,0335	2,4604 [§]	30,1000	8,9972
F x D1 x D2	24	342170,2563*	73,2197	0,0293	1,1400*	60,5917 [§]	15,6972
Erro 3	96	192403,8550	52,8298	0,0241	0,6828	39,1667	13,9236
CV 1 (%)		31,23	32,23	6,71	4,67	21,29	22,81
CV 2 (%)		22,14	34,69	6,28	4,46	21,23	22,15
CV 3 (%)		15,47	26,01	7,57	5,76	9,05	14,78

[§] Significativo, a 10% de probabilidade, pelo teste F (p≤0,10).

*Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F (p≤0,05).

**Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F (p≤0,01).

As fontes de resíduos orgânicos afetaram significativamente a produtividade de grãos. A aplicação do resíduo cama de frango proporcionou as maiores produtividades, sendo os incrementos, em média, 27,4% (700,6 kg ha⁻¹) e 20,5% (553,2 kg ha⁻¹) maiores que os obtidos pelos resíduos esterco de curral e pó de carvão, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 Médias de produtividade em kg ha⁻¹ (PT), número de legumes por planta (LP), grãos por legume (GPL), peso de cem sementes em g (PCS), altura de plantas em cm (AP) e de inserção do primeiro legume em cm (AI) influenciados pela utilização de diferentes fontes de resíduos orgânicos na soja, Itutinga, MG, 2010

Fontes	Médias											
	PT		LP		PCS		GPL		AP		AI	
Pó de carvão	2700,87	B	27,24	A	14,34	A	2,07	A	67,20	B	25,03	A
Esterco curral	2553,52	B	27,00	A	14,11	A	2,07	A	65,15	B	24,82	A
Cama frango	3254,08	A	29,60	A	14,56	A	2,02	A	75,02	A	25,87	A

As médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (5%).

Observou-se efeito conjunto da aplicação das fontes e doses orgânicas e as doses do fertilizante mineral na produtividade de grãos (Gráfico 2). Realizou-se o desdobramento avaliando-se a resposta das diferentes combinações de doses para cada resíduo orgânico avaliado por meio da metodologia de superfícies de resposta (CUSTÓDIO; MORAIS; MUNIZ, 2000). Observou-se comportamento similar entre o pó de carvão e o esterco de curral, com baixa influência das doses dos resíduos na produtividade de grãos e um efeito mais expressivo das doses do fertilizante mineral NPK (Gráfico 2) sobre a variável. Quando se utilizou a cama de frango, constatou-se maior efeito sinérgico da interação entre as doses que para os demais. Nesse resíduo, foi possível alcançar os maiores patamares de produtividade (>4.000 kg ha⁻¹) apenas pela utilização de 9 Mg ha⁻¹ da cama de frango, enquanto, para o pó de carvão e esterco de curral, os incrementos foram

significamente menores (2.000 e 1.500 kg ha⁻¹, respectivamente). A baixa resposta na produtividade ao aumento das doses pode advir do baixo aporte de nutrientes ao solo alocado por esses resíduos nas doses estudadas, justificando-se a necessidade de futuros trabalhos considerando-se a utilização de doses mais elevadas. A adequada utilização de resíduos orgânicos deve, portanto, ser embasada na criteriosa escolha das fontes a serem utilizadas visando ao aumento da produtividade.

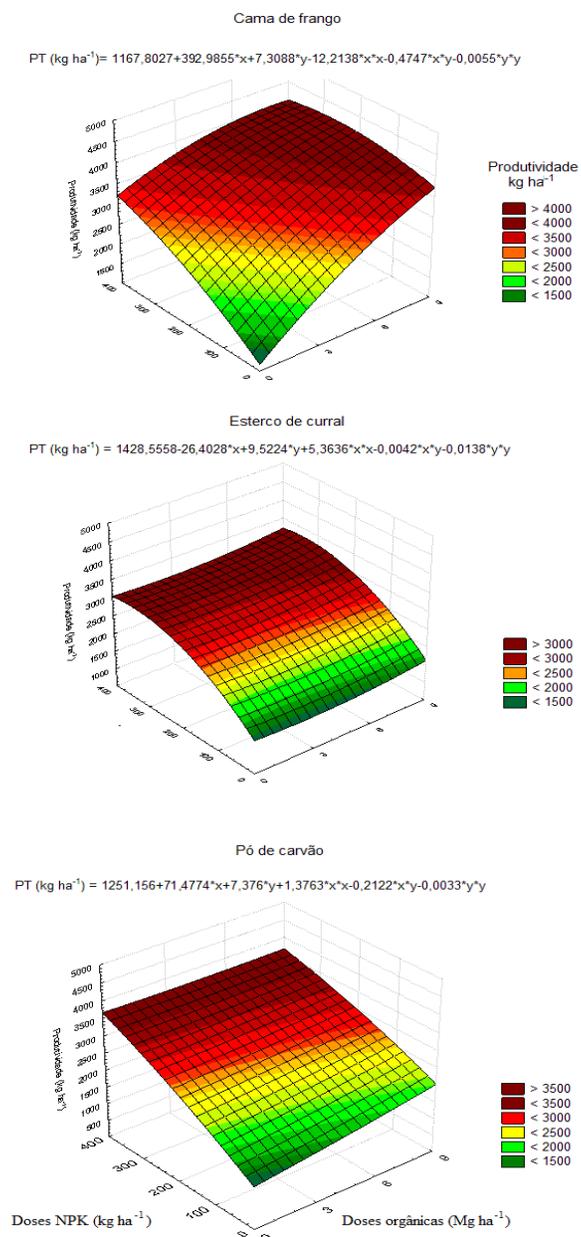


Gráfico 2 Superfícies resposta para efeito residual na produtividade das doses dos resíduos orgânicos e fertilizante mineral nos resíduos orgânicos avaliados. Itutinga, MG, 2010

Por meio da derivação das superfícies de resposta observa-se que a melhor combinação de doses dos insumos deu-se pela aplicação de 5,49 Mg ha⁻¹ dos resíduos, juntamente com 200 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral NPK visando à obtenção de 2.794,93; 2.795,11 e 3.678,06 kg ha⁻¹ pela utilização do pó de carvão, esterco de curral e cama de frango, respectivamente. O maior incremento oriundo da utilização da cama de frango em relação às outras fontes, de 31,6% em média, pode ser devido à maior concentração de nutrientes, proporcionando melhor efeito residual à cultura da soja, que é altamente responsiva ao fornecimento de nutrientes (GONÇALVES JÚNIOR et al., 2010), principalmente em solos distróficos e em sistemas de produção que apresentam altos patamares de produtividade, haja vista a alta demanda nutricional para formação de biomassa e exportados nos grãos (BIANCO; PITELLI; CARVALHO, 2007; EMBRAPA, 2008). Os resultados são consistentes com os de outros trabalhos que, pela utilização da cama de frango na soja, também observaram aumentos de produtividade da cultura (VILELA et al., 2009), principalmente pelo aumento da eficiência de uso de nutrientes, como o nitrogênio, com respostas superiores às observadas para os tratamentos que recebem somente adubos minerais (ADELI et al., 2005; SAINJU et al., 2010).

O experimento apresentou alto nível de produtividade, tendo como média geral rendimento de 2.836,15 kg ha⁻¹ de grãos. Levando-se em conta a média somente da cama de frango (3.254,08 kg ha⁻¹), essa diferença é relevante (327,1 kg ha⁻¹) e superior à produtividade média nacional de 2.927 kg ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010). Por outro lado, comparando-se a produtividade obtida nos níveis ótimos para esse resíduo, segundo a superfície de resposta, de 3.678,06 kg ha⁻¹, o incremento é significativamente maior, de 751 kg ha⁻¹. Tal fato demonstra o alto potencial de uso associado de resíduos orgânicos com fertilizantes minerais, de forma sinérgica, para aumento da produtividade do sistema de produção de soja de

forma consistente e sustentável (MORETI et al., 2007; BHATTACHARYYA et al., 2008, YU et al., 2009; LIU et al., 2009; MANDAL; HATI; MISRA, 2009; GHOSH, 2009).

O incremento da produtividade ocorre por meio dos componentes de produção, sendo dos mais influentes o número de legumes por planta (PASSOS et al., 2008). Na cultura da soja, a adequada nutrição das plantas é fator primordial para a fixação dos legumes, a qual requer apropriada disponibilidade de nutrientes e de fotoassimilados destinados aos mesmos, quando em desenvolvimento (WIEBOLD; PANCIERA, 1990; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2010). No presente trabalho, observaram-se incrementos no número de legumes, como consequência dos aumentos das doses dos resíduos orgânicos aplicados previamente na safra anterior e do fertilizante mineral, aplicados na safra atual (Gráfico 3).

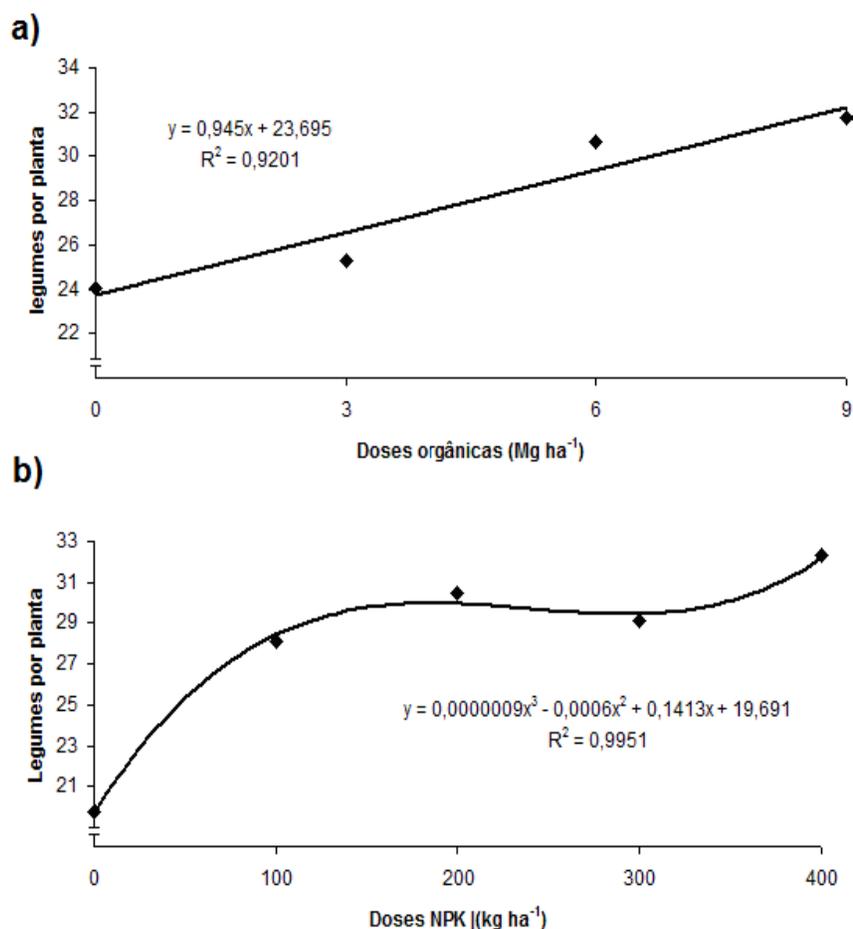


Gráfico 3 Equações de regressão para número de legumes por planta (LP), em função das doses dos resíduos orgânicos (a) e fertilizante mineral NPK (b). Itutinga, MG, 2010. ** Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

A taxa de incremento no número de legumes por planta foi maior para a aplicação do fertilizante mineral NPK em relação às fontes orgânicas aplicadas previamente, observando-se incrementos máximos, oriundos das maiores doses dos fertilizantes orgânicos e minerais, de 31,9% (7,7 legumes planta⁻¹) e 63,3% (12,5 legumes planta⁻¹), respectivamente (Gráfico 3). Esses resultados são condizentes com os encontrados em trabalhos realizados por outros autores, que

observaram alta correlação entre a utilização da adubação orgânica e mineral com incrementos diretos no número de legumes (MANDAL; HATI; MISRA, 2009).

Observou-se efeito conjunto da aplicação das fontes e doses orgânicas e as doses do fertilizante mineral no peso das sementes produzidas (Gráfico 4). Nas superfícies ajustadas, observa-se que os maiores pesos foram obtidos com doses, de ambos os fertilizantes, nos seus maiores níveis. Esse resultado corrobora os observados por outros autores ao avaliarem o efeito de fertilizantes orgânicos e minerais na soja, demonstrando que, para solos tropicais, geralmente de baixa fertilidade natural, um dos fatores mais importantes na intensificação da produção agrícola é a adequada adubação do solo e a consequente nutrição das plantas (ELSHEIKH et al., 2009; MANDAL; HATI; MISRA, 2009; MOTERLE et al., 2009).

Estimando-se os pontos estacionários que representam as máximas respostas para a variável por meio das derivadas parciais das superfícies, observou-se, como combinação ótima, os mesmos níveis obtidos para a produtividade (dose NPK de 200 kg ha⁻¹ e resíduos orgânicos de 5,49 Mg ha⁻¹), visando maximização dos pesos de cem sementes para 14,15; 14,28 e 14,92 g, nos resíduos esterco de curral, pó de carvão e cama de frango, respectivamente.

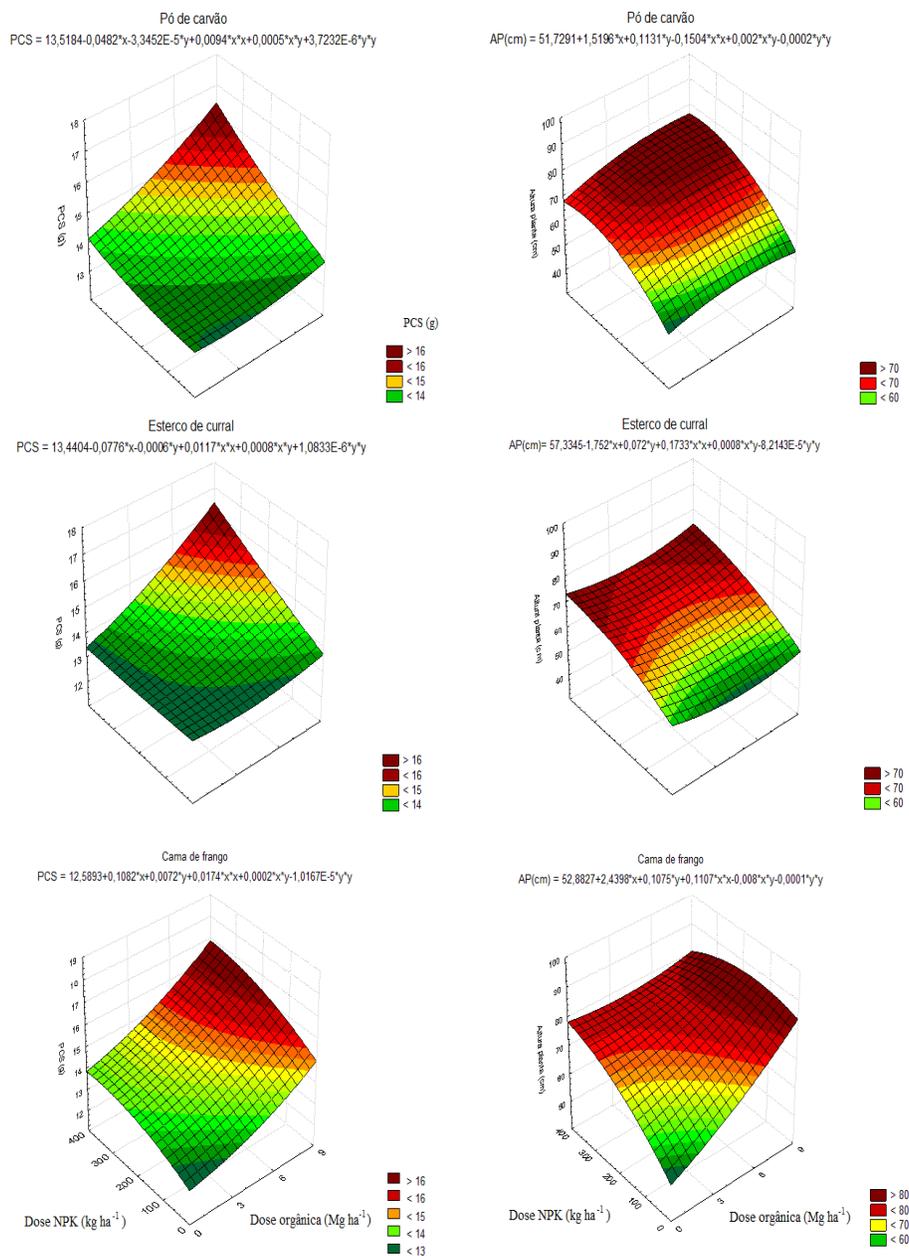


Gráfico 4 Superfícies resposta para efeito no peso de cem sementes (a) e altura de planta (b) das doses dos resíduos orgânicos e fertilizante mineral nos resíduos orgânicos avaliados. Itutinga, MG, 2010

Verifica-se, pelo estudo da superfície relacionada ao resíduo cama de frango, maior efeito do mesmo frente às doses do fertilizante mineral NPK em relação aos resíduos esterco de curral e pó de carvão. Nesse resíduo obtiveram-se pesos de até 16 g para 100 sementes com a utilização conjunta de 100 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral combinado com 9 Mg do resíduo por hectare, enquanto, para os demais, foi necessária a utilização dos mesmos 9 Mg combinados com, no mínimo, 400 kg ha⁻¹ de fertilizante mineral. Esses incrementos são bastante significativos, visando à economia de insumos e à maximização dos recursos produtivos.

Sabe-se que a adequada nutrição da planta é de suma importância para o enchimento de grãos e sementes e, conseqüentemente, sobre a qualidade das mesmas. Segundo Krzyzanowski, França-Neto e Costa (1991), o maior tamanho da semente influencia positivamente a produtividade da soja devido ao melhor estande gerado e ao conseqüente estabelecimento da cultura em campo, principalmente quando a semeadura é efetuada em condições de estresse climático, que exigem semeaduras mais profundas (MADANZI; CHIDUZA; RICHARDSON-KAGELER, 2010).

A altura de planta também foi influenciada pelas doses dos resíduos e fertilizante mineral (Gráfico 4 b). Observa-se maior crescimento das plantas em função do aumento das doses, com valores preditos nos pontos estacionários, como máximas alturas das plantas de 77,9; 76,8 e 65,1 cm, obtidas pelas correspondentes combinações de doses dos resíduos cama de frango, pó de carvão e esterco de curral: 5,50; 3,51 e 7,23 Mg ha⁻¹ em conjunto com as doses 200, 200 e 346,8 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral NPK. Observou-se, para os resíduos esterco de curral e pó de carvão, resposta pouco influenciada pelo aumento das doses orgânicas na ausência do fertilizante mineral (faixa verde das superfícies).

Esses resultados são semelhantes aos observados por Mandal, Hati e

Misra (2009) que obtiveram as maiores alturas nas plantas de soja quando houve associação entre o esterco de curral com o fertilizante mineral em relação ao uso isolado do fertilizante mineral e ao tratamento controle sem fertilizantes. As maiores alturas foram observadas na utilização da cama de frango, principalmente quando foram utilizadas as maiores doses, mesmo na ausência do fertilizante mineral, corroborando estudos realizados por Urnoetok et al. (2007). Estes autores, avaliando a utilização conjunta de diferentes doses de fertilizantes minerais e esterco de frango combinadas ou não, observaram as maiores alturas de plantas como resultado da aplicação conjunta dos insumos em seus maiores níveis.

As doses do fertilizante mineral influenciaram significativamente a altura de inserção do primeiro legume da soja que apresentaram resposta quadrática com a maior altura de inserção do primeiro legume obtido através da utilização de 215 kg ha⁻¹ do fertilizante NPK, estimando-se uma altura máxima de inserção de 26 cm (Gráfico 5). A menor altura observada, de 23,6 cm, condiz com os padrões aceitáveis para a colheita mecânica, uma vez que, com a utilização de colhedoras atuais, consegue-se bom desempenho com cultivares que apresentam inserção próxima a 12 cm.

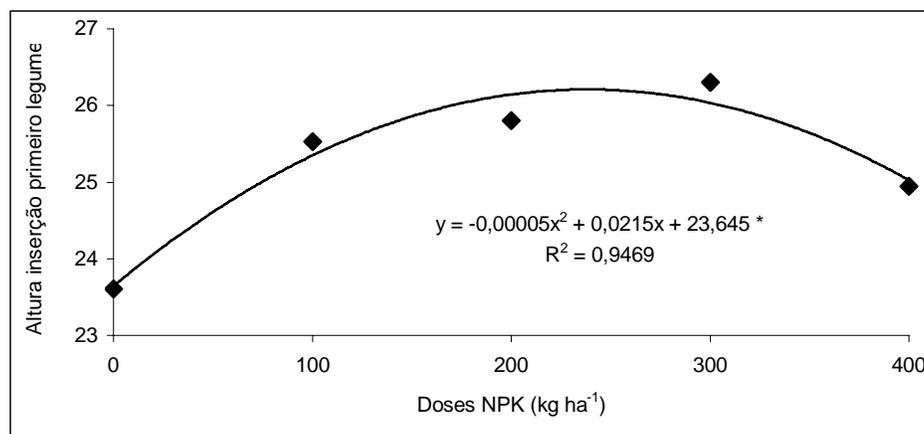


Gráfico 5 Equação de regressão para altura de inserção do primeiro legume (cm) em função das doses do fertilizante mineral NPK aplicadas. Itutinga, MG, 2010. * Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p \leq 0,01$)

4 CONCLUSÕES

A utilização prévia de resíduos orgânicos ricos em nutrientes representa uma promissora tecnologia, visando ao aumento sustentável da produtividade da soja.

É possível diminuir a dose dos fertilizantes minerais NPK por meio da prévia utilização de resíduos orgânicos ricos em nutrientes, mantendo os níveis de produtividade.

Deve-se atentar para a escolha criteriosa das doses e fontes de resíduos orgânicos na cultura da soja.

REFERÊNCIAS

ADELI, A. et al. Effects of broiler litter on soybean production and soil nitrogen and phosphorus concentrations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 1, p. 314-321, Jan./Feb. 2005.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo, 2010. 160 p.

BHATTACHARYYA, R. et al. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean–wheat system of the Indian Himalayas. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 2, p. 33-46, Jan. 2008.

BHATTACHARYYA, R. et al. Fertilization effects on yield sustainability and soil properties under irrigated wheat-soybean rotation of an Indian Himalayan upper valley. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v. 86, n. 2, p. 255-268, Jan. 2010.

BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; CARVALHO, L. B. Estudo comparativo do acúmulo de massa seca e macronutrientes por plantas de *Glycine max* (L.) Merr. e *Euphorbia heterophylla* L. **Ensaio e Ciência**, Campo Grande, v. 11, n. 2, p. 61-72, ago. 2007.

CASTRO, S. H. de; REIS, R. P.; LIMA, A. L. R. Custos de produção da soja cultivada sob sistema de plantio direto: estudo de multicasos no oeste da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1146-1153, nov./dez. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra grãos**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 23 set. 2010.

CORRÊA, J. C. et al. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1209-1219, set. 2008.

CUSTÓDIO, T. N.; MORAIS, A. R.; MUNIZ, J. A. Superfície de resposta em experimento com parcelas subdivididas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 1008-1023, out./dez. 2000.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de, FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 30, n. 2, p. 401-422, Apr./June 2010.

ELSHEIKH, E. A. E. et al. Effects of intercropping, Bradyrhizobium inoculation and chicken manure fertilisation on the chemical composition and physical characteristics of soybean seed. **Food Chemistry**, London, v. 112, n. 3, p. 690-694, Feb. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil: 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262 p.

FEHR, W. R. et al. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, Jan. 1971.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, jul./dez. 2008.

GHOSH, P. K. et al. Assessment of nutrient competition and nutrient requirement in soybean/sorghum intercropping system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 31, n. 1, p. 43-50, July 2009.

GONÇALVES JÚNIOR, et al. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n. 3, p. 660-666, maio/jun. 2010.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; COSTA, N. P. Efeito da classificação de sementes de soja por tamanho sobre sua qualidade e a precisão de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 13, n. 1, p. 59-68, jul. 1991.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. da. Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1477-1484, out. 2006.

LIU, M. et al. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 42, n. 9, p. 166-175, June 2009.

MADANZI, T.; CHIDUZA, C.; RICHARDSON-KAGELER, E. S. J. Effects of planting method and seed size on stand establishment of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill cv. Solitaire]. **Soil and Tillage Research**, London, v. 106, n. 2, p. 171-176, Jan. 2010.

MANDAL, K. G.; HATI, K. M.; MISRA, E. A. K. Biomass yield and energy analysis of soybean production in relation to fertilizer-NPK and organic manure. **Biomass & Bioenergy**, Amsterdam, v. 33, n. 12, p. 1670-1679, Dec. 2009.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. de O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p.101-110, jan./fev. 2008.

MORETI, D. et al. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 167-175, jan./fev. 2007.

MOTERLE, L. M. et al. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 256-265, abr./jun. 2009.

PASSOS, A. M. A. et al. Cinetina e nitrato de potássio em características agronômicas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 925-928, jul. 2008.

RASHAD, F. M.; SALEH, W. D.; MOSELHY, E. M. A. Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices. **Bioresource Technology**, London, v. 101, n. 15, p. 5952-5960, Aug. 2010.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RIBEIRO, D. O. et al. Comparação de adubação química com cama de frango na cultura da soja (*Glycine max*) em Latossolo vermelho amarelo distrófico no sudoeste goiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 5., 2009, Goiânia. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2009. 1 CD-ROM.

RITCHIE, S. W. et al. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service, 1997. 20 p. (Special Report, 53).

RUSSELLE, M. P.; ENTZ, M. H.; FRANZLUEBBERS, A. J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in north America. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 325-334, Mar./Apr. 2007.

SAINJU, U. M. et al. Poultry litter application increases nitrogen cycling compared with inorganic nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 3, p. 917-925, Mar. 2010.

SZOGI, A. A.; BAUER, P. J.; VANOTTI, E. M. B. Fertilizer effectiveness of phosphorus recovered from broiler litter. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 2, p. 723-727, Apr. 2010.

TAGOE, S. O.; HORIUCHI, T.; MATSUI, E. T. Effects of carbonized chicken manure on the growth, nodulation, yield, nitrogen and phosphorus contents of four grain legumes. **Journal of Plant Nutrition**, Berlin, v. 33, n. 5, p. 684-700, Jan. 2010.

TISCHNER, T. et al. Genetics of seed abortion and reproductive traits in soybean (*Glycine max*). **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 2, p. 464 - 473, Mar. 2003.

URNOETOK, S. B. A. et al. Effect of application of inorganic fertilizer and poultry manure on insect pests and yield of soybean (*Glycine max* L.) in the rain forest zone of Nigeria. **Journal of Food Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 5, n. 2, p. 149-152, Dec. 2007.

VILELA, L. A. F. et al. Comparação de adubo químico com cama de frango na adubação da soja (*Glycine max*), em Neossolo quartzarênico no sudoeste goiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 5., 2009, Goiânia. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2009. 1 CD-ROM.

WIEBOLD, W. J.; PANCIERA, M. T. Vasculature of soybean racemes with altered intraraceme competition. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 5, p. 1089-1093, Sept./Oct. 1990.

YU, W. et al. Effects of nutrient cycling on grain yields and potassium balance. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, London, v. 84, n. 3, p. 203-213, July 2009.