

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO  
JEQUITINHONHA E MUCURI - UFVJM**

**JUAN PAULO XAVIER DE FREITAS**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO,  
ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM  
FUNÇÃO DE SISTEMAS DE CULTIVO**

**DIAMANTINA - MG  
2010**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO,  
ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM  
FUNÇÃO DE SISTEMAS DE CULTIVO**

**JUAN PAULO XAVIER DE FREITAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:  
Prof. Dr. Enilson de Barros Silva

**DIAMANTINA - MG  
2010**

Ficha Catalográfica - Serviço de Bibliotecas/UFVJM  
Bibliotecária Viviane Pedrosa de Melo CRB6 2641

**F862a**  
**2010**

Freitas, Juan Paulo Xavier de

Atributos químicos de um neossolo quartzarênico, estado nutricional e produtividade do feijoeiro em função de sistemas de cultivo /Juan Paulo Xavier de Freitas– Diamantina: UFVJM, 2010.

60p.

Dissertação (Dissertação apresentada ao Curso de Pós- Graduação Stricto Sensu em Produção Vegetal) -Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

Orientador: Prof. Dr. Enilson de Barros Silva

1. Produtividade 2. Plantio direto 3. Arado de disco I. Título

**CDD 631.4**

**JUAN PAULO XAVIER DE FREITAS**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO,  
ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM  
FUNÇÃO DE SISTEMAS DE CULTIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 24/02/2010

Prof. Alexandre Christofaro Silva - UFVJM  
Membro

Prof. Luis Reynaldo Ferracciau Alleoni - ESALQ/USP  
Membro

Prof. Enilson de Barros Silva - UFVJM  
Presidente

DIAMANTINA - MG  
2010

## *OFEREÇO*

*A Deus, por nunca ter me faltado  
em todos os momentos que passei  
para chegar até aqui.*

## *DEDICO*

*A meus pais, Paulo Cesar de Freitas e  
Maria Beralda Xavier, pelo amor e  
conselhos que levarei pelo resto de  
minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição à minha formação acadêmica.

À CAPES, pela concessão de Bolsa de Estudos, e ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Ao meu orientador, Professor Dr. Enilson de Barros Silva, pelos ensinamentos, convivência durante o curso e, acima de tudo, pela confiança na minha capacidade.

Aos Professores do PPGPV, pela contribuição na minha vida acadêmica.

Aos Amigos do Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal (José Pereira, Patrícia, Vinícius, João Paulo, José Ricardo, Alexandre, Ricardo, Caio, Eder), pelo alegre convívio e trocas de experiências. Agradeço principalmente ao Ricardo, Eder e Caio, pela sinceridade, amizade e companheirismo.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos vocês o meu Muito Obrigado!

## RESUMO

FREITAS, J.P.X. **Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico, estado nutricional e produtividade do feijoeiro em função de sistemas de cultivo**, 2010. 60p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2010.

Este trabalho teve como objetivo comparar em três cultivos a produtividade, componentes de rendimento, atributos químicos do solo e a nutrição do feijoeiro em quatro sistemas de preparo do solo de um Neossolo Quartzarênico. O primeiro cultivo do feijoeiro foi realizado de abril a junho de 2006, o segundo, de novembro de 2006 a janeiro de 2007, e o terceiro de dezembro de 2008 a fevereiro de 2009. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados no esquema de experimento em faixas, com cinco repetições. Os tratamentos foram os seguintes preparos do solo: arado de disco, arado de aiveca, grade pesada e plantio direto com o uso de dessecante na vegetação. Os sistemas de preparo influenciaram nos atributos químicos do solo, na produtividade e nutrição do feijoeiro nas condições de Campo Limpo na Serra do Espinhaço Meridional. O plantio direto e grade pesada são os sistemas de preparo do solo mais adequados para a produção do feijoeiro, quando cultivado sob um Neossolo Quartzarênico.

**Palavras-chave:** produtividade, plantio direto, arado de disco, arado de aiveca, grade pesada.



## ABSTRACT

FREITAS, J.P.X. **Chemical attributes of a Quartzarenic Neossol, nutritional status and grain yield in terms of cropping systems**, 2010. 64p. Dissertation (Masters in Vegetable Production) – Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys, Diamantina, 2010.

This study aimed to compare three crop yields, yield components, soil chemical properties and nutrition of common bean in four tillage systems on soil conditions in Quartzarenic Neossol. The first crop of the common bean was in April-June, 2006, the second was from November, 2006 to January, 2007 and the third was from December, 2008 to February, 2009. The experimental design was randomized blocks of the scheme in split plot, with five replicates. The treatments were the following soil tillage: disk plow, moldboard plow, heavy offset disk harrow and no-tillage with the use of desiccant in vegetation. The tillage systems influenced the chemical properties of soil, yield and nutrition of bean plants under field conditions in the Campo Limpo in Serra of Espinhaço Meridional. No-till and heavy offset disk harrow are the most suitable soil tillage for the bean productivity when the growth is in a sandy soil.

**Keywords:** productivity, no-tillage, disk plow, moldboard plow, heavy offset disk harrow.

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

ARTIGO CIENTÍFICO I.		Pág.
Tabela 1	Resultado da análise química e granulométrica do solo antes da implantação do experimento na profundidade de 0-20cm.....	8
Tabela 2	Produtividade de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em quatro sistemas de preparo do solo durante três cultivos.....	10
Tabela 3	Atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em quatro sistemas de preparo do solo durante três cultivos do feijoeiro.	13
Tabela 4	Coeficiente de correlação linear simples (r) entre produtividade de grãos e atributos químicos do solo em três cultivos do feijoeiro e quatro sistemas de preparo do solo.....	16
ARTIGO CIENTÍFICO II.		
Quadro 1	Resultado da análise química e granulométrica do solo antes da implantação do experimento na profundidade de 0-20cm.....	26
Quadro 2	Atributos químicos do solo, ao longo da profundidade, em quatro sistemas de preparo em três cultivos do feijoeiro.....	30
Quadro 3	Coeficiente de correlação entre produtividade de grãos de feijão e atributos químicos do solo para diferentes profundidades.....	34
ARTIGO CIENTÍFICO III.		
Tabela 1	Resultado da análise química e granulométrica do solo antes da implantação do experimento na profundidade de 0-20cm.....	44
Tabela 2	Teores de macronutrientes nas folhas do feijoeiro submetidos a diferentes sistemas de preparo do solo em três cultivos.....	48
Tabela 3	Teores de micronutrientes nas folhas do feijoeiro submetidos a diferentes sistemas de preparo do solo em três cultivos.....	52
Tabela 4	Coeficientes de correlação linear simples (r) entre produtividade de grãos de feijão e os teores foliares de nutrientes em três cultivos do feijoeiro e em quatro sistemas de preparo do solo.....	54

## LISTA DE FIGURAS

<b>ARTIGO CIENTÍFICO I.</b>		
Figura 1	Distribuição mensal da precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima em Diamantina (MG) durante o cultivo do feijoeiro. Fonte: Inmet (2009).....	6
 <b>ARTIGO CIENTÍFICO II.</b>		
Figura 1	Distribuição mensal da precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima em Diamantina (MG) durante o cultivo do feijoeiro. Fonte: Inmet (2009).....	25
Figura 2	Produtividade de grãos de feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) cultivar Carioquinha submetida a diferentes sistemas de preparo do solo (AD - Arado de disco, AA - Arado de aiveca, GP - Grade pesada e PD - Plantio direto) em três cultivos (C1 - Abr a Jun/2006, C2 - Nov/2006 a Jan/2007 e C3 - Dez/2008 a Jan/2009). Significativo pelo teste de Scott & Knott a 5%.....	28
 <b>ARTIGO CIENTÍFICO III.</b>		
Figura 1	Distribuição mensal da precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima em Diamantina (MG) durante o cultivo do feijoeiro. Fonte: Inmet (2009).....	43
Figura 2	Produtividade de grãos de feijão submetidos a diferentes sistemas de preparo do solo (AD - Arado de disco, AA - Arado de aiveca, GP - Grade pesada e PD - Plantio direto) em três cultivos (C1 - Abr a Jun/2006, C2 - Nov/2006 a Jan/2007 e C3 - Dez/2008 a Jan/2009).....	46

## SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	2
ARTIGO CIENTÍFICO I.....	
1 Resumo.....	4
2 Abstract.....	4
3 Introdução.....	5
4 Material e métodos.....	6
5 Resultados e discussão.....	9
6 Conclusão.....	17
7 Referências.....	17
ARTIGO CIENTIFICO II.....	
1 Resumo.....	21
2 Summary.....	22
3 Introdução.....	23
4 Material e métodos.....	24
5 Resultados e discussão.....	27
6 Conclusões.....	34
7 Agradecimentos.....	35
8 Literatura Citada.....	35
ARTIGO CIENTIFICO III.....	
1 Resumo.....	39
2 Abstract.....	40
3 Introdução.....	41
4 Material e métodos.....	42
5 Resultados e discussão.....	45
6 Conclusões.....	56
7 Referências.....	56
CONCLUSÃO GERAL.....	60

## INTRODUÇÃO GERAL

Historicamente, o Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, tem se caracterizado como área de estagnação econômica, fortes desequilíbrios regionais, sociais e de emigração relativamente acelerada, quer no sentido campo/cidade, quer para fora do Vale e até mesmo interestadual. A agricultura é pouco desenvolvida, sendo a pecuária extensiva a principal atividade econômica regional. Apenas pequena quantidade de cereais, tubérculos e outros produtos de subsistência mais facilmente comercializáveis são produzidos. A agricultura familiar, que predomina em todo o Vale, não preenche adequadamente as necessidades da população. A ocupação pela agropecuária revela a predominância de baixa incorporação tecnológica na Região. Embora haja crédito à agricultura, com a assistência técnica restrita, o incorreto manejo do solo e da água reduz drasticamente o potencial agropecuário da Região.

Os sistemas agrícolas representam uma alternativa de produção na região, principalmente no que se refere à conservação ambiental, à diversificação de produtos e geração de rendas. O desenvolvimento de tecnologias e práticas de produção agrícola adequada que aumentem a produção e, ao mesmo tempo, evitem a degradação do solo e ampliem a diversidade biológica são premissas básicas para a implantação sustentável no Vale.

Os sistemas de manejo do solo são divididos em três grupos: sistema convencional, quando o solo é lavrado e a superfície fica exposta; cultivo mínimo, quando há menor mobilização do solo do que o normalmente utilizado numa região; o plantio direto ou nenhum preparo, o qual consiste em depositar a semente diretamente no solo não preparado, cujas plantas daninhas foram dessecadas através do uso de herbicidas (SCHULTZ, 1987; PHILLIPS e YOUNG, 1973).

A adoção do sistema de plantio direto vem se expandindo no Brasil, ocupando uma área de mais de 25 milhões de hectares, principalmente nos estados do PR, MT, GO, MG, apresentando-se como uma alternativa ao sistema convencional de preparo do solo, que pode contribuir para a sustentabilidade de sistemas agrícolas. Nesse aspecto, uma das principais metas da pesquisa em manejo de solos é identificar e desenvolver sistemas de manejo adaptados às condições edafoclimáticas, sociais e culturais regionais (SALTON et al., 2001; COSTA et al., 2003).

Além das condições edafoclimáticas, sistema de cultivo, tempo de uso dos diferentes sistemas de manejo e a condição de umidade do solo durante o preparo determinam os efeitos do manejo sobre as propriedades físicas e químicas do solo. Isso explica, em parte, os

diferentes resultados obtidos quanto ao efeito dos sistemas de preparo convencional e plantio direto na densidade do solo, na porosidade e na resistência do solo à penetração (ELTZ et al., 1989; BERTOL et al., 2000) e na fertilidade do solo (DE MARIA et al., 1999; MATOWO et al., 1999; SANTOS e TOMM, 1999; SILVEIRA e STONE, 2001; SANTOS et al., 2003).

Portanto, o sistema de manejo do solo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para obtenção de adequadas produtividades das culturas em longo prazo. A relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo seu efeito nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (DORAN e PARKIN, 1994).

Na Serra do Espinhaço, solos originados de quartzito possuem textura arenosa, baixa fertilidade natural, são ácidos e estão cobertos por vegetação de campos rupestres. O campo rupestre é uma fitofisionomia que ocorre em áreas de afloramentos rochosos, em altitudes variando entre 800 a 2.000 metros. Essa vegetação possui, em grande parte, uma flora endêmica, onde espécies de velosiáceas são comuns.

A utilização de solos arenosos pelos pequenos produtores, sem práticas conservacionistas, proporciona a perda de solo pela erosão hídrica e eólica. Essa realidade deve ser estudada no sentido de se proporcionar um melhor manejo de solos de textura arenosa, para produção de produtos agrícolas de forma sustentável, com o objetivo de fixação do pequeno produtor rural no município e, conseqüentemente, na região do Vale do Jequitinhonha.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F.; DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 91-95, 2000.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

DE MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C.; CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam v. 51, p. 71-79, 1999.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C. BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (Special publication, 35).

MATOWO, P.R.; PIERZYNSKI, G.M.; WHITNEY, D.; LAMOND, R.E. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. . **Soil Tillage Reseach**, v. 50, p. 11-19, 1999.

PHILLIPS, H., YONG, H. M. **Agricultura sim laboreo-labranza cero**. Tradução por E. Marchesi. Montevideo: Hemisferio sur, 1973, 223p. Tradução de No-tillage farming.

SALTON, J.C.; FABRICIO, A.C.; HERNANI, L.C. Rotação lavoura pastagem no sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 92-99, jan/fev, 2001.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, p. 259-265, 1999.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O.; SPERA, S.T. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 545-552, 2003.

SCHULTZ, L.A. **Manual do plantio direto: técnicas e perspectivas**. 2ed. Porto Alegre: Sagra, 1987. 124 p.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 387-394, 2001.

**ARTIGO CIENTÍFICO I**

**Acta Scientiarum. Agronomy**

**ISSN 1679-9275 (impresa) e ISSN 1807-8621 (on-line)**



## **Influência dos sistemas de preparo no cultivo do feijoeiro em um Neossolo Quartzarênico no Alto Vale do Jequitinhonha**

**RESUMO.** Este trabalho teve como objetivo comparar a produtividade, componentes de rendimento e atributos químicos do solo no cultivo do feijoeiro em quatro sistemas de preparo do solo em um Neossolo Quartzarênico no Alto Vale do Jequitinhonha. O primeiro cultivo do feijoeiro foi realizado entre abril e junho de 2006, o segundo, de novembro de 2006 a janeiro de 2007, e o terceiro, de dezembro de 2008 a fevereiro de 2009. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados no esquema de experimento em faixas, com cinco repetições. Os tratamentos foram os seguintes preparos do solo: arado de disco, arado de aiveca, grade pesada e plantio direto com o uso de dessecante na vegetação natural. O plantio direto e grade pesada são os sistemas de preparo do solo mais adequados para a produção do feijoeiro, quando cultivado em solos arenosos no Alto Vale do Jequitinhonha. Os sistemas de preparo influenciaram os atributos químicos do solo, sendo o magnésio, capacidade de troca de cátions a pH 7,0 e o carbono orgânico do solo os responsáveis pelo aumento de produtividade do feijoeiro.

**Palavras-chave:** produtividade, plantio direto, arado de disco, arado de aiveca, grade pesada.

## **Influence of tillage systems in the cultivation of beans in Quartzarenic Neossol in the High Jequitinhonha Valley**

**ABSTRACT.** This study aimed to compare the productivity, yield components and soil chemical properties in common bean cultivation in four systems of tillage in Quartzarenic Neossol in the High Jequitinhonha Valley. The first crop of beans was conducted in April-June, 2006, the second was from November, 2006 to January, 2007 and the third was from December, 2008 to February, 2009. The experimental design was a randomized block experiment in the scheme of track, with five replicates. The treatments were the following soil tillage: disc plow, moldboard plow, heavy offset disk harrow and no-tillage with the use of desiccants in natural vegetation. No-till and heavy offset disk harrow are the most suitable soil tillage for the bean production when the growth is on sandy soils in the High Jequitinhonha Valley. Soil tillage influenced soil chemical properties, considering that magnesium (Mg), CTC at pH 7.0 (T) and soil organic carbon (OC) are responsible for the increase in yield.

**Keywords:** productivity, no-tillage, disk plow, mold-board plow, heavy offset disk harrow.

## **Introdução**

O Alto Vale do Jequitinhonha é uma região onde a agricultura é pouco desenvolvida e os sistemas agrícolas são deficientes e com baixos índices de produtividade, resultando em altas taxas de degradação ambiental. Esse problema é decorrente, principalmente, do manejo inadequado dos sistemas de preparo do solo, como revolvimento excessivo, uso intensivo de sistemas convencionais, que normalmente vêm causando degradação e perda da sua qualidade estrutural, pela degradação da matéria orgânica e a compactação da camada subsuperficial.

A busca pelo preparo ideal de solo tem impulsionado o desenvolvimento de pesquisas que promovam sistemas de preparo de solo que proporcionem boas condições de semeadura e desenvolvimento adequado da planta. Dentre os sistemas de preparo do solo, destacam-se os preparos convencionais, os preparos mínimos do solo e o plantio direto. Entre eles, sem dúvida, os mais tradicionais são principalmente os convencionais e o preparo mínimo. Já o sistema plantio direto se destaca pela maior conservação física dos solos (SILVA et al., 2006).

Os domínios de campos rupestres da região de Diamantina são ruins para a lavoura e pastagens (MARTINS, 2006). Portanto, sistemas de manejo com menor revolvimento, como o cultivo mínimo ou plantio direto, têm sido mais viáveis em virtude da maior proteção que conferem ao solo, pela restrita mobilização da camada arável e maior diversificação de espécies, nas condições agroecológicas de campo rupestre, conciliando produtividade satisfatória, economicidade e equilíbrio ambiental.

A contínua expansão das áreas de plantio direto reflete o reconhecimento entre técnicos e produtores dos benefícios que esse sistema proporciona. O plantio direto está ocupando uma área com mais de 25 milhões de hectares no Brasil, principalmente nos Estados do PR, MT, GO, MG, sendo uma alternativa ao sistema convencional de preparo do solo, que pode contribuir para a sustentabilidade de sistemas agrícolas.

O plantio direto provoca alterações das propriedades químicas do solo, melhorando a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas (SANTOS; TOMM, 1996). A matéria orgânica e os nutrientes tendem a acumular na superfície do solo em razão do seu não revolvimento (MUZILLI, 1983; KLEPKER; ANGHINONI, 1995; SILVEIRA; CUNHA, 2002; BAYER et al., 2004). Várias pesquisas têm mostrado que a biomassa microbiana é maior em solos de sistema plantio direto do que em plantio convencional (BALOTA et al., 1998, 2003, 2004; FRANCHINI et al., 2007).

O rendimento de grãos na maioria das culturas sob diferentes manejos do solo apresenta, entretanto, comportamentos variáveis (KLUTHCOUSKI et al., 1999). Alguns autores afirmam que sistemas de preparo do solo não influenciam no rendimento do feijoeiro

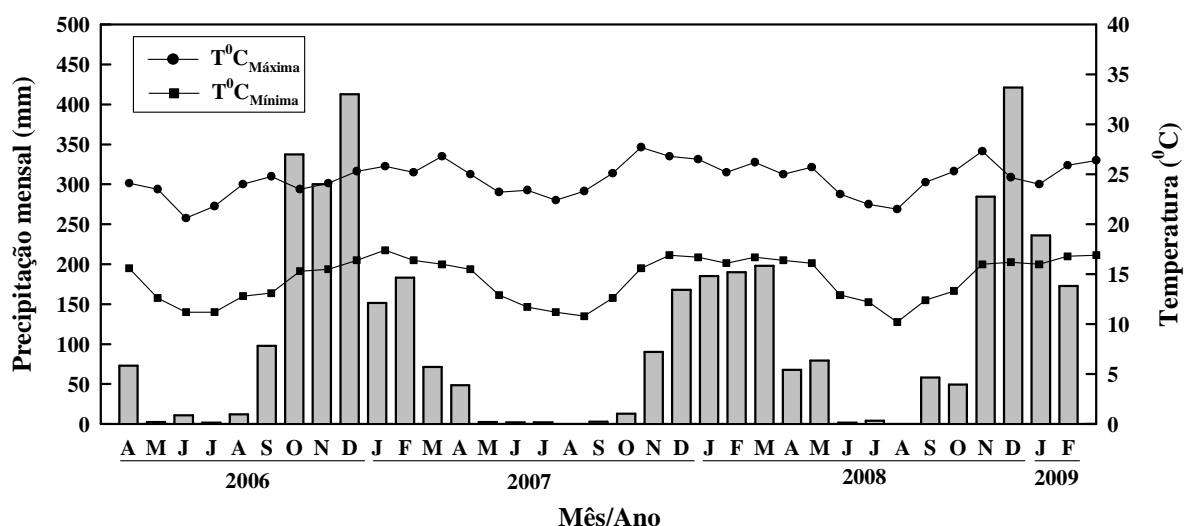
(STONE; MOREIRA, 2000; SILVA et al., 2004). Silva et al. (2004) encontraram maiores produtividades no sistema convencional quando comparado ao sistema plantio direto no cultivo do feijoeiro. No entanto, foi relatada superioridade do sistema de plantio direto, o qual apresentou resultados de maior produtividade do feijoeiro ao ser comparado aos sistemas convencionais (STONE; SILVEIRA, 1999).

Este trabalho teve como objetivo comparar a produtividade, componentes de rendimento e atributos químicos do solo no cultivo do feijoeiro em quatro sistemas de preparo do solo em um Neossolo Quartzarênico no Alto Vale do Jequitinhonha.

## Material e métodos

A área do experimento está localizada em Diamantina/MG, na região do Alto Vale do Jequitinhonha, sob as seguintes coordenadas: latitude 18° 12' 3'' S e longitude 43° 34' 18'' W de Greenwich. A área experimental está situada a 1.350 m de altitude, com precipitação anual média de 1.082 mm, temperatura média de 19,4°C, sendo o regime climático da região tipicamente tropical, Cwb na classificação de Köppen (NEVES et al., 2005)

Os dados de precipitação pluviométrica e temperatura máxima e mínima do período experimental de novembro de 2005 a fevereiro de 2009, expressos na Figura 1, foram obtidos na Estação Meteorológica de Diamantina/ MG (INMET, 2009). O solo da área experimental é um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, fase Campo Limpo, relevo ondulado e textura arenosa (EMBRAPA, 2006), com declividade de 7,0%.



**Figura 1.** Distribuição mensal da precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima em Diamantina (MG) durante o cultivo do feijoeiro. Fonte: Inmet (2009)

Foram realizados três cultivos do feijoeiro: o primeiro cultivo (C1) do feijoeiro foi realizado entre abril e junho de 2006, o segundo (C2), de novembro de 2006 a janeiro de 2007

e o terceiro (C3), de dezembro de 2008 a fevereiro de 2009. A área experimental antes do C1 possuía como vegetação nativa plantas das famílias Fabaceae, Asteraceae, Malpigiaceae, Lamiaceae, Rubiaceae, Eriocaulaceae, Orchidaceae, Cyperaceae, Poaceae, Bromeliaceae. O sistema de classificação adotado foi o APG II (APG, 2003). No período de fevereiro de 2007 a dezembro de 2008, a área experimental ficou em pousio, onde prevaleceram as espécies *Solanum americanum*, *Bidens pilosa*, *Acanthospermum hispidum*, *Digitaria sanguinalis*, *Emilia fosbergii*, *Tagetes minuta*.

A população do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) foi de 240.000 plantas por há, da cultivar Carioquinha, no espaçamento de 0,5 m entre linhas e 12 sementes por metro linear. Foi realizada adubação fosfatada corretiva com superfosfato simples (8 kg de  $P_2O_5$  por ha para  $10,0 \text{ g/kg}^{-1}$  de argila) com um dia de antecedência do plantio no primeiro e segundo cultivos. A adubação de plantio foi realizada conforme recomendação de Chagas et al. (1999), baseada na análise química do solo (Tabela 1). Em todos os cultivos do feijoeiro foram feitos os tratos culturais e fitossanitários, conforme Paula Júnior e Venzon (2007).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados no esquema de experimento em faixas, com cinco repetições. Os tratamentos testados foram os seguintes: AD = preparo do solo com arado de disco (três discos de 71,1 cm de diâmetro à profundidade de 25 cm) e grade niveladora (24 discos de 35,6 cm de diâmetro e profundidade de trabalho de 5 cm); AA = arado de aiveca (fixo com três aivecas com profundidade de trabalho de 25 cm) e grade niveladora; GP = grade pesada (18 discos de 40,6 cm de diâmetro, à profundidade de 15 cm) e grade niveladora e PD = plantio direto com a utilização de roçadeira e dessecante na vegetação natural. Os blocos foram dispostos perpendicularmente à declividade do terreno com cinco blocos e quatro parcelas, sendo a área total de cada parcela de  $20 \text{ m}^2$  (2 x 10m), com a parcela útil de  $8 \text{ m}^2$  (1 x 8 m) e a área experimental de  $1.300 \text{ m}^2$  (65 x 20 m).

Inicialmente, foi cortada a vegetação da área com roçadeira de tração mecânica nos tratamentos AA, AD e GP, com aplicação de 50% da dose de calcário, antes da utilização dos implementos, e 50% antes da utilização da grade niveladora, com antecedência de 90 dias do plantio do feijoeiro, conforme recomendação de Alvarez V. e Ribeiro (1999), baseada na análise de solo (Tabela 1). A quantidade de calcário foi determinada com o PRNT de 90% e os dados obtidos pela profundidade de penetração dos implementos AD, AA, GP e o PD, considerando a profundidade de 5 cm no solo. As quantidades de calcário no C1 e C3 foram de  $2,4 \text{ t ha}^{-1}$  para os sistemas de preparos AD e AA;  $1,5 \text{ t ha}^{-1}$  para o AA e  $0,5 \text{ t ha}^{-1}$  no PD. No C2 as quantidades de calcário foram  $1,4 \text{ t ha}^{-1}$  para os sistemas de preparo AD e AA;  $0,9 \text{ t ha}^{-1}$

para o AA e 0,3 t ha<sup>-1</sup> no PD. O plantio do feijão foi realizado com plantadora adubadora convencional.

**Tabela 1.** Resultado da análise química e granulométrica do solo antes da implantação do experimento na profundidade de 0-20cm.

Características	Primeiro cultivo (C1)
pH em H <sub>2</sub> O (1:2,5) <sup>(1)</sup>	5,3
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	2,0
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	28
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,2
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,2
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,6
CTC <sup>(2)</sup> a pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,3
V (%) <sup>(3)</sup>	14
C.O. <sup>(4)</sup> (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	4,1
Areia (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	880
Silte (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	60
Argila (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	60

<sup>(1)</sup>Silva (2009). <sup>(2)</sup>Capacidade de troca de cátions. <sup>(3)</sup>Saturação por bases. <sup>(4)</sup>Carbono orgânico. <sup>(5)</sup>Embrapa (1997). Extrator de P e K - Mehlich-1 e Ca, Mg e Al - KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Textura pelo método da pipeta.

No tratamento PD foi feita roçada, aplicação do herbicida glyphosate, na dose de 960 g do i.a. ha<sup>-1</sup>, o que equivale a 2 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial. Conforme recomendação de Alvarez V. e Ribeiro (1999), a calagem foi feita antes do plantio, com dosagem calculada na quantidade para incorporação a 5 cm, com 90 dias de antecedência do plantio do feijoeiro. No segundo cultivo do feijoeiro, no tratamento PD foi feita a aplicação de 30 kg de N por ha na forma de sulfato de amônio antes do plantio sobre a palhada, conforme recomendação de Sá (1999). O plantio do feijão foi feito com plantadora adubadora de arrasto de plantio direto.

Na colheita do feijoeiro foram avaliadas as características: número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos, produtividade da cultura com umidade dos grãos corrigida para 12% e os atributos químicos do solo, em amostras compostas retiradas na profundidade de 0 a 20 cm por parcela útil em cada cultivo. As análises químicas do solo foram assim realizadas: pH em água; Ca, Mg e Al extraídos pelo KCl 1mol L<sup>-1</sup>; P e K pelo Mehlich-1 e carbono orgânico pelo método colorimétrico (SILVA, 2009).

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância e as médias dos sistemas de preparo do solo e cultivo do feijoeiro foram submetidas ao teste de Scott & Knott a 5%.

## **Resultados e discussão**

### **Produtividade e componentes de rendimento do feijoeiro**

Houve evolução na produtividade de grãos de feijão no decorrer dos cultivos no sistema de preparo convencional (AD e AA) e, principalmente, nos sistemas conservacionistas (GP e o PD) (Tabela 2).

No cultivo C1, no geral os preparos do solo tiveram produtividade baixa de grãos de feijão, pelo fato de a época de plantio – inverno, ser de baixa precipitação pluviométrica durante o ciclo da cultura (Figura 1). Segundo Gomes et al. (2000), a produtividade do feijoeiro é influenciada pelo regime hídrico, que pode afetar o crescimento das raízes do feijoeiro e, conseqüentemente, a absorção e translocação de nutrientes. Stone e Moreira (2000) observaram o efeito benéfico da semeadura direta com adequada cobertura morta, favorecendo os componentes da produtividade do feijoeiro, especialmente em situações com irrigação deficitária.

No cultivo C2, os procedimentos de preparo foram os mesmos do C1, mas houve uma evolução na produtividade nos sistemas de preparo conservacionistas (GP e PD), quando eles se igualam na produção com os outros sistemas de preparo (Tabela 2). No PD isso pode ser justificado pela aplicação de 30 kg de N antes do plantio sobre a palhada da vegetação presente, conforme recomendação de Sá (1999). A menor imobilização pela microbiota do N aplicado no plantio para o feijoeiro, já que a sua quantidade disponível na palha não é adequada para a microbiota decompositora, implicaria na imobilização e diminuição da disponibilidade de N para a cultura (TEIXEIRA et al., 2009). A maior produtividade no C2 se deve à época de plantio (“plantio das águas”), quando houve uma maior disponibilidade hídrica para a cultura do feijoeiro (Figura 1) e, possivelmente, a melhor mineralização de N, em razão da maior decomposição da matéria orgânica pela microbiota do solo (MARQUES et al., 2000), nos sistemas de preparo do solo GP e PD (Tabela 2).

**Tabela 2.** Produtividade de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em quatro sistemas de preparo do solo durante três cultivos.

Sistema de preparo Do solo	Cultivo do Feijoeiro			Média
	C1 (Abr a Jun/2006)	C2 (Nov/2006 a Jan/2007)	C3 (Dez/2008 a Jan/2009)	
..... Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) - CV% = 47,3 .....				
Arado de disco	345,7aA	326,0aA	439,6bA	370,4a
Arado de Aiveca	196,0bB	411,0aB	770,1bA	459,1a
Grade Pesada	191,5bB	427,0aB	1.016,4aA	545,0a
Plantio Direto	141,9bB	303,7aB	992,9aA	479,5a
Média	218,8C	366,9B	804,8A	
..... Número de vagem por planta (NVP) - CV% = 7,9 .....				
Arado de disco	6,0aA	3,8bB	3,3dC	4,3b
Arado de Aiveca	3,9cB	5,2aA	4,1cB	4,4b
Grade Pesada	4,6bC	5,4aB	7,0aA	5,6a
Plantio Direto	1,3dC	3,4bB	4,8bA	3,1c
Média	3,9C	4,4B	4,8A	
..... Número de grãos por vagem (NGV) - CV% = 9,8 .....				
Arado de disco	7,2aA	4,4aB	2,6bC	4,7a
Arado de Aiveca	6,3bA	4,4aB	3,3bC	4,7a
Grade Pesada	6,8aA	4,2aB	3,7aB	4,9a
Plantio Direto	3,7cA	4,2aA	3,8aA	3,9a
Média	6,0A	4,3B	3,4C	
..... Peso (g) de 100 grãos (P100G) - CV% = 26,0 .....				
Arado de disco	10,1aB	8,1aB	51,8aA	23,3a
Arado de Aiveca	10,6aB	7,5aB	28,9bA	15,6b
Grade Pesada	11,0aB	8,5aB	34,3bA	17,9b
Plantio Direto	4,2aB	8,8aB	47,9aA	20,3a
Média	9,0C	8,2B	40,7A	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5%.

No cultivo C3, houve uma menor evolução na produtividade do feijoeiro nos sistemas de preparo do solo AD e AA, em relação aos outros dois sistemas de preparo (GP e PD) (Tabela 2). Isso se justifica pelos sistemas de preparo do solo (AD e AA) porque tendem a pulverizar o solo, deixando assim o solo mais susceptível ao processo de erosão e formação de impedimentos mecânicos sob a camada arável (SANTOS; TOMM, 1996; SILVEIRA; CUNHA, 2002). Os sistemas conservacionistas proporcionaram as maiores produtividades do feijoeiro, o que pode ser explicado, possivelmente, pela maior conservação, manutenção dos nutrientes, matéria orgânica e, consecutivamente, a microbiota do solo (SANTOS; TOMM, 1996; SILVEIRA; CUNHA, 2002; BAYER et al., 2004; FRANCHINI et al., 2007), que fizeram com que a planta do feijoeiro tivesse maiores rendimentos na sua produção. Resultados parecidos foram observados por Yokoyama et al. (2002) na cultura do milho, com maiores valores de produtividade no plantio direto quando comparado ao sistema convencional, fato atribuído ao revolvimento do solo pelo arado de aiveca. Já Stone e Moreira (2001) afirmaram que o feijoeiro apresentou maior produtividade quando cultivado em solo preparado com grade pesada, quando comparado ao plantio direto.

Não houve diferenças na produtividade do feijoeiro entre as médias dos sistemas de preparo do solo nos três cultivos (Tabela 2). De acordo com Stone e Moreira (2000), os sistemas de manejo do solo afetam desigualmente a sua densidade e porosidade e o armazenamento de água ao longo do perfil, interferindo diretamente no desenvolvimento e na produtividade das culturas.

Entre os componentes de rendimento do feijoeiro, o número de vagens por planta (NVP) e o número de grãos por vagem (NGV) tiveram influência dos sistemas de preparo do solo entre os cultivos (Tabela 2). O NVP com menor média entre os cultivos foi no primeiro cultivo, o que provavelmente ocorreu em razão de o feijoeiro ter sido cultivado em condições de baixa pluviosidade (Figura 1). Conforme Gomes et al. (2000), quando o feijoeiro é cultivado em condições de deficiência hídrica, o NVP é o componente mais afetado.

Ao longo dos cultivos, observa-se um declínio no NGV no sistema de preparo convencional (AD e AA) em relação aos sistemas de preparo considerados conservacionistas (GP e PD) (Tabela 2). Isso corrobora os dados de Stone e Moreira (2000), os quais, comparando o sistema plantio direto com duas densidades de palhada com outros sistemas de preparo, observaram que o NVP foi maior no plantio direto com mais cobertura por palha. No C1, o NVP foi maior no AD e menor no PD (Tabela 2), sendo que no C2 foi superior nos sistemas de preparo AA e GP, ficando inferior nos sistemas de AD e PD (STONE; MOREIRA, 2001, SORATTO et al., 2003; GOMES JÚNIOR et al., 2008). No C2, os sistemas de preparo do solo GP e PD tiveram melhores valores de NVP, seguidos pelos sistemas convencionais (AD e AA).

No NGV, observa-se queda na média ao longo dos cultivos do feijoeiro (Tabela 2), quando os menores valores foram no C3; isso possivelmente se deve ao fato de o feijoeiro ter sido afetado pela mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*) em decorrência do volume elevado de chuvas no período da formação de vagens (Figura 1), quando as vagens já formadas foram seriamente prejudicadas no enchimento dos grãos. No C1, os sistemas de preparo do solo com AD e GP não tiveram diferença significativa, seguidos, na ordem, pelo AA e do PD e não havendo diferença no C2 entre os sistemas de preparo do solo. Isso está de acordo com Stone e Moreira (2000) e Farinelli et al. (2006), que avaliaram os sistemas de manejo do solo e verificaram que eles não interferiram no NGV. Já no C3, o sistema de preparo do solo GP e PD proporcionaram os melhores desempenhos, seguidos do AD e AA.

Nos dois primeiros cultivos (C1 e C2), os sistemas de preparo do solo não promoveram alteração no peso de 100 grãos (P100G) do feijoeiro (Tabela 2), fato observado por Stone e Moreira (2000). Já no C3, os preparos do solo com AA e GP obtiveram os



menores rendimentos no P100G, sendo o AD e o PD os sistemas de preparo com maior rendimento.

### **Atributos químicos do solo e produtividade do feijoeiro**

Os atributos químicos do solo foram influenciados pelos sistemas de preparo (Tabela 3). Observa-se que no C1 o menor pH foi encontrado no PD, o que possivelmente se deve ao não revolvimento e incorporação do calcário e restos culturais desse sistema. Já os maiores valores do pH no C1 foram encontrados nos sistemas AA e GP, seguidos do AD. Prado e Natale (2004), ao avaliarem o efeito dos modos de incorporação de calcário com grade pesada, aração e grade super pesada, não verificaram alteração do pH do solo até a profundidade de 30 cm. Teixeira et al. (2003) obteve maior valor de pH na camada de 0-20 cm com a grade pesada, o que pode ser justificado pelo maior grau de trituração e incorporação de material vegetal. No C2, nota-se que no PD houve uma considerável evolução no valor do pH. No entanto, o PD, juntamente com o AD, tiveram os menores valores de pH, enquanto o AA e GP obtiveram os maiores valores do pH. Isso é plausível em função do revolvimento e melhor incorporação do calcário (PRADO; NATALE, 2004). No C3, o maior valor do pH foi encontrado no sistema de preparo do solo GP, seguido pelos sistemas AA, AD e PD (Tabela 3). Isso pode ser explicado pelo revolvimento do solo, distribuição e incorporação do calcário e restos culturais ao solo com os implementos em relação ao plantio direto (MATOWO et al., 1999; SILVA; SILVEIRA, 2002; FALLEIRO et al., 2003; SANTOS; TOMM, 2003;),

Em relação aos teores de P no solo, observa-se superioridade das médias dos valores no C1 e C2, o que pode ser explicado pela textura arenosa desse solo, possibilitando a menor retenção do fósforo adicionado na fosfatagem corretiva, feita antes desses dois cultivos (Tabela 3). No C2, o maior teor de P foi no sistema PD, podendo ser justificado pelo acúmulo de P na fosfatagem corretiva feita no C1 e C2. O acúmulo de P disponível em superfície no PD pode ser atribuído à aplicação do P em superfície aliada ao não-revolvimento do solo, como também à baixa mobilidade do elemento no perfil do solo, que favorece a redistribuição de formas orgânicas do elemento (BAYER; BERTOL, 1999; SIQUEIRA NETO et al., 2009).

No C3, os maiores teores de P observados foram no PD e GP, seguidos na ordem pelos sistemas AD e AA. O declínio nos teores de P no solo, obtido nos sistemas de preparo do C1 para o C3, pode ser explicado pela adição desse nutriente nas camadas superficiais, ao efeito de concentração, às reações de adsorção e à sua reciclagem pela mineralização dos resíduos (BAYER; BERTOL, 1999; SÁ, 1999; SILVEIRA et al., 2000).

**Tabela 3.** Atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em quatro sistemas de preparo do solo em três cultivos do feijoeiro.

Cultivo Do feijão	Sistema de preparo do solo				Média
	Arado de disco	Arado de Aiveca	Grade Pesada	Plantio Direto	
..... pH água - CV% = 10,9 .....					
C1	5,3bB	5,7aA	5,6bA	4,9bC	5,4b
C2	5,6aB	5,7aA	6,7aA	5,6aB	5,9a
C3	4,9cC	5,3bB	5,5bA	4,7cD	5,1c
Média	5,3C	5,6B	5,9A	5,1D	
..... P (mg dm <sup>-3</sup> ) - CV% = 28,4 .....					
C1	33,1aA	30,8aA	15,9bC	22,2bB	23,0a
C2	27,9bB	14,7bD	20,5aC	36,7aA	25,0a
C3	3,4cB	4,6cB	23,5aA	23,3bA	13,7b
Média	21,5B	16,7C	13,3C	27,4A	
..... K (mg dm <sup>-3</sup> ) - CV% = 17,0 .....					
C1	34,7aC	46,0aA	32,5aC	41,0aB	38,5a
C2	22,0bB	14,5bC	34,5aA	32,5bA	25,9b
C3	31,0aB	43,3aA	17,8bC	34,8bB	31,7a
Média	29,3B	34,6A	28,3C	36,1D	
..... Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - CV% = 18,9 .....					
C1	1,0aA	0,7bA	0,9aA	0,4aB	0,8a
C2	0,3cB	0,5bB	1,0aA	0,4aB	0,6b
C3	0,7bB	1,1aA	1,1aA	0,6aB	0,9a
Média	0,7C	0,8B	1,0A	0,5D	
..... Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - CV% = 28,7 .....					
C1	0,5aA	0,5bA	0,4bA	0,2aB	0,4b
C2	0,2aA	0,2cA	0,4bA	0,2aA	0,3b
C3	0,4aB	0,8aA	0,9aA	0,3aB	0,6a
Média	0,4C	0,5B	0,6A	0,3D	
..... Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - CV% = 10,0 .....					
C1	0,2aB	0,3aB	0,3aB	0,8aA	0,4a
C2	0,2bA	0,1bB	0,1bB	0,2cA	0,2b
C3	0,3aB	0,2bC	0,1bD	0,5bA	0,3b
Média	0,2B	0,2B	0,1B	0,5A	
..... CTC a pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - CV% = 9,74 .....					
C1	4,8aA	3,0bB	3,4aB	3,3aB	3,6a
C2	2,4bA	2,8bA	2,7bA	2,5bA	2,6c
C3	2,8bB	3,4aA	3,3aA	2,8bB	3,1b
Média	3,3A	3,1A	3,1A	2,9B	
..... C.O. (g dm <sup>-3</sup> ) - CV% = 10,87 .....					
C1	4,4aA	4,4bA	4,7bA	4,7aA	4,5b
C2	4,5aB	6,9aA	6,6aA	5,0aB	5,7a
C3	4,7aB	6,9aA	6,9aA	5,3aB	5,9a
Média	4,5C	6,0A	6,0A	5,0B	
..... V (%) - CV% = 12,76 .....					
C1	34bB	47bA	43bA	22bC	37b
C2	26cB	28cB	57aA	31aB	35b
C3	42aB	59aA	61aA	36aB	50a
Média	34B	45A	54A	30B	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5%. Cultivo do feijão: C1 - Abr a Jun/2006, C2 - Nov/2006 a Jan/2007 e C3 - Dez/2008 a Jan/2009

No C1, o teor de K no solo é mais elevado no sistema AA, seguido, na ordem pelos sistemas PD e AD, que não se diferenciou estatisticamente da GP (Tabela 3). No entanto, no C2 os sistemas de preparo PD e GP tiveram os maiores teores de K, o que possivelmente se

deve ao menor revolvimento do solo por esses sistemas, já que o K tem maior mobilidade no solo (Tabela 3). No C3, o sistema AA teve maior teor de K, seguido pelo AD e PD, que não se diferenciaram da GP (Tabela 3). Silveira et al. (2000) observaram que o K obteve maiores teores no sistema plantio direto na profundidade de 0-5 cm, seguido em ordem pela grade e arado de aiveca, e relacionaram os menores teores no arado com a inversão da camada superficial do solo. Na profundidade de 5-20 cm, Silveira et al.(2000) obtiveram maiores teores de K no sistema de grade pesada, seguidos, na ordem, pelo arado de aiveca e plantio direto. Silva e Silveira (2002), ao compararem os sistemas agrícolas considerando diferentes camadas do perfil, constataram diferença significativa entre eles, com relação ao K, apenas nas profundidades de 0-5 cm e de 5-10 cm.

Os maiores teores de Ca no C1 foram obtidos nos sistemas que removem o solo (Tabela 3). No C2, o maior teor de Ca foi encontrado no sistema GP, seguido pelos demais sistemas de preparo, que não se diferenciaram entre si. Já no C3, os maiores teores de Ca foram encontrados nos sistemas AA e GP, seguidos, na ordem, pelo AD e PD, que não se diferiram estatisticamente. A maior incorporação do calcário no sistema de preparo AD e AA disponibilizou maiores teores de Ca no solo para o feijoeiro. O PD teve o menor teor de Ca no solo, pelo fato de o calcário haver sido aplicado na superfície sem a sua incorporação (CAIRES et al., 2000). A utilização de GP promove uma incorporação mais rasa do calcário do que os arados (DEDECEK et al., 1986; PRADO; NATALE, 2004), de modo geral, com teores intermediários de Ca no solo.

O teor de Mg teve o mesmo comportamento do Ca no C1, tendo seus maiores teores nos sistemas que removem o solo e obtendo os menores teores no sistema PD (Tabela 3), o que se deve à utilização de calcário dolomítico contendo os dois nutrientes. No C2, os sistemas de preparo não se diferenciaram nos teores de Mg. Já no C3, o Mg teve o mesmo comportamento do Ca, obtendo seus maiores valores nos sistemas AA e GP, seguidos, na ordem, pelo AD e PD, que não diferiram entre si. Alguns autores obtiveram maiores valores de Ca e Mg na camada superficial no plantio direto (DE MARIA et al., 1999; SILVEIRA et al., 2000; FALLEIRO et al., 2003).

O teor de Al foi maior no sistema PD no C1, o que pode ser explicado pelo não revolvimento e incorporação do calcário, justificando-se, assim, os baixos teores de Ca e Mg nesse sistema (Tabela 3). No C2, os maiores teores de Al foram encontrados nos sistemas AD e PD, sendo que os dois menores teores de Al foram nos sistemas AA e GP, que não diferiram entre si. Já no C3, o maior teor de Al foi no sistema PD, seguido em ordem pelos sistemas AD, AA e GP. O teor de Al apresenta o menor valor na camada superficial no plantio direto

resultante do aumento da força iônica, que diminui a atividade dos íons, do aumento do pH, que afeta a especiação e solubilização do Al e do aumento da matéria orgânica, que proporciona maior efeito de complexação do elemento (SÁ, 1999; FALLEIRO et al., 2003). Entretanto, Bayer e Bertol (1999) não observaram efeitos do manejo do solo nos teores de Al, assim como nas camadas superficiais do solo.

Os maiores valores da CTC a pH 7,0 no C1 foi obtido no sistema de preparo do solo AD, seguido pelo AA, GP e PD, que não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3). No C2, os sistemas de preparo não influenciaram os valores da CTC a pH 7,0. Já no C3, os maiores valores da CTC a pH 7,0 ocorreram nos sistemas de preparo AA e GP, seguidos pelo AD e PD, que não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3). Falleiro et al. (2003) avaliaram sistemas de preparo e afirmaram que, dentre eles, o plantio direto apresentou valores superiores de CTC pH 7,0 na média das três profundidades (0-5, 5-10, 10-20 cm), em relação ao sistema de preparo com arado de aiveca.

Houve pouca variação nos teores de CO entre os sistemas de preparo, ao longo dos três cultivos. Notam-se menores teores de CO no C1. Isso é justificado pela menor precipitação nesse período, tendo possivelmente uma menor decomposição desse material nativo. No C1 não houve diferença estatística entre os sistemas de preparo. No C2, os maiores teores de CO foram nos sistemas de preparo AA e GP, seguidos pelos AD e AA, que não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3). Já no C3, os maiores teores de CO foram nos sistemas de preparo AA e GP, seguidos pelo PD e AD, que não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3). Os maiores teores da matéria orgânica na camada superficial em sistema de plantio direto se devem ao não-revolvimento do solo e à permanência dos resíduos culturais na sua superfície (BAYER; BERTOL, 1999; SÁ, 1999, FALLEIRO et al., 2003).

Os maiores valores de saturação por bases (V%) no C1 foram nos sistemas AA e GP, seguidos na ordem pelo AD e PD (Tabela 3). No C2, o maior valor de V% foi no sistema de preparo GP, seguido pelos AD, AA e PD, que não se diferenciaram estatisticamente. No C3, os maiores valores de V% foram nos sistemas AA e GP, seguidos pelos AD e PD, que não se diferenciaram estatisticamente. Prado e Natale (2004), ao avaliarem o efeito dos modos de aplicação de calcário com grade pesada, aração e grade super pesada sobre os atributos químicos do solo, observaram que o sistema grade pesada obteve maiores valores de V% na camada de 0-5 cm. Entretanto, na camada de 10-20 cm, os sistemas que obtiveram maiores valores foram a aração e grade super pesada, que não se diferiram estatisticamente. Já na camada de 20-30 cm, o sistema que teve maior V% foi grade super pesada, seguido na ordem pela aração.

### Correlação da produtividade do feijão com parâmetros da análise química do solo

Dos parâmetros da fertilidade do solo avaliado, apenas o magnésio (Mg), CTC a pH 7,0 (T) e o carbono orgânico (CO) tiveram correlação significativa com a produtividade do feijoeiro (Tabela 4).

A correlação do Mg com a produtividade do feijoeiro se deve à calagem feita antes dos cultivos, suprindo a necessidade do feijoeiro com teores adequados de Mg e Ca. Fernandes et al. (2002), ao avaliarem a aplicação de calcário em cinco solos orgânicos, observaram que, na ausência de calagem, a produção de grãos de feijão foi bastante baixa, o que se deve possivelmente aos elevados teores de Al e baixos teores de Ca e Mg. Uma saturação de Mg maior que 10% seria necessária para assegurar o fornecimento desse nutriente para a maioria das culturas anuais (CAMBERATO, 1999).

A CTC e o CO foram significativos à produtividade do feijoeiro (Quadro 3). A CTC está intimamente ligada ao CO do solo, que é responsável por 75 a 85% da capacidade de troca de cátions (CTC) (SIQUEIRA NETO et al., 2009), mesmo com teores significativamente inferiores aos teores de argila do solo (OORTS et al., 2003). Isso quer dizer que a CTC do solo pode ser aumentada com o aumento do CO no solo, através da liberação de cargas negativas pela matéria orgânica.

**Tabela 4.** Coeficiente de correlação linear simples (r) entre produtividade de grãos e atributos químicos do solo em três cultivos do feijoeiro e quatro sistemas de preparo do solo.

Atributo químico do solo	Coeficiente de correlação linear
pH água	-0,25
P (mg dm <sup>-3</sup> )	-0,14
K (mg dm <sup>-3</sup> )	-0,24
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,37
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,75**
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-0,25
CTC a pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,77**
CO (g dm <sup>-3</sup> )	0,62*
V (%)	0,37

\* e \*\* significativos a 5 e 1% pelo teste de t, respectivamente.

## Conclusão

O plantio direto e grade pesada são os sistemas de preparo do solo mais adequados para a produção do feijoeiro, quando cultivado em solos arenosos no Alto Vale do Jequitinhonha.

Os sistemas de preparo influenciaram os atributos químicos do solo, sendo que o magnésio, capacidade de troca de cátions a pH 7,0 e o carbono orgânico do solo foram os responsáveis pelo aumento de produtividade do feijoeiro.

## Referências

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.
- ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (ed.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 43-60.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society**, [S.l.], v. 141, p. 399-436, 2003.
- BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S.; COLOZZI FILHO, A.; DICK, R.P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, n. 1, p. 15-20, 2003.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sobre diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 2, p. 641-649, 1998.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization. **Soil & Tillage Research**, v. 77, n. 2, p.137-145, 2004.
- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 687-694, 1999.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sobre plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- CAIRES, E.F.; BANZATO, D.A., FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n.1, p.161-169, 2000.
- CAMBERATO, J.J. Bioavailability of calcium, magnesium, and sulfur. In: SUMMER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC, 1999. p. 53-69
- CHAGAS, J.M., BRAGA, J.M., VIEIRA, C., SALGADO, L.T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G.A.A.; ANDRADE, M.J.B.; LANA, R.M.Q.; RIBEIRO, A.C. Feijão. In:

- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 306-309.
- DE MARIA, I.C.; NABUDE, P.C.; CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical proprieties of a Rholic Ferrasol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 51, n. 1-2, p. 71-79, 1999.
- DEDECEK, R.A.; PEREIRA, J.; IKE, M.; IWATA, F. Efeito de profundidade de aração inicial, modos de adubação corretiva e sistemas de preparo do solo na produção de soja em solo de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, n. 1, p. 173-180, 1986.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. Brasília: Produção de Informação, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Produção de Informação, 2006. 306 p.
- FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p.1097-1104, 2003.
- FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; PENARIOL, F.G.; EGÉA, M.M.; GASPAROTO, M.G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 307-312, 2006.
- FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N. Formas de fósforo em solos de várzea e biodisponibilidade para feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n.3, p. 373-383, 2002.
- FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and croprotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 92, n.1-2, p.18- 29, 2007.
- GOMES JÚNIOR, F.; SÁ, M.E.; MURAIISHI, C.T. Adubação nitrogenada no feijoeiro em sistema de semeadura direta e preparo convencional do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 673-680, 2008.
- GOMES, A.A.; ARAÚJO, A.P.; ROSSIELLO, R.O.P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 1927-1937, 2000.
- INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2009.
- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo, afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 3, p. 395-401, 1995.
- KLUTHCOUSKI, J.; OLIVEIRA, I.P.; FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D.; SANTOS, R.S.M. Componentes bióticos de um campo de pesquisa sob quatro sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 29, n. 2, p. 33-41, 1999.
- MARQUES, T.C.L.L.S.M.S.M., VASCONCELLOS, C.A.; PEREIRA FILHO, I.; FRANÇA,G.E. CRUZ, J.C. Evolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em latossolo vermelho-escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 581-589, mar. 2000.
- MARTINS, M. L. As variáveis ambientais, as estradas regionais e o fluxo das tropas em Diamantina, MG: 1870-1930. **Revista Brasileira de História**, v. 26, n. 51, p. 141-169, 2006.

MATOWO, P.R.; PIERZYNSKI, G.M.; WHITNEY, D.; LAMOND, R.E. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. **Soil & Tillage Research**, v. 50, n. 1, p. 11-19, 1999.

MUZILLI, O. Influencia do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.

NEVES, S.C.; ABREU, P.A.A. & FRAGA, L.M.S. 2005. Fisiografia. In SILVA, A.C.; PEDREIRA, L.C.V.S.F. & ABREU, P.A.A. (eds.). **Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e Ambientes**. Editora: O Lutador. Belo Horizonte, p. 47-58.

OORTS, K.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 100, n. 2-3, p. 161-171, 2003.

PAULA JUNIOR, T. J.; VENZON, M. **101 culturas**: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p.

PRADO, R.M.; NATALE, W. Uso da grade aradora superpesada, pesada e arado de disco na incorporação de calcário em profundidade e na produção do milho. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 167-176, 2004.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S. (Ed.) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS, 1999. p. 267-321

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 477-486, 2003.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Estudo da fertilidade do solo sob quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 3, p. 407-414, 1996.

SILVA, C.C.; SILVEIRA, P.M. Influência de sistemas agrícolas em características químico-físicas do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 3, p. 505-515, 2002.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627 p.

SILVA, M. G.; ARF, O.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Rendimento do feijoeiro irrigado cultivado no inverno em sucessão de culturas sobre diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 3, p. 433-439, 2006.

SILVA, M.G.; ARF, O.; SÁ, M.E.; RODRIGUES, R.A.F.; BUZETTI, S. Nitrogen fertilization and soil management of winter common bean crop. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 3, p. 307-312, 2004.

SILVEIRA, P.M.; CUNHA, A.A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1325-1332, 2002.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 240-244, 2003.



SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, S.C.; CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; SCOPEL, E.; COSTA JÚNIOR, C.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SORATTO, R.P., ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; BUZETTI, S.; SILVA, T.R.B. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 89-96, 2003.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2001.

STONE, L.F.; MOREIRA, J. A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n.1, p. 83-91, 1999.

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, C.G.; ANDRADE, M.J.B.; SILVA, C.A. E PEREIRA, J.M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 647-653, 2009.

TEIXEIRA, I.R.; SOUZA, C.M.; BORÉM, A.; SILVA, G.F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Bragantia**, v. 62, n.1, p. 119-126, 2003.

YOKOYAMA, L.P.; SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. Rentabilidade das culturas de milho, soja e trigo em diferentes sistemas de preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 32, n. 2, p. 75-79, 2002.

**ARTIGO CIENTÍFICO II**

**Revista Brasileira de Ciência do Solo**

**ISSN 0100-0683 (impresa) e ISSN 1806-9657 (on-line)**

## SISTEMAS DE CULTIVO DO FEIJOEIRO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO NO ALTO VALE DO JEQUITINHONHA<sup>(1)</sup>

### RESUMO

O Alto Vale do Jequitinhonha é uma região onde a agricultura é pouco desenvolvida e os sistemas agrícolas possuem eficiências e índices de produtividade baixos, resultando em altas taxas de degradação ambiental, sendo necessário ajuste nas técnicas de manejo do solo nas condições de um Neossolo Quartzarênico existente nessa região. Este trabalho tem como objetivo comparar a produtividade e atributos químicos do solo no cultivo do feijoeiro em quatro sistemas de preparo do solo em condições de Campo Rupestre no Alto Vale do Jequitinhonha. Os três cultivos do feijoeiro foram em Neossolo Quartzarênico, sendo o primeiro, de abril a junho de 2006, o segundo, de novembro de 2006 a janeiro de 2007 e o terceiro, de dezembro de 2008 a fevereiro de 2009. O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de experimento em faixas, com cinco repetições. Os tratamentos foram os seguintes preparos do solo: arado de disco, arado de aiveca, grade pesada e plantio direto com dessecante na vegetação natural. Ao longo dos três anos de cultivo, houve uma evolução na produtividade do feijoeiro nos diferentes sistemas de preparo. O plantio direto e grade pesada são os sistemas de preparo do solo que mais se adequaram à produção do feijoeiro em um Neossolo Quartzarênico no Alto Vale do Jequitinhonha. Os sistemas de preparo influenciaram nos atributos químicos do solo, sendo que as bases trocáveis (Ca, Mg), carbono orgânico (CO) e a capacidade de troca de cátions (CTC) promoveram o aumento de produtividade do feijoeiro com correlação positiva. O único atributo com correlação negativa foi o K.

**Termo de indexação:** arado de disco, arado de aiveca, grade pesada, plantio direto.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Diamantina/MG e trabalho apresentado no XXXII CBCS, Fortaleza (CE), de 02 a 07 de agosto de 2009. Trabalho financiado pelo CNPq. Recebido para publicação em.

## **SOIL TILLAGE SYSTEMS ON COMMON BEAN YIELD AND SOIL CHEMICAL PROPERTIES IN QUARTZARENIC NEOSSOL IN THE HIGH JEQUITINHONHA VALLEY**

The High Jequitinhonha Valley is a region where agriculture is undeveloped and agricultural systems have low efficiency and productivity rates, resulting in high rates of environmental degradation, what requires adjustment in the soil management techniques under the conditions of the Neossolo Quartzarênico existing in this region. This study aimed to compare the productivity and soil chemical properties in common bean cultivation in four systems of tillage in conditions of a rocky field in the High Jequitinhonha Valley. The first crop of the common beans was in April-June 2006, the second was from November, 2006 to January, 2007 and the third was from December, 2008 to February, 2009. The experimental design was randomized blocks using the scheme of split plot, with five replicates. The treatments were the following soil tillage: disk plow, mold-board plow, heavy offset disk harrow and no-tillage with the use of desiccant in natural vegetation. The no-tillage and heavy offset disk harrow are the most suitable soil tillage for the yield of common beans under field conditions in the High Jequitinhonha Valley. The soil tillage influenced soil chemical properties. The tillage systems influence on soil chemical properties, and the exchangeable bases (Ca, Mg), organic carbon (OC) and the capacity of cation exchange (CEC) have promoted the increase in bean yield with positive correlation. Since the K was the only attribute with a negative correlation.

**Index terms:** disk plow, mold-board plow, heavy offset disk harrow, no tillage

## INTRODUÇÃO

O Alto Jequitinhonha faz parte do bioma Cerrado, com relevo formado por grandes planaltos e chapadas, entremeados por vales profundos e estreitos, com terras pouco férteis e vegetação rasteira e arbustiva, onde a possibilidade da prática de agricultura é bem limitada (Gonçalves, 1997). Dentro do bioma do Cerrado, o Campo Rupestre representa as áreas mais críticas e ameaçadas (Ministério do Meio Ambiente 1999). Os Campos Rupestres ocorrem em regiões com altitude superior a 1.000 m, onde há afloramentos rochosos de quartzito e solos de textura arenosa (Silva, 2005). Em escala regional, a vegetação de Campos Rupestres é formada por um rico mosaico de comunidades, controlada pelas condições edáficas, relevo e microclima (Giulietti et al., 1997).

Nas condições de Campos Rupestres da região do Alto Vale do Jequitinhonha, os sistemas agrícolas de manejo do solo são de grande importância na cultura do feijoeiro, pois essa cultura é de subsistência, podendo ser, em alguns casos, pouco eficiente e com baixos índices de produtividade, caracterizando elevadas taxas de degradação ambiental. Esse problema é decorrente, principalmente, do manejo inadequado do solo, quando no preparo do solo há revolvimento excessivo, normalmente feito pelo uso intensivo de discos, em grades ou em arados, associado a outras práticas de cultivo, causando a pulverização da camada arável e a compactação da camada subsuperficial (Freitas, 1992).

No sistema de preparo convencional, há diversos implementos disponíveis para o preparo do solo, os quais proporcionam maior incorporação e mistura do material ao longo das camadas, além de provocar alterações nas suas propriedades químicas, físicas e biológicas (Faleiro et al., 2003). À medida que aumenta a intensidade de revolvimento do solo e de incorporação dos resíduos culturais há modificações nos teores de matéria orgânica (MO), na capacidade de troca de cátions (CTC), no pH, na dinâmica dos íons e na agregação do solo (De Maria et al., 1999).

Por sua vez, sistemas de manejo do solo com menor revolvimento, como o cultivo mínimo ou o plantio direto, em virtude da maior proteção que conferem ao solo, da restrita mobilização da camada arável e do acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo (Silveira & Cunha, 2002; Bayer et al., 2004; Franchini et al., 2007), podem ser, possivelmente, os sistemas mais apropriados para a condição de campo rupestre, onde os solos são arenosos, ácidos e pobres em nutrientes (Dias et al., 2003), conciliando produtividade satisfatória, economicidade e equilíbrio ambiental.

O plantio direto vem se destacando, entre os sistemas de cultivo do solo, na cultura do feijoeiro em função da melhor capacidade produtora do solo, conservando ou melhorando o ambiente. No plantio direto, em comparação ao manejo de solo convencional, talvez exista a

necessidade de se utilizar doses de nitrogênio maiores, em virtude dos efeitos da velocidade de decomposição menor e relação C/N da palha, no processo de imobilização do nitrogênio. A competição dos microrganismos com o feijoeiro, especialmente nos estádios iniciais de desenvolvimento, e a grande absorção e extração do N pela planta, limitam a produtividade da cultura, mesmo que outros fatores de produção sejam otimizados (Siqueira & Moreira, 2002).

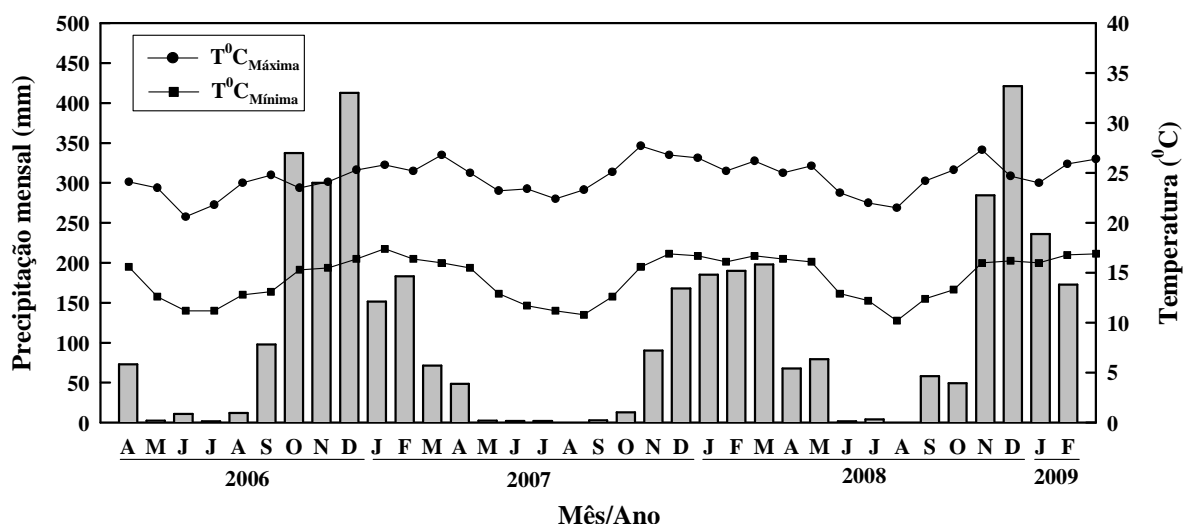
Pesquisas têm comprovado que o P tende a se acumular nas camadas superficiais no sistema de plantio direto, no qual não há revolvimento do solo, em razão de esse elemento ser imóvel ou pouco móvel no solo (Sá, 1999; Silveira et al., 2000; Cavalieri et al., 2004). Silva & Silveira (2002) e Souza & Melo (2003) não obtiveram diferenças no teor de carbono orgânico em diferentes sistemas de preparo do solo. Bayer et al. (2000), ao estudarem os efeitos de tipos de cultivos e sistemas de culturas, observaram menores valores de carbono orgânico do solo quando usado o sistema convencional. Bayer & Bertol (1999) verificaram que o pH do solo e o Al não foram afetados pelos sistemas de preparo do solo.

Este trabalho teve como objetivo comparar a produtividade e atributos químicos do solo no cultivo do feijoeiro, em quatro sistemas de preparo do solo, em condições de Campo Rupestre no Alto Vale do Jequitinhonha.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A área do experimento está localizada em Diamantina/MG, na região do Alto Vale do Jequitinhonha, sob as seguintes coordenadas: latitude 18° 12' 3'' S e longitude 43° 34' 18'' W de Greenwich. A área experimental está situada a 1.350 m de altitude, com precipitação anual média de 1.082 mm, temperatura média de 19,4°C, sendo o regime climático da região tipicamente tropical, Cwb na classificação de Köppen (NEVES et al., 2005)

Os dados de precipitação pluvial e temperatura máxima e mínima do período experimental de novembro de 2005 a fevereiro de 2009, descritos na Figura 1, foram obtidos na Estação Meteorológica de Diamantina/MG (INMET, 2009). O solo da área experimental é um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, fase Campo Limpo, relevo ondulado e textura arenosa (EMBRAPA, 2006), com declividade de 7,0%.



**Figura 1.** Distribuição mensal da precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima em Diamantina (MG) durante o cultivo do feijoeiro. Fonte: Inmet (2009)

Foram realizados três cultivos do feijoeiro: o primeiro (C1) foi realizado entre abril e junho de 2006, o segundo (C2), de novembro de 2006 a janeiro de 2007 e o terceiro (C3), de dezembro de 2008 a fevereiro de 2009. A área experimental antes do C1 apresentava como vegetação nativa plantas das famílias Fabaceae, Asteraceae, Malpiguiaceae, Lamiaceae, Rubiaceae, Eriocaulaceae, Orchidaceae, Cyperaceae, Poaceae, Bromeliaceae. O sistema de classificação adotado foi o APG II (APG, 2003). No período de fevereiro de 2007 a dezembro de 2008, a área experimental ficou em pousio, onde prevaleceram as espécies *Solanum americanum*, *Bidens pilosa*, *Acanthospermum hispidum*, *Digitaria sanguinalis*, *Emilia fosbergii*, *Tagetes minuta*.

A população do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) foi de 240.000 plantas por ha, da cultivar Carioquinha, no espaçamento de 0,5 m entre linhas e 12 sementes por metro linear. Foi realizada adubação fosfatada corretiva com superfosfato simples (8 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por ha para 10,0 g/kg<sup>-1</sup> de argila), com um dia de antecedência do plantio no primeiro e segundo cultivos. A adubação de plantio foi realizada conforme recomendação de Chagas et al. (1999), baseada na análise química do solo (Tabela 1). Em todos os cultivos do feijoeiro foram feitos os tratamentos culturais e fitossanitários, conforme Paula Júnior e Venzon (2007).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados no esquema de experimento em faixas, com cinco repetições. Os tratamentos testados foram os seguintes: AD = preparo do solo com arado de disco (três discos de 71,1 cm de diâmetro, à profundidade de 25 cm) e grade niveladora (24 discos de 35,6 cm de diâmetro e profundidade de trabalho de 5 cm); AA = arado de aiveca (fixo com três aivecas, com profundidade de trabalho de 25 cm) e grade niveladora, GP = grade pesada (18 discos de 40,6 cm de diâmetro e à profundidade de 15 cm) e grade niveladora e PD = plantio direto com a utilização de roçadeira e dessecante na vegetação natural. Os

blocos foram dispostos perpendicularmente à declividade do terreno, em número de cinco, e quatro parcelas, sendo a área total de cada parcela de 20 m<sup>2</sup> (2 x 10m), com a parcela útil de 8 m<sup>2</sup> (1 x 8 m) e a área experimental de 1.300 m<sup>2</sup> (65 x 20 m).

Inicialmente, foi cortada a vegetação da área com roçadeira de tração mecânica nos tratamentos AA, AD e GP, com aplicação de 50% da dose de calcário antes da utilização dos implementos e 50% antes da utilização da grade niveladora, com antecedência de 90 dias do plantio do feijoeiro, conforme recomendação de Alvarez V. e Ribeiro (1999), baseada na análise de solo (Tabela 1). A quantidade de calcário foi determinada com o PRNT de 90% e os dados obtidos pela profundidade de penetração dos implementos AD, AA, GP e PD, considerando a profundidade de 5 cm no solo. As quantidades de calcário no C1 e C3 foram de 2,4 t ha<sup>-1</sup> para os sistemas de preparos AD e AA; 1,5 t ha<sup>-1</sup> para o AA e 0,5 t ha<sup>-1</sup> no PD. No C2, as quantidades de calcário foram 1,4 t ha<sup>-1</sup> para os sistemas de preparo AD e AA; 0,9 t ha<sup>-1</sup> para o AA e 0,3 t ha<sup>-1</sup> no PD. O plantio do feijão foi realizado com plantadora adubadora convencional.

**Tabela 1.** Resultado da análise química e granulométrica do solo antes da implantação do experimento na profundidade de 0-20cm.

Características	Primeiro cultivo (C1)
pH em H <sub>2</sub> O (1:2,5) <sup>(1)</sup>	5,3
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	2,0
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	28
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,2
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,2
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,6
CTC <sup>(2)</sup> a pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,3
V (%) <sup>(3)</sup>	14
C.O. <sup>(4)</sup> (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	4,1
Areia (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	880
Silte (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	60
Argila (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	60

<sup>(1)</sup>Silva (2009). <sup>(2)</sup>Capacidade de troca de cátions. <sup>(3)</sup>Saturação por bases. <sup>(4)</sup>Carbono orgânico. <sup>(5)</sup>Embrapa (1997). Extrator de P e K - Mehlich-1 e Ca, Mg e Al - KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Textura pelo método da pipeta.

No tratamento PD foram feitas roçada e aplicação do herbicida glyphosate, na dose de 960 g do i.a. ha<sup>-1</sup>, o que equivale a 2 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial. Conforme recomendação de Alvarez V. e Ribeiro (1999), a calagem foi feita antes do plantio com dosagem calculada na quantidade para incorporação a 5 cm, com 90 dias de antecedência do plantio do feijoeiro. No segundo cultivo do feijoeiro, no tratamento PD, foi feita a aplicação de 30 kg de N por ha na forma de sulfato de



amônio, antes do plantio, sobre a palhada, conforme recomendação de Sá (1999). O plantio do feijão foi feito com plantadora adubadora de arrasto de plantio direto.

Na colheita do feijoeiro foram avaliados a produtividade da cultura, com umidade dos grãos corrigida para 12%, e os atributos químicos do solo, em amostras compostas retiradas na profundidade de 0 a 0,10; 0,10 a 0,20; 0,20 a 0,30 e 0,30 a 0,40 m por parcela útil em cada cultivo do feijoeiro. As análises químicas do solo foram: pH em água; Ca, Mg e Al extraídos pelo KCl 1mol L<sup>-1</sup> e P e K pelo Mehlich-1 e carbono orgânico pelo método colorimétrico (Silva, 2009).

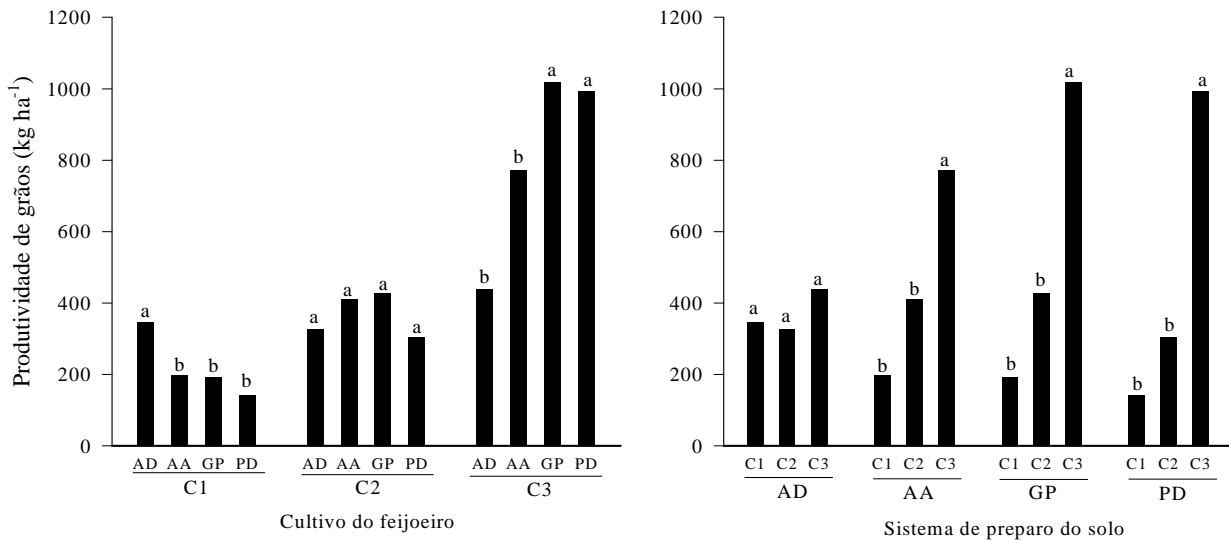
As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância e as médias dos sistemas de preparo do solo e cultivo do feijoeiro foram submetidas ao teste de Scott & Knott a 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Produtividade de grãos

Nos três cultivos (C1, C2 e C3) do feijoeiro, os sistemas de preparo tiveram influência na produtividade apenas no C1 e C3 (Figura 1). No primeiro cultivo (C1), os tratamentos tiveram uma produtividade baixa, que pode ser justificada pela época de plantio (outono), baixa precipitação (86 mm) durante o ciclo da cultura. A produtividade do feijoeiro é influenciada pelo regime hídrico, que pode afetar o crescimento das raízes do feijoeiro e, conseqüentemente, a absorção e translocação de nutrientes (Gomes et al., 2000). Stone & Moreira (2000) observaram o efeito benéfico da semeadura direta com adequada cobertura morta, favorecendo os componentes da produtividade do feijoeiro, especialmente em situações com irrigação deficitária.

No C1, a maior produtividade foi no sistema de preparo AD, seguido pelos demais sistemas, que não se diferenciaram entre si. No C2, os sistemas de preparo não se diferenciaram significativamente quanto à produtividade (Figura 1). Esse dado corrobora os resultados de Secco et al. (2005) e Silveira & Stone (2003), que não encontraram diferença na produtividade da soja para diferentes formas de manejo do solo. Entretanto, no C3, as maiores produtividades foram nos sistemas de preparo do solo GP e PD, não havendo diferença entre eles, sendo seguidos pelos sistemas AD e AA, que também não se diferenciaram estatisticamente. Isso mostra a superioridade desses sistemas nesse tipo de solo, com maior conservação, manutenção e acúmulo das suas propriedades químicas, matéria orgânica e, consecutivamente, da microbiota do solo (Santos & Tomm, 1996; Silveira & Cunha, 2002; Bayer et al., 2004; Franchini et al., 2007) e menor variação do teor de água no solo, que é condicionada pela qualidade estrutural do solo na semeadura direta do feijoeiro (Stone & Silveira, 1999).



**Figura 2.** Produtividade de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Cariquinha, submetidos a diferentes sistemas de preparo do solo (AD - Arado de disco, AA - Arado de aiveca, GP - Grade pesada e PD - Plantio direto) em três cultivos (C1 - Abr a Jun/2006, C2 - Nov/2006 a Jan/2007 e C3 - Dez/2008 a Jan/2009). Significativo pelo teste de Scott & Knott a 5%.

No entanto, pela análise do comportamento dos sistemas de preparo do solo nos três cultivos (Figura 1), observa-se uma evolução na produtividade, no decorrer dos anos, do sistema de preparo convencional (AD e AA) e, principalmente, nos sistemas de preparo GP e PD. O AD não teve diferença estatística nos três cultivos, o que pode ser justificado pelo fato de esse sistema de preparo revolver bastante o solo (Stone & Silveira, 1999), fazendo com que os nutrientes se percam com maior facilidade através da lixiviação, já que esse solo tem apenas 6 dag dm<sup>-3</sup> de argila (Quadro 1), o que pode influenciar na produtividade do feijoeiro. Porém o AA, GP e PD tiveram maiores produtividades no C3, seguidos em ordem pelos C1 e C2, que não diferem estatisticamente. Observa-se que a GP e PD tiveram uma maior produtividade no C3 em relação aos demais sistemas, o que pode ser justificado pelo fato de esses sistemas de preparo revolverem menos o solo, retendo mais água, mantendo resíduos culturais na superfície, diminuindo significativamente perdas de solo, mantendo e tendo um acúmulo de matéria orgânica. (Bayer et al., 2004; Franchini et al., 2007).

### Atributos químicos do solo

Observa-se que os sistemas de preparo tiveram influência nos atributos químicos em diferentes profundidades (Quadro 2). Notou-se diferença significativa nos valores de pH em água entre os diversos sistemas de preparo de solo, nas diferentes profundidades amostradas, nos três cultivos. No C1, os maiores valores de pH foram detectados nos primeiros 0,10 m do solo, com maior valor no AA, sendo seguido, em ordem, pela GP, AD e PD. O maior valor de pH do solo nos

três sistemas de preparo (AD, AA e GP) se deve à maior incorporação do calcário por esses implementos (Prado & Roque, 2002; Prado & Natale, 2004). O PD teve o menor valor de pH em todas as profundidades, diferindo de alguns trabalhos que afirmam que o PD promove, entre outros efeitos, o aumento no teor de matéria orgânica e de nutrientes nas camadas superficiais, bem como também a elevação dos valores de pH do solo (Santos & Tomm 1999; Franchini et al., 1999; Falleiro et al., 2003), em razão do não-revolvimento do solo que o sistema proporciona.

No C2, os maiores valores de pH foram encontrados nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, e a GP teve o maior valor em todas as profundidades dentre os sistemas de preparo do solo (Quadro 2). No C3 observa-se pequena variação de pH nas diferentes profundidades dentro dos tratamentos, exceto no PD, que teve maior variação e menores valores de pH (Quadro 2). Nota-se que, no AD, o maior valor de pH foi na profundidade de 0,30-0,40 m, o que possivelmente se reflete em mistura mais eficientemente do calcário com maior massa de solo e, conseqüentemente, maior velocidade de reação do corretivo (Prado & Natale, 2004).

Em relação aos teores de P no solo, observam-se altos valores no C1 e C2 (Quadro 2), o que pode ser explicado pela fosfatagem corretiva com superfosfato simples, com um dia de antecedência do plantio. Observa-se que os maiores valores de P nas diferentes profundidades e em diferentes sistemas de preparo do solo se encontram nas camadas superficiais. No entanto, é mais comum encontrar valores maiores de P nas camadas superficiais em PD nos três cultivos do feijoeiro, onde não há revolvimento do solo e por esse elemento ser imóvel ou pouco móvel no solo (Bayer & Bertol, 1999; De Maria et al., 1999; Silveira et al., 2000; Sá et al., 2001; Cavalieri et al., 2004). Os sistemas de preparo do solo AD e AA tiveram os maiores teores de P no C1, o que pode ser explicado pelo fato de esses sistemas de preparo revolverem o solo, incorporando o P nas diferentes profundidades. No entanto, a inversão do solo é a menos eficiente entre os diferentes implementos comparados, pois o P é um elemento pouco móvel no solo, que permanece no local onde foi depositado (Falleiro et al., 2003).

**Quadro 2.** Atributos químicos do solo, ao longo da profundidade, em quatro sistema de preparo do solo em três cultivos do feijoeiro.

Prof. (m)	C1				C2				C3			
	AD	AA	GP	PD	AD	AA	GP	PD	AD	AA	GP	PD
pH água - CV(%) = 11,85												
0,0-0,1	5,6aC	6,2aA	5,8aB	5,1aD	5,6aB	5,7aB	6,9aA	5,6aB	4,9bC	5,3aB	5,6aA	4,6bD
0,1-0,2	5,0cB	5,3cA	5,4bA	4,7bC	5,7aB	5,7aB	6,5BA	5,6aB	5,0bB	5,3aA	5,5aA	4,8aC
0,2-0,3	5,2bB	5,1cB	5,5bA	4,7bC	5,5aC	5,7aB	5,9CA	5,3bD	5,0bB	5,3aA	5,4aA	4,8aC
0,3-0,4	5,2bB	5,5bA	5,4bA	4,7bC	5,3bB	5,3bA	5,5dA	5,6bB	5,4aA	5,3aA	5,0bB	4,4cC
P (mg dm <sup>-3</sup> ) - CV(%) = 18,44												
0,0-0,1	35aB	49aA	8aD	32aC	35aB	17aC	20aC	48aA	2cB	4aB	37aA	35aA
0,1-0,2	31bA	13bB	4bC	12bB	21bB	13bA	21aB	25bA	5bB	5aB	10cA	12bA
0,2-0,3	17cA	15bA	3bB	3cB	14cB	9cA	10bC	21cA	16aA	4aB	16bA	2cB
0,3-0,4	19cA	0cC	4bB	4cB	8dA	2dA	8bA	4dB	7cA	5aA	2dB	1cB
K (mg dm <sup>-3</sup> ) - CV(%) = 18,03												
0,0-0,1	38aB	50aA	39aB	50aA	23aC	13bD	31bA	27bB	51aC	61aA	20aD	57aB
0,1-0,2	31bB	42bA	26bC	32bB	21aB	16bC	38aA	38aA	11bC	26bA	16bA	13bC
0,2-0,3	31bB	42bA	28bB	19cC	19aC	20aC	23cB	29bA	13bB	8cA	10cA	11bB
0,3-0,4	26cB	29cB	22cA	29bD	14bC	13bC	23cA	17cB	6cB	11cA	10cA	10bA
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> ) - CV(%) = 17,76												
0,0-0,1	1,5aA	0,9aB	1,4aA	0,4aC	0,3aC	0,5aB	1,5aA	0,5aB	0,7aB	1,2aA	1,3aA	0,6aB
0,1-0,2	0,6cA	0,6bA	0,5cA	0,4aA	0,4aB	0,6aA	0,6bA	0,4aB	0,7aB	1,0bA	1,0bA	0,6aB
0,2-0,3	0,9bB	0,5bA	0,8bB	0,4aA	0,4aB	0,5aB	0,2cA	0,3aA	0,8aA	0,9cA	0,9bA	0,7aA
0,3-0,4	0,7cB	0,9aA	0,5cC	0,2aD	0,3aB	0,5aA	0,3cB	0,1bC	0,9aA	0,7dA	0,8bA	0,7aA
Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> ) - CV(%) = 25,78												
0,0-0,1	0,5aB	0,7aA	0,4aB	0,3aB	0,2aB	0,2aB	0,4aA	0,2aB	0,4aB	0,7bB	0,9aA	0,3aB
0,1-0,2	0,5aA	0,4bA	0,5aA	0,2aB	0,3aA	0,2aA	0,4aA	0,3aA	0,4aA	0,9aA	0,9aA	0,3aB
0,2-0,3	0,5aA	0,4bA	0,5aA	0,2aB	0,2aA	0,2aA	0,2bA	0,2aA	0,6aA	0,7bA	0,6bA	0,4aA
0,3-0,4	0,5aA	0,5bA	0,5aA	0,2aB	0,2aA	0,2aA	0,2bA	0,1aA	0,5aA	0,4cA	0,5bA	0,3aA
Al (cmolc dm <sup>-3</sup> ) - CV(%) = 10,99												
0,0-0,1	0,1dC	0,2dB	0,2cB	0,8aA	0,2bA	0,2aA	0,1bB	0,2bB	0,3aB	0,2cC	0,1cD	0,5aA
0,1-0,2	0,4aB	0,4bB	0,4bB	0,8aA	0,2bB	0,1bC	0,1bC	0,3aA	0,3aB	0,2cC	0,1cD	0,5aA
0,2-0,3	0,3bD	0,5aC	0,7aB	0,7aA	0,3aB	0,2aA	0,2aA	0,3aB	0,3aC	0,4aB	0,3bC	0,5aA
0,3-0,4	0,2cD	0,3cC	0,4bB	0,8aA	0,3aA	0,2aB	0,2aB	0,3aA	0,2bD	0,3bC	0,4aB	0,5aA
CTC a pH 7,0 (cmolc dm <sup>-3</sup> ) - CV(%) = 6,35												
0,0-0,1	3,3bA	3,1aA	3,1aA	2,5bB	2,1bB	2,4aB	2,9aA	2,3aB	4,5bC	5,7aB	5,5aB	6,1aA
0,1-0,2	2,9cA	2,3bB	2,3cB	2,4bB	3,4aA	2,7aB	2,2bC	2,3aC	4,8aB	5,6aA	5,6aA	5,0cB
0,2-0,3	3,6aA	3,3aA	2,6bB	3,3aA	2,3bA	1,3bC	1,8bB	1,9bB	4,7aC	5,3bB	5,2aB	5,7bA
0,3-0,4	3,9aA	3,3aB	2,7bC	2,6bC	2,2bB	2,6aA	1,9bC	1,6bC	4,3bB	4,4cB	5,4aA	5,1cA
CO (g dm <sup>-3</sup> ) - CV(%) = 12,28												
0,0-0,1	4,4aA	5,6bA	3,8bA	5,0aA	4,7aB	7,5aA	8,2aA	6,2aB	5,0aB	8,2aA	8,2aA	6,9aA
0,1-0,2	4,4aA	3,1cB	5,6aA	4,4bB	4,4aB	6,2aB	5,0bB	3,8bB	4,4aB	5,6bA	5,6bA	3,8bB
0,2-0,3	5,6aB	8,2aA	6,9aB	6,2aA	5,6aA	3,1bB	3,8bB	4,4bB	5,6aA	5,6bA	4,4cA	2,0bB
0,3-0,4	5,6aA	3,8cA	5,6aA	5,0aA	4,7aA	2,6bA	3,8bA	3,1bA	3,8aA	3,8cA	3,1cA	3,1bA
V% - CV(%) = 19,24												
0,0-0,1	64aA	56aA	61aA	33aB	27aB	30bB	67aA	34aB	27aB	36aA	41aA	17aC
0,1-0,2	41bA	48bA	47bA	29aB	22aC	31bB	51bA	35aB	24aB	35aA	35aA	19aB
0,2-0,3	41bB	30cC	53aA	20bD	28aB	58aA	26cB	30aB	31aA	31bA	30bA	20aB
0,3-0,4	33cB	44bA	39bB	19bC	24aA	28bA	29cA	15bB	33aA	26bB	25bA	20aB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, em cada cultivo do feijoeiro, não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5%. Sistema de preparo do solo: AD - Arado de disco, AA - Arado de aiveca, GP - Grade pesada e PD - Plantio direto. Cultivo do feijão: C1 - Abr a Jun/2006, C2 - Nov/2006 a Jan/2007 e C3 - Dez/2008 a Jan/2009.

Observa-se uma tendência do K ter seus maiores valores na profundidade de 0-0,10 m com redução nos seus valores em profundidade (Quadro 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2001) e Falleiro et al. (2003). Nota-se que AA obteve os maiores valores de K

nas profundidades de 0-0,30 m no C1 (Quadro 2), o que pode ser atribuído ao revolvimento provocado pela ação do implemento, causando a diluição do nutriente pela mistura com maior volume de solo (Silveira et al., 2000). No C2, o teor de K no solo teve seus maiores valores nas camadas de 0,10-0,20 m nos sistemas de preparo GP e PD (Quadro 2). Os fertilizantes à base de K são depositados na superfície ou na linha de semeadura e, além disso, os resíduos vegetais são deixados na superfície, o que faz com que esse elemento se acumule nas camadas mais superficiais do solo (Santos & Thomm, 2003; Cavalcante et al., 2007).

Observa-se no C3 que o AA e a GP tiveram os maiores teores de K no solo nas profundidades de 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m (Quadro 2). Pauletti et al. (2005) não observaram diferença significativa nos teores de K, entre os métodos de preparo de solo (AA e GP), semelhantemente ao encontrado por Santos et al. (1995), ao compararem preparo convencional e plantio direto.

No C1, os maiores teores de Ca foram às profundidades de 0-0,10 m nos diferentes sistemas de preparo do solo (Quadro 2), o que pode ser explicado pela baixa mobilidade do Ca no solo (Silva & Silveira, 2002). O PD não apresentou diferença estatística no teor de Ca, nas diferentes profundidades, em cada cultivo do feijoeiro (Quadro 2). Cavalieri et al. (2004) e Pauletti et al. (2005) obtiveram os maiores valores de Ca na semeadura direta (SD) na camada superficial, o que pode ser associado à maior taxa de mineralização da matéria orgânica, promovida pela intervenção mecânica do solo, fato também constatado por Silveira et al. (2000). No C2, os sistemas de preparo AD e AA não tiveram diferença estatística no teor de Ca em diferentes profundidades (Quadro 2), o que pode ser justificado pela melhor incorporação, do calcário, em profundidade, por esses sistemas (Prado & Roque, 2002).

Observa-se pouca variação do Mg nas diferentes profundidades e sistemas de preparo do solo (Quadro 2). Isso pode ser justificado pela correção do solo com o calcário dolomítico. Os sistemas de preparo do solo AD e PD não apresentaram variação no teor de Mg nas diferentes profundidades e cultivos do feijoeiro, o que pode ser atribuído à incorporação do calcário em profundidade, feita pelo AD (Prado & Roque 2002; Matias et al., 2009) e pela água da chuva que percolou com facilidade e promoveu a lixiviação do Mg do calcário para as maiores profundidades no PD, já que o solo é textura arenosa.

Os sistemas de preparo influenciaram na distribuição do Al trocável nas diferentes profundidades (Quadro 2). No entanto, há dados que não confirmam os de Klepker & Anghinoni (1995), que não encontraram diferença na distribuição do Al nas diferentes profundidades por sistemas de preparo distintos (AD, AA, GP e PD). Observa-se um menor teor de Al no PD apenas na profundidade de 0-0,10 m no C2, não variando no restante das profundidades nos três cultivos

(Quadro 2). Almeida et al. (2005) também não encontrou diferença no teor de Al em diferentes profundidades no PD. Esses dados não corroboram a maioria das pesquisas, que tem demonstrado a menor acidificação das camadas superficiais em razão do maior aporte de Ca aplicado à superfície desse sistema e o acúmulo da matéria orgânica decorrente da decomposição de restos vegetais, complexando o Al no PD (Ciotta, 2001; Ciotta et al., 2002; Matias et al., 2009).

No sistema de preparo do solo AD houve os maiores valores da CTC a pH 7 (T) entre os sistemas nas diferentes profundidades no C1 (Quadro 2). Isso pode ser justificado pela inversão das camadas do solo pelo AD, incorporando as plantas e restos culturais da superfície em profundidade, aumentando possivelmente a decomposição desse material vegetal, que contribuiu para esses valores da T. Os sistemas de preparo AD e AA no C1 obtiveram altos valores da T nas camadas de 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. Isso possivelmente se deve à inversão de camadas proporcionada por esses sistemas de preparo. No C2, os valores da T diminuíram em relação ao C1 em todos os sistemas de preparo, exceto na camada de 0,10-0,20 cm, o que pode ser justificado, possivelmente, pela pouca vegetação acumulada na área experimental no curto intervalo do C1 para o C2. Há aumento na T no C3 em todos os sistemas de preparo, quando comparado com o C2. Isso é plausível em decorrência do grande período de pousio entre o C2 e o C3, obtendo possivelmente um maior acúmulo de cobertura vegetal na área e, consecutivamente, um aumento na matéria orgânica, que contribui para o aumento da T por meio do fornecimento de cargas elétricas no solo (Bayer & Bertol, 1999). No C3, o PD teve seus maiores valores da T nas camadas de 0-0,10 m. Isso possivelmente é justificado pelo acúmulo de matéria orgânica na sua camada superficial em razão do não revolvimento do solo por esse sistema de preparo (Ciotta, 2001; Hernani et al., 1999; Matias et al., 2009).

Nota-se que os sistemas de preparo do solo influenciaram a distribuição do carbono orgânico (CO) nas diferentes profundidades do solo (Quadro 2) ao longo dos três cultivos, exceto no AD, que não apresentou diferença estatística nas diferentes profundidades. Silva & Silveira (2002) e Souza & Melo (2003) não obtiveram diferenças no CO em diferentes sistemas de preparo do solo (AD, AA, GP e PD). Observa-se aumento nos valores do CO ao longo dos cultivos. Os resíduos culturais depositados na superfície do solo e o seu não-revolvimento, no caso do plantio direto, contribuem para a concentração de CO na camada superficial do solo (C1 e C3), sendo complementada pela decomposição de raízes (Corazza et al., 1999; De Maria et al., 1999; Hernani et al., 1999). No C3, o AA e GP sobressaíram aos demais sistemas de preparo do solo nos teores de CO nas diferentes profundidades. Isso é plausível em razão do revolvimento do solo proporcionado por esses implementos, homogeneizando o CO nas diferentes profundidades.

Quanto à saturação por bases (V%), verifica-se uma tendência de pouca variação entre as profundidades dentro de cada sistema de preparo do solo e cultivo do feijoeiro. No C1 os sistemas

de preparo que revolvem o solo (AD, AA e GP) obtiveram maiores teores da V% no solo. Isso realça a importância da profundidade de incorporação do calcário com a massa de solo (Prado & Roque, 2002; Prado & Natale, 2004) e, no caso do PD, o não revolvimento do solo (Ciotta, 2001), proporcionou menores valores da V% nos C1 e C3, em razão da menor aplicação de calcário ocorrida e a sua não incorporação. No C2, os sistemas de preparo AD e AA tiveram queda nos valores do V% no solo, exceto na camada 20-30 cm no sistema de preparo AA. Isso se deve possivelmente à formação de complexos orgânicos hidrossolúveis a partir de ácidos orgânicos liberados dos restos vegetais presentes na superfície do solo (Miyazawa et al., 2002). O Sistema de preparo PD teve os menores valores de V% nas diferentes profundidades no C1 e C3. Isso pode ser justificado pelo fato do aumento de cálcio e magnésio onde se faz plantio direto, o que só é evidenciado após longo período de uso desse sistema, principalmente pela reciclagem de nutrientes promovida pelas culturas (Eltz et al., 1989).

### **Correlação da produtividade do feijoeiro com os atributos químicos do solo em cada profundidade de amostragem**

O teor de K correlacionou negativamente com a produtividade do feijoeiro nas camadas subsuperficiais (Quadro 3). Pelo fato de o solo do presente trabalho ter apenas 6,0 dag dm<sup>-3</sup> de argila (Quadro 1), há possibilidade de lixiviação do K para as camadas mais profundas, em razão da sua grande mobilidade no solo (Cavaliere et al., 2004). Entretanto, nos sistemas de preparo convencionais do solo, o K teve sua incorporação, ficando mais fácil o aproveitamento do K pelas raízes do feijoeiro nas diferentes camadas, seja pelos restos culturais ou pela adubação potássica. De acordo com Malavolta (2006), o resto de culturas deixado no campo após a colheita é importante fonte de K, liberada durante o processo de decomposição. Nos sistemas convencionais, essa liberação do K é mais rápida, em função da incorporação desse nutriente em profundidade. No PD há uma tendência de se acumular restos culturais e liberar o K mais lentamente, através da decomposição de restos culturais.

O Ca e o Mg foram significativos na profundidade de 0,10-0,20 m, o que pode ser justificado pela melhor incorporação do calcário dolomítico pelos sistemas de preparo convencionais (AD, AA e GP) ocorrendo, assim, o tamponamento da acidez do solo (Ciotta et al., 2002) e disponibilidade desses macronutrientes para o feijoeiro. Entretanto, no PD pode ter ocorrido a formação e a migração de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  para camadas de 0,10-0,20 m do solo e o deslocamento de partículas de calcário, por meio de canais formados por raízes mortas, mantidos intactos em razão da ausência de preparo de solo (Caires et al., 2000) ou da presença de radicais orgânicos (Miyazawa et al., 2002) da decomposição da vegetação natural (Campo Rupestre),

promovendo um ambiente favorável ao desenvolvimento da raiz e disponibilizando alguns nutrientes para o feijoeiro.

A T está intimamente ligada ao CO do solo (Siqueira Neto et al., 2009). Isso quer dizer que a T do solo pode ser aumentada principalmente em sistemas conservacionistas que proporcionem o incremento dos estoques de CO no solo (Sá et al., 2001). Ambos tiveram correlação na camada superficial e a T teve correlação com a produtividade nas camadas 0-10 e 10-20 cm. Isso é justificado pelo fato de o CO tender a se acumular nas camadas superficiais, principalmente do sistema PD (Franchini et al., 2007), promovendo o aumento da T por meio do fornecimento de cargas elétricas no solo (Bayer & Bertol, 1999), fazendo com que a planta do feijoeiro tenha maiores rendimentos na sua produção.

**Quadro 3.** Coeficiente de correlação entre produtividade de grãos de feijão e atributos químicos do solo para diferentes profundidades.

Atributo químico do solo	Profundidade (m)			
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4
pH água	-0,37	-0,14	-0,09	-0,49
P (mg dm <sup>-3</sup> )	-0,06	-0,26	-0,15	-0,21
K (mg dm <sup>-3</sup> )	0,09	-0,58*	-0,73**	-0,7**
Ca (mg dm <sup>-3</sup> )	0,17	0,72**	0,47	0,41
Mg (mg dm <sup>-3</sup> )	0,42	0,56*	0,47	0,13
Al (mg dm <sup>-3</sup> )	-0,13	-0,36	-0,32	-0,05
CTC a pH 7,0 (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,47*	0,5*	0,13	0,1
CO (g dm <sup>-3</sup> )	0,67**	0,23	0,37	0,35
V (%)	0,19	0,35	0,39	0,41

\* e \*\* significativos a 5 e 1% pelo teste de t, respectivamente.

## CONCLUSÃO

1. Ao longo dos três anos de cultivo houve uma evolução na produtividade do feijoeiro nos diferentes sistemas de cultivo.
2. O plantio direto e grade pesada são os sistemas de preparo do solo que mais se adequaram à produção do feijoeiro em um Neossolo Quartzarênico no Alto Vale do Jequitinhonha.
3. Os sistemas de preparo influenciaram nos atributos químicos do solo, sendo que as bases trocáveis (Ca, Mg), carbono orgânico (CO) e a capacidade de troca de cátions (CTC) promoveram o aumento de produtividade do feijoeiro com correlação positiva. O único atributo com correlação negativa foi o K.



## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo auxílio financeiro; À Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de Mestrado, e à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, pela infraestrutura necessária ao experimento.

## LITERATURA CITADA

- ALVAREZ, V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. (ed.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, CFSEMG, 1999. p. 43-60.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society**, n. [S.l.], v.141, p. 399-436, 2003.
- BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 23, p. 687-694, 1999.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n. (7), p. 677-683, 2004.
- BAYER, C.; MIELNICKZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L & FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage**, v. 54, p.101-109, 2000.
- CADAVID, L.F.; EL-SHARKAWY, M.A.; ACOSTA, A. & SÁNCHEZ, T. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. **Field Crops Res.**, v. 57, p. 45-56, 1998.
- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A. & FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 161-169, 2000.
- CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA, Z.M. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p.1329-1339, 2007.
- CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S. & SOUZA JUNIOR, I.G. Alterações nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico por dois sistemas de manejo de solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. (4), p. 377-385, 2004.
- CHAGAS, J. M.; BRAGA, J. M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L. T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B. de; LANA, R. M. Q. & RIBEIRO, A. C. Feijão. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, CFSEMG, 1999. p.306-309.

- CIOTTA, M.N. **Componentes químicos do solo influenciados por sistemas de preparo e modos de calagem em experimento de longa duração**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 102p. (Tese de Mestrado).
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. & WOBETO, C. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p.1055-1064, 2002.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.
- DE MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C. & CASTRO, O.M. Longterm tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil and Tillage**, v. 51. n. (1), p. 71-79, 1999.
- DIAS, H.C.T., SCHAEFER, C.E.G.R., FERNANDES FILHO, E.I., OLIVEIRA, A.P., MICHEL, R.F.M. & LEMOS JUNIOR, J.B. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. (3), p. 469-481, 2003.
- ELTZ, F.L.P.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, R. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas Propriedades físicas e químicas de um latossolo brunoálico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 259-267, 1989.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Produção de Informação, 2006. 306 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. Brasília, Produção de Informação, 1997. 212 p.
- FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E. & HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and croprotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage**, v. 92, p. 18-29, 2007.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 533-542, 1999.
- FREITAS, P.L. **Manejo físico do solo**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1., 1990, Goiânia. Anais... Campinas: Fund. Cargill, 1992. p.117-139.
- GIULIETTI, A.M.; PIRANI, J.R. & HARLEY, R.M. **Espinhaço range region, eastern Brazil**. In: DAVIS, S.D.; HEYWOOD, V.H.; HERRERA-MACBRYDE, O.; VILLA-LOBOS, J. & HAMILTON, A.C. Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation. v.3. Cambridge, IUCN Publication Unity, 1997. p. 397-404.
- GOMES, A.A.; ARAÚJO, A.P.; ROSSIELLO, R.O.P. & PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 927-937, 2000.
- GONÇALVES, R.N. **Diagnóstico ambiental da bacia do Rio Jequitinhonha**. Salvador, IBGE, 1997. 64p.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H. & SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.145-154,1999.

KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n. (3), p. 395-401, 1995.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ed. Agr. Ceres, 2006, 638 p.

MATIAS, M.C.B.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R.S. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n. (3), p. 356-362, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Ações prioritárias para a conservação da biodiversidade do cerrado e pantanal**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Funatura, Conservation International, Fundação Biodiversitas, Universidade de Brasília, 1999.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Evaluation of plant residues on the mobility os surface applied lime. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, v. 45, p. 251-256, 2002.

OLIVEIRA, J.O.A.P.; VIDIGAL FILHO, P.S.; TORMENA, C.A.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; MUNIZ, A.S. & SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n.(2), p. 443-450, 2001.

PAULA JUNIOR, T. J.; VIEIRA, R.F.; CHAGAS, J.M.; et al. Feijão. In: PAULA JUNIOR, T. J. & VENZON, M. **101 culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte, EPAMIG, 2007, p. 331-342.

PAULETTI, V.; LIMA, M.R.; BARCIK, C. & BITTENCOURT, A. Evolução nos atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes métodos de preparo de solo. **Scientia Agrícola**, v. 6, n. (1-2), p. 9-14, 2005.

PRADO, R.M. & ROQUE, C.G. Uso alternativo da grade aradora superpesada na correção da acidez do solo em profundidade e na produção da aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p. 275-281, 2002.

PRADO, R.M. & NATALE, W. Uso da grade aradora superpesada, pesada e arado de disco na incorporação de calcário em profundidade e na produção do milho. **Engenharia Agrícola**, v. 24, v. (1), p.167-176, 2004.

REINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C. & SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solos arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 713-722, 1998.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, A. W.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C. & FEIGL, B. J. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of Amereica Fournal**, v. 65, n.5. p. 1486-1499, 2001.

SANTOS, H. P. & TOMM, G. O. Estudo da fertilidade do solo sob quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 407-414, 1996.

SANTOS, H.P. & TOMM, G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Revista Ciência Rural**, v. 33, n.(3), p. 477-486, 2003.

SANTOS, H.P. & TOMM, G.O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, v. 29, n. (2), p. 259-265, 1999.

- SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. & LHAMBY, J.C.B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 449-454, 1995.
- SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de Culturas em um latossolo vermelho Argiloso sob diferentes Sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 407-414, 2005.
- SILVA, A.C. Solos. In: SILVA, A.C.; PEDREIRA, L.C.V.S.F. & ALMEIDA ABREU, P.A. **Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes**. Belo Horizonte, O Lutador, 2005. p. 61-77.
- SILVA, C. C. & SILVEIRA, P. M. Influência de sistemas agrícolas em características químico-físicas do solo. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. (3), p. 505-515, 2002.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627 p.
- SILVEIRA, P. M. & STONE, L.F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 7, n. (2), p. 240-244, 2003.
- SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, S.C. & CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. (10), p. 2057-2064, 2000.
- SILVEIRA, P. M. & CUNHA, A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p.1325-1332, 2002.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C.C. & BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31. n. 4, p. 709-717, 2009.
- SIQUEIRA, J.O. & MOREIRA, F.M. de S. **Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo**. In: MOREIRA, F.M. de S. & SIQUEIRA, J.O. (Ed.). Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, UFLA, 2002. p. 305-329.
- SOUZA, W. J. O. & MELO, W.J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1113-1122, 2003.
- STONE, L.F. & MOREIRA, J.A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.
- STONE, L.F. & SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 83-91, 1999.

**ARTIGO CIENTÍFICO III**

**Ciência e Agrotecnologia**

**ISSN 1413-7054 (impressa) e ISSN 1981-1829 ( on-line)**

## **SISTEMAS DE PREPARO E ESTADO NUTRICIONAL DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM NEOSSOLO NA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL**

### **1. RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar o estado nutricional do feijoeiro em quatro sistemas de preparo em solos arenosos da Serra do Espinhaço Meridional. O primeiro cultivo do feijoeiro foi realizado entre abril e junho de 2006, o segundo, de novembro de 2006 a janeiro de 2007 e o terceiro, de dezembro de 2008 a fevereiro de 2009. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados no esquema de experimento em faixas, com cinco repetições. Os tratamentos foram os seguintes preparos do solo: arado de disco, arado de aiveca, grade pesada e plantio direto com o uso de dessecante na vegetação natural. O plantio direto e grade pesada são os sistemas de preparo do solo mais adequados para a produção do feijoeiro em solos arenosos da Serra do Espinhaço Meridional. Os sistemas de preparo influenciaram a nutrição do feijoeiro, sendo que os teores de N, Mg, S, Cu, Fe e Zn promoveram o aumento de produtividade do feijoeiro.

**Termo de indexação:** produtividade, plantio direto, arado de disco, aiveca, grade pesada.

**PREPARING SYSTEMS AND NUTRITIONAL CONDITIONS OF THE COMMON BEAN CULTIVATED IN QUARTZARENIC NEOSSOL IN SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL**

**2. ABSTRACT**

This study aimed to evaluate the nutritional conditions of common beans under four tillage systems on sandy soils of the Serra do Espinhaço Meridional. The first crop of the common bean was in April-June 2006, the second was from November, 2006 to January, 2007 and the third was from December, 2008 to February, 2009. The experimental design was randomized blocks using the scheme of split plot, with five replicates. The treatments were the following soil tillage: disk plow, mold-board plow, heavy offset disk harrow and no-tillage with the use of desiccant in natural vegetation. The no-tillage and heavy offset disk harrow are the most suitable soil tillage for the yield of common bean under field conditions in the High Valle Jequitinhonha. Tillage systems influenced the nutrition of the common bean, and the contents of N, Mg, S, Cu, Fe and Zn promoted the increase of yield.

**Index terms:** productivity, no-tillage, disk plow, mold-board plow, heavy offset disk harrow.

## INTRODUÇÃO

A região do Alto Vale do Jequitinhonha apresenta agricultura pouco desenvolvida e a prática de agricultura é bem limitada (Gonçalves, 1997). Os sistemas agrícolas são pouco eficientes, com baixos índices de produtividade, o que resulta em altas taxas de degradação ambiental. A mecanização agrícola é mínima e má utilizada.

Os sistemas agrícolas de manejo do solo são de grande importância na cultura do feijoeiro, podendo ser, em alguns casos, pouco eficientes e com baixos índices de produtividade, caracterizando elevadas taxas de degradação ambiental e baixa absorção de nutrientes pelas plantas (Barbosa Filho & Silva, 2000; Barbosa Filho et al., 2005).

Por sua vez, sistemas de manejo com menor revolvimento, como o cultivo mínimo ou o plantio direto, em virtude da maior proteção que conferem ao solo, da restrita mobilização da camada arável e da maior diversificação de espécies, têm sido mais viáveis sob as condições agroecológicas do Cerrado. Zaffaroni et al. (1991), ao avaliarem a produtividade do feijoeiro, não encontraram diferenças entre o plantio direto e o preparo convencional do solo. Já Skarphol & Corey (1987), em ano com menor incidência de chuvas, e Urchei et al. (2000), sob irrigação, verificaram maior produtividade em plantio direto.

Uma das razões para a baixa produtividade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Alto Vale do Jequitinhonha é a carência generalizada de nutrientes no solo, cujos teores são extremamente baixos, insuficientes para o pleno desenvolvimento das culturas. A adubação adequada e equilibrada de nutrientes para o feijoeiro, pelo uso de adubos minerais, possivelmente contribuirá para o aumento da produtividade e poderá melhorar o valor nutricional do feijão (Teixeira, 2000). Desse modo, a adubação equilibrada poderá fornecer nutrientes que não se encontram em quantidades suficientes no solo, promovendo maior produtividade e melhores qualidades organoléptica e nutricional (Andrade et al., 2004).



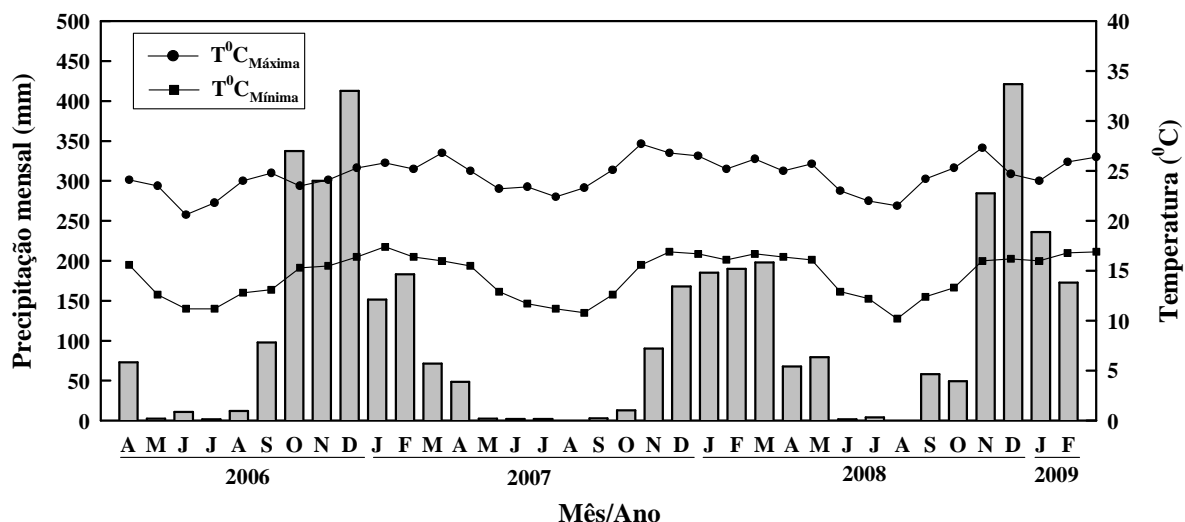
Valores abaixo da faixa crítica de nutrientes foliares são indícios de carência nutricional, necessitando de correção, e quando os valores são superiores, normalmente aparecem sintomas de toxidez (Kikut et al., 2006). No feijoeiro, uma das faixas críticas mais utilizada é a estabelecida por Martinez et al. (1999). O crescimento, a produtividade e o estado nutricional do feijoeiro são afetados por grande número de fatores, entre os quais estão os sistemas de preparo do solo (Stone & Silveira, 1999; Stone et al., 2000; Urchei et al., 2000; Stone & Moreira, 2001; Farinelli et al., 2006; Lana et al., 2008).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o estado nutricional do feijoeiro em quatro sistemas de preparo do solo em solos arenosos da Serra do Espinhaço Meridional.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

A área do experimento está localizada em Diamantina/MG, na região do Alto Vale do Jequitinhonha, sob as seguintes coordenadas: latitude 18° 12' 3'' S e longitude 43° 34' 18'' W de Greenwich. A área experimental está situada a 1.350 m de altitude com, precipitação anual média de 1.082 mm, temperatura média de 19,4°C, sendo o regime climático da região tipicamente tropical, Cwb na classificação de Köppen (NEVES et al., 2005).

Os dados de precipitação pluvial e temperatura máxima e mínima do período experimental de novembro de 2005 a fevereiro de 2009, descritos na Figura 1, foram obtidos na Estação Meteorológica de Diamantina/MG (INMET, 2009). O solo da área experimental é um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, fase Campo Limpo, relevo ondulado e textura arenosa (EMBRAPA, 2006), com declividade de 7,0%.



**Figura 1.** Distribuição mensal da precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima em Diamantina (MG) durante o cultivo do feijoeiro. Fonte: Inmet (2009)

Foram realizados três cultivos do feijoeiro: o primeiro (C1) foi realizado entre abril e junho de 2006, o segundo (C2), de novembro de 2006 a janeiro de 2007 e o terceiro (C3), de dezembro de 2008 a fevereiro de 2009. A área experimental antes do C1 apresentava como vegetação nativa plantas das famílias Fabaceae, Asteraceae, Malpigiaceae, Lamiaceae, Rubiaceae, Eriocaulaceae, Orchidaceae, Cyperaceae, Poaceae, Bromeliaceae. O sistema de classificação adotado foi o APG II (APG, 2003). No período de fevereiro de 2007 a dezembro de 2008, a área experimental ficou em pousio, onde prevaleceram as espécies *Solanum americanum*, *Bidens pilosa*, *Acanthospermum hispidum*, *Digitaria sanguinalis*, *Emilia fosbergii*, *Tagetes minuta*.

A população do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) foi de 240.000 plantas por ha, da cultivar Carioquinha, no espaçamento de 0,5 m entre linhas e 12 sementes por metro linear. Foi realizada adubação fosfatada corretiva com superfosfato simples (8 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por ha para 10,0 g/kg<sup>-1</sup> de argila), com um dia de antecedência do plantio no primeiro e segundo cultivos. A adubação de plantio foi realizada conforme recomendação de Chagas et al. (1999), baseada na análise química do solo (Tabela 1). Em todos os cultivos do feijoeiro foram feitos os tratos culturais e fitossanitários, conforme Paula Júnior e Venzon (2007).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados no esquema de experimento em faixas, com cinco repetições. Os tratamentos testados foram os seguintes: AD = preparo do solo com arado de disco (três discos de 71,1 cm de diâmetro, à profundidade de 25 cm) e grade niveladora (24 discos de 35,6 cm de diâmetro e profundidade de trabalho de 5 cm); AA = arado de aiveca (fixo com três aivecas, com profundidade de trabalho de 25 cm) e grade niveladora, GP = grade pesada (18 discos de 40,6 cm de diâmetro e à profundidade de

15 cm) e grade niveladora e PD = plantio direto com a utilização de roçadeira e dessecante na vegetação natural. Os blocos foram dispostos perpendicularmente à declividade do terreno, em número de cinco, e quatro parcelas, sendo a área total de cada parcela de 20 m<sup>2</sup> (2 x 10m), com a parcela útil de 8 m<sup>2</sup> (1 x 8 m) e a área experimental de 1.300 m<sup>2</sup> (65 x 20 m).

Inicialmente, foi cortada a vegetação da área com roçadeira de tração mecânica nos tratamentos AA, AD e GP, com aplicação de 50% da dose de calcário antes da utilização dos implementos e 50% antes da utilização da grade niveladora, com antecedência de 90 dias do plantio do feijoeiro, conforme recomendação de Alvarez V. e Ribeiro (1999), baseada na análise de solo (Tabela 1). A quantidade de calcário foi determinada com o PRNT de 90% e os dados obtidos pela profundidade de penetração dos implementos AD, AA, GP e o PD, considerando a profundidade de 5 cm no solo. As quantidades de calcário no C1 e C3 foram de 2,4 t ha<sup>-1</sup> para os sistemas de preparos AD e AA; 1,5 t ha<sup>-1</sup> para o AA e 0,5 t ha<sup>-1</sup> no PD. No C2, as quantidades de calcário foram 1,4 t ha<sup>-1</sup> para os sistemas de preparo AD e AA; 0,9 t ha<sup>-1</sup> para o AA e 0,3 t ha<sup>-1</sup> no PD. O plantio do feijão foi realizado com plantadora adubadora convencional.

**Tabela 1.** Resultado da análise química e granulométrica do solo antes da implantação do experimento na profundidade de 0-20cm.

Características	Primeiro cultivo (C1)
pH em H <sub>2</sub> O (1:2,5) <sup>(1)</sup>	5,3
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	2,0
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	28
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,2
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,2
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,6
CTC <sup>(2)</sup> a pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,3
V (%) <sup>(3)</sup>	14
C.O. <sup>(4)</sup> (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	4,1
Areia (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	880
Silte (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	60
Argila (g dm <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>	60

<sup>(1)</sup>Silva (2009). <sup>(2)</sup>Capacidade de troca de cátions. <sup>(3)</sup>Saturação por bases. <sup>(4)</sup>Carbono orgânico. <sup>(5)</sup>Embrapa (1997). Extrator de P e K - Mehlich-1 e Ca, Mg e Al - KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Textura pelo método da pipeta.

No tratamento PD foram feitas roçada e aplicação do herbicida glyphosate, na dose de 960 g do i.a. ha<sup>-1</sup>, o que equivale a 2 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial. Conforme recomendação de Alvarez V. e Ribeiro (1999), a calagem foi feita antes do plantio, com dosagem calculada na quantidade para incorporação a 5 cm, com 90 dias de antecedência do plantio do feijoeiro. No segundo cultivo do feijoeiro, no tratamento PD, foi feita a aplicação de 30 kg de N por ha na

forma de sulfato de amônio, antes do plantio, sobre a palhada, conforme recomendação de Sá (1999). O plantio do feijão foi feito com plantadora adubadora de arrasto de plantio direto.

Na colheita do feijoeiro foi avaliada a produtividade da cultura, com umidade dos grãos corrigida para 12%. Para avaliação do estado nutricional do feijoeiro, foram retiradas amostras de folhas no florescimento de cada parcela útil e os teores de macro (N, P, K, Ca Mg e S) e micronutrientes (B Cu Fe Mn e Zn) foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

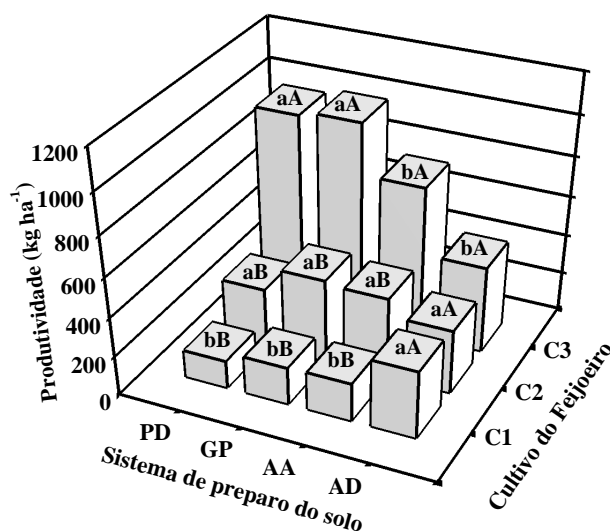
As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância e as médias dos sistemas de preparo do solo e cultivo do feijoeiro foram submetidas ao teste de Scott & Knott a 5%.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Produtividade do feijoeiro**

Ao longo dos três anos de cultivo, observou-se uma evolução na produtividade do feijoeiro em todos os sistemas de preparo, quando se destacaram mais os sistemas conservacionistas (GP e PD) (Figura 2).

No cultivo C1, todos os sistemas de preparo tiveram produtividade baixa, o que pode ser atribuído à época de plantio (outono), pois a precipitação pluviométrica foi bem abaixo da exigência da cultura do feijoeiro (Figura 1). Silveira e Stone (1998) comprovaram que melhores produtividades do feijoeiro em Minas Gerais foram obtidas com lâminas de água que variaram de 340 a 471 mm. Gomes et al. (2000) afirmaram que o regime hídrico influencia na produtividade do feijoeiro, podendo afetar o crescimento das raízes do feijoeiro e, conseqüentemente, a absorção e translocação de nutrientes.



Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas para sistema de preparo do solo e maiúsculas para cultivo do feijoeiro, não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5%.

**Figura 2** - Produtividade do feijoeiro submetido a diferentes sistemas de preparo do solo (AD - Arado de disco, AA - Arado de aiveca, GP - Grade pesada e PD - Plantio direto) em três cultivos (C1 - Abr a Jun/2006, C2 - Nov/2006 a Jan/2007 e C3 - Dez/2008 a Jan/2009).

No C2, observa-se uma grande evolução da produtividade nos sistemas de preparo do solo AA, GP e PD e uma diminuição no AD, sem diferença na produtividade entre os sistemas de preparo (Figura 2). Essa maior produtividade no C2 em relação ao C1 pode ser atribuída à época de plantio (“plantio das águas”), quando há maior disponibilidade hídrica para a cultura do feijoeiro (Figura 1) e, possivelmente, maior mineralização de N, em razão da maior decomposição da matéria orgânica pela microbiota do solo (Marques et al., 2000), nos sistemas de preparo do solo GP e PD (Figura 2). No C2, essa evolução da produtividade do PD pode ser atribuída à aplicação de 30 kg de N antes do plantio, sobre a palhada da vegetação presente, conforme recomendação de Sá (1999).

No C3, houve grande evolução na produtividade dos sistemas de preparo, chamando à atenção a produtividade dos sistemas de preparo conservacionistas (Figura 2). Os sistemas conservacionistas proporcionaram maior produtividade do feijoeiro, fato que pode ser atribuído à maior disponibilidade hídrica para o feijoeiro, tendendo ao acúmulo dos

nutrientes, matéria orgânica e, consecutivamente, da microbiota do solo (Silveira & Cunha, 2002; Bayer et al., 2004; Franchini et al., 2007), fazendo com que o feijoeiro produzisse mais. Stone & Moreira (2001) afirmaram que o feijoeiro apresentou maior produtividade quando cultivado em solo preparado com grade pesada, quando comparado ao plantio direto. Observa-se, no C3, que o PD teve produtividade superior aos AD e AA (Figura 2). No C3, a maior produtividade de grãos de feijão foi proporcionada pelo aumento da fertilidade do solo em todos os sistemas de preparo de solo e melhor implantação do PD na área cultivada.

### **Estado nutricional do feijoeiro**

O teor de N foliar teve uma evolução ao longo dos três cultivos, sendo mais baixo no C1 (Tabela 2). Isso pode ser atribuído à pouca precipitação pluviométrica (Figura 1), não tendo umidade suficiente para a absorção do N pelas raízes do feijoeiro. Segundo Pessoa et al. (1996), a boa disponibilidade hídrica na fase vegetativa favorece o desenvolvimento das plantas e a absorção de nutrientes. Os maiores teores de N foram obtidos pelos sistemas de preparo AD, AA e GP, não diferindo entre esses tratamentos estatisticamente. O menor teor de N foi obtido pelo sistema PD, o que pode ser justificado pela possível imobilização do N aplicado no plantio e em cobertura por micro-organismos do solo, a qual não disponibilizou o N para o feijoeiro (Farinelli et al., 2006).

No C2, os teores foliares de N ficaram dentro da faixa crítica proposta por Martinez et al. (1999) em todos os sistemas de preparo. Esse fato é justificado pela maior precipitação pluviométrica ocorrida na área, ficando assim mais fácil a absorção do N pelas raízes do feijoeiro (Tabela 2). Segundo Gomes et al. (2000), a produtividade do feijoeiro é influenciada pelo regime hídrico, podendo afetar o crescimento das raízes do feijoeiro e, conseqüentemente, a absorção e translocação de nutrientes. No PD, a aplicação de 30 kg de N/ha antes do plantio colaborou para o nivelamento do N foliar desse sistema com os demais sistemas de preparo (Tabela 2), sendo que, no C1, o sistema PD ficou abaixo da faixa crítica

estabelecida. As condições proporcionadas no cultivo C3 propiciaram a absorção de N pelo feijoeiro, quando o AD teve o teor de N foliar acima da faixa crítica estabelecida por Martinez et al. (1999). Esse fato pode estar relacionado com a maior incorporação da vegetação proporcionada pelo AD, decompondo e liberando o N para o feijoeiro. Os demais sistemas de preparo AA, GP e PD ficaram dentro da faixa crítica estabelecida, não se diferindo estatisticamente do AD, porém não deixando de evoluir em relação aos demais cultivos.

**Tabela 2** - Teores de macronutrientes nas folhas do feijoeiro submetido a diferentes sistemas de preparo do solo em três cultivos.

Cultivo <sup>1/</sup>	Sistemas de preparo do solo <sup>2/</sup>				Referência <sup>3/</sup>
	AD	AA	GP	PD	
	N (dag kg <sup>-1</sup> )				
C1	3,0 a B	2,8 a B	2,6 a B	2,1 b B	3,0 – 3,5
C2	3,2 a B	3,1 a B	3,3 a A	3,2 a A	
C3	3,8 a A	3,5 a A	3,4 a A	3,5 a A	
	P (dag kg <sup>-1</sup> )				
C1	0,35 a A	0,37 a C	0,38 a B	0,39 a B	0,40 – 0,70
C2	0,40 a A	0,42 a B	0,43 a A	0,44 a A	
C3	0,39 b A	0,57 a A	0,38 b B	0,27 c C	
	K (dag kg <sup>-1</sup> )				
C1	2,5 a A	2,7 a B	2,6 a A	2,7 a A	2,7 -3,5
C2	2,6 a A	2,6 a B	2,7 a A	2,7 a A	
C3	2,2 b B	3,8 a A	2,3 b B	2,5 b B	
	Ca (dag kg <sup>-1</sup> )				
C1	2,0 a B	2,1 a B	2,2 a B	2,1 a B	2,5 – 3,5
C2	2,4 a A	2,5 a A	2,6 a A	2,5 a A	
C3	2,3 a A	2,5 a A	2,4 a B	2,1 a B	
	Mg (dag kg <sup>-1</sup> )				
C1	0,30 a B	0,29 a B	0,28 a B	0,27 a B	0,30 – 0,60
C2	0,30 a B	0,33 a B	0,32 a B	0,31 a B	
C3	0,63 c A	0,86 b A	1,15 a A	0,94 b A	
	S (dag kg <sup>-1</sup> )				
C1	0,13 a B	0,14 a B	0,15 a B	0,14 a B	0,15 – 0,20
C2	0,15 a B	0,16 a B	0,17 a B	0,16 a B	
C3	0,56 a A	0,58 a A	0,70 a A	0,65 a A	

Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5%. <sup>1/</sup>C1 - Abr a Jun/2006, C2 - Nov/2006 a Jan/2007 e C3 - Dez/2008 a Jan/2009. <sup>2/</sup>AD - Arado de disco, AA - Arado de aiveca, GP - Grade pesada e PD - Plantio direto.. <sup>3/</sup>Martinez et al. (1999).

Apesar de a fosfatagem corretiva realizada antes do plantio no C1 e C2, o P ficou abaixo da faixa crítica estabelecida para a cultura no C1, não diferindo estatisticamente dos teores de P entre todos os sistemas de preparo (Tabela 2). Esse fato pode ser explicado pela menor quantidade de nutrientes disponíveis no solo, o que limita a disponibilidade do P às plantas (Kikut et al., 2006). Silva et al. (2001), ao elevarem as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> até 140 kg ha<sup>-1</sup>

em Neossolo Quartzarênico, obtiveram aumento linear do teor de P nas folhas do feijoeiro. No C2, os teores de P nas folhas do feijoeiro entraram na faixa crítica estabelecida para a cultura, não diferindo entre os sistemas de preparo do solo. Esse fato possivelmente pode ser atribuído à ciclagem biológica e à síntese e exsudação de enzimas fosfatases pelos microrganismos e raízes das plantas, as quais transformam o P orgânico em P inorgânico disponível à planta (Ross et al., 1995; Souza et al., 2008), além da melhor disponibilidade de água nesse cultivo do feijoeiro (Figura 1), que proporciona maior difusão do P no solo (Pessoa et al., 1996; Silva et al., 2001; Kikuti et al., 2006). Já no C3, o maior teor de P foliar foi encontrado no sistema AA, seguido na ordem pelo AD e GP, não diferindo estatisticamente entre si. O teor mais baixo foi obtido no sistema PD, ficando também abaixo da faixa crítica estabelecida para a cultura (Tabela 2). Esse fato possivelmente se deve à retenção do P microbiano, que posteriormente é disponibilizado como fonte de P inorgânico para a solução do solo (Ross et al., 1995; Souza et al., 2008).

Os teores de K na folha do feijoeiro no C1 e C2 não se diferenciaram estatisticamente entre os sistemas de preparo (Tabela 2). Porém, no C1, os sistemas de preparo AA e GP ficaram abaixo do nível crítico. No C2, os sistemas AD e AA tiveram seus teores de K abaixo do nível crítico. Isso possivelmente se deve à lixiviação do K no solo, que não disponibilizou para o feijoeiro a quantidade de nutrientes adequada (Werle et al., 2008). Também pode se atribuir baixo teor de K nas folhas à inibição competitiva do K com o Mg, pois o Mg manteve seus teores bem acima do nível crítico no C2 (Tabela 2), competindo com o Mg no mesmo sítio de absorção nas raízes (Malavolta et al., 1997). No C3, apenas o sistema de preparo AA esteve acima do nível crítico estabelecido para a cultura do feijoeiro. Os sistemas de preparo AD, GP e PD diferiram entre si (Tabela 2). Isso se deve possivelmente à inibição competitiva do K com Mg no C3, pois o Mg está acima do nível crítico estabelecido, interrompendo, assim, a absorção do K, por competição, pelo mesmo sítio carreador do feijoeiro.



O teor de Ca ficou abaixo do nível crítico estabelecido por Martinez et al. (1999) em todos os sistemas de preparo no C1, não havendo diferença estatística entre os sistemas de preparo (Tabela 2). Isso pode ser atribuído à inibição competitiva do Ca com o Mg no mesmo sítio do carreador. No C2, apenas o AD não atingiu o nível crítico de Ca estabelecido por Martinez et al. (1999). Porém, não houve diferença estatística entre os outros sistemas de preparo do solo. Isso pode ser atribuído possivelmente ao grande revolvimento do solo pelo AD, tendendo a promover a sua pulverização (Stone & Silveira, 1999), fazendo com que o Ca fique fora do alcance das raízes absorventes do feijoeiro em decorrência da inversão de camadas, proporcionada por esse sistema de preparo, ocorrendo a baixa absorção desse nutriente. No C3, apenas o AA proporcionou ao feijoeiro atingir o nível crítico do Ca estabelecido para a planta, não diferindo estatisticamente dos demais sistemas de preparo (Tabela 2). Isso pode ser atribuído possivelmente à inibição competitiva, constatada também por Soares et al. (2002) no maracujazeiro, do Ca com o Mg, já que o Mg apresentou valores bem acima do nível crítico estabelecido por Martinez et al. (1999).

O Mg ficou próximo do nível crítico estabelecido por Martinez et al. (1999) no C1 e C2, não diferindo estatisticamente entre os sistemas de preparo (Tabela 2), fato que se deve à calagem feita antes do cultivo do feijoeiro. Barbosa Filho & Silva (2000) observaram um aumento da absorção de Ca e Mg pelo feijoeiro com aplicação de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário em solo de cerrado. No C3, todos os sistemas de preparo ficaram acima do nível crítico estabelecido para o feijoeiro. O sistema que proporcionou ao feijoeiro obter maior teor de Mg nas folhas foi a GP, seguido na ordem pelo PD e AA, que não se diferiram estatisticamente. O AD foi o sistema de menor teor de Mg nas folhas (Tabela 2). Esses altos de teores de Mg no C3 se devem, provavelmente, à calagem antes desse cultivo, como explicado anteriormente, e efeito residual dos cultivos C1 e C2.

O S teve seus teores próximos do mínimo estabelecido por Martinez et al. (1999) no C1 e C2 e, no C3, seus valores ficaram acima da faixa crítica recomendada para o feijoeiro (Tabela 2), o que pode ser justificado, possivelmente, pelo efeito residual da adubação fosfatada corretiva antes dos cultivos C1 e C2, além da adubação nitrogenada com sulfato de amônio.

O B não variou significativamente nas folhas do feijoeiro cultivado nos quatro sistemas de preparo, nos três cultivos do feijoeiro (Tabela 3). Isso se deve possivelmente à má qualidade da matéria seca nativa incorporada pelos sistemas AD, AA e GP e não incorporada no sistema de PD, pois esse material possui muita lignina, que dificulta sua decomposição e liberação de B para o feijoeiro. Outra possível justificativa seria a lixiviação do B aplicado no plantio, pois esse solo é de textura arenosa (Tabela 1), dificultando o manejo dos seus nutrientes. Os solos de textura arenosa, pobres em matéria orgânica, tendem a apresentar baixa disponibilidade de B (Roselem & Bíscaro, 2007), principalmente quando cultivados em período com elevada precipitação (Communar & Keren, 2006).

O Cu não variou significativamente nas folhas do feijoeiro cultivado nos quatro sistemas de preparo, nos três cultivos do feijoeiro (Tabela 3). No C3, os sistemas de preparo AA, GP e PD apresentaram teores de Cu acima do estabelecido por Martinez et al. (1999). Isso se deve possivelmente à aplicação de fungicidas à base de cobre no controle de doenças fúngicas, elevando a quantidade de Cu nas folhas do feijoeiro, já que esse micronutriente é dos menos absorvidos pela cultura do feijoeiro (Barbosa Filho & Silva, 2000).

**Tabela 3** - Teores de micronutrientes nas folhas do feijoeiro submetido a diferentes sistemas de preparo do solo em três cultivos.

Cultivo <sup>1/</sup>	Sistemas de preparo do solo <sup>2/</sup>				Referência <sup>3/</sup>
	AD	AA	GP	PD	
	B (mg kg <sup>-1</sup> )				
C1	100 a A	105 a A	103 a A	104 a A	100 – 150
C2	105 a A	110 a A	108 a A	109 a A	
C3	112 a A	103 a A	108 a A	105 a A	
	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )				
C1	7,0 a A	8,1 a A	8,2 a A	8,3 a A	8 – 10
C2	8,0 a A	8,1 a A	8,3 a A	8,2 a A	
C3	9,5 a A	10,1 a A	10,7 a A	10,7 a A	
	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )				
C1	300 a A	305 a A	310 a A	315 a A	300 – 500
C2	320 a A	325 a A	330 a A	335 a A	
C3	276 a B	294 a A	256 a B	192 b B	
	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )				
C1	200 a B	205 a A	203 a A	202 a A	200 – 300
C2	205 a B	200 a A	208 a A	207 a A	
C3	340 a A	170 b B	170 b B	170 b B	
	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )				
C1	40 a A	40 a B	42 a B	41 a B	45 – 55
C2	46 a A	46 a B	48 a B	47 a B	
C3	53 b A	66 a A	74 a A	68 a A	

Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5%. <sup>1/</sup>C1 - Abr a Jun/2006, C2 - Nov/2006 a Jan/2007 e C3 - Dez/2008 a Jan/2009. <sup>2/</sup>AD - Arado de disco, AA - Arado de aiveca, GP - Grade pesada e PD - Plantio direto.. <sup>3/</sup> Martinez et al. (1999).

O Fe não variou significativamente nas folhas do feijoeiro cultivado no C1 e C2, atingindo a faixa estabelecida por Martinez et al. (1999). Porém, no C3, os sistemas de preparo AD, AA, GP e PD não atingiram os níveis adequados para a cultura do feijoeiro. O PD se destacou dos demais sistemas de preparo pelo seu baixo teor de Fe (Tabela 3). Isso se deve ao não fornecimento desse nutriente pelas adubações e à possível formação de complexos orgânicos da pouca matéria orgânica contida nesse solo com o Fe (Bayer & Mielniczuk, 1999; Santos & Rodella, 2007), já que esse sistema de preparo do solo (PD) tende ao acúmulo da matéria orgânica, em razão do não revolvimento do solo (Ciotta, 2001), diminuindo a disponibilidade desse micronutriente.

O Mn não variou significativamente nas folhas do feijoeiro cultivado no C1 e C2, atingindo a faixa estabelecida por Martinez et al. (1999) Já no C3, o sistema de preparo AD ficou um pouco acima da faixa estabelecida para a cultura do feijoeiro. Os demais sistemas de preparo AA, GP e PD ficaram abaixo da faixa estabelecida para o feijoeiro (Tabela 3). A

inibição competitiva do Mg sobre Mn pode decorrer do maior teor de Mg na folha do feijoeiro no C3 (Tabela 2), sendo constatada esse tipo de inibição na soja (Moreira et al., 2003).

No C1, os teores de Zn nas folhas do feijoeiro ficaram abaixo da faixa estabelecida por Martinez et al. (1999) (Tabela 3). Isso se deve possivelmente à utilização de calcário dolomítico, pois a maior quantidade de Mg aplicada inibe a absorção de Zn (Moreira et al., 2003), por se tratar de elementos com valência, raio iônico e grau de hidratação semelhante (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). No C2, os teores de Zn ficaram dentro da faixa estabelecida para o feijoeiro, não diferindo estatisticamente entre os sistemas de preparo AD, AA, GP e PD (Tabela 3). No C3, os teores de Zn ficaram acima do estabelecido para o feijoeiro nos sistemas de preparo AA, GP e PD, não diferindo estatisticamente entre eles (Tabela 3). Isso se deve possivelmente à ausência do mecanismo de inibição competitiva entre o Zn e o K, favorecendo sua absorção (Malavolta et al., 1997).

### **Correlação da produtividade com os teores de nutrientes nas folhas do feijoeiro**

O teor foliar de N correlacionou positivamente com a produtividade do feijoeiro nos quatro sistemas de preparo do solo (Tabela 4), o que pode ser justificado possivelmente pela maior disponibilidade hídrica do C2 e C3 (época das águas) (Figura 1), disponibilizando N para a absorção do feijoeiro. No cultivo C3, os sistemas de preparo PD e GP tiveram uma grande produtividade se comparado aos sistemas de preparo AD e AA (Figura 2). Isso se justifica pelos sistemas de preparo convencionais do solo (AD e AA) provavelmente perderem o N através da lixiviação. Os sistemas conservacionistas proporcionam maior conservação, manutenção de N nas camadas superficiais do solo, e a provável manutenção de maior quantidade de água disponível às plantas (Stone & Moreira, 2000).

**Tabela 4** - Coeficientes de correlação linear simples (r) entre produtividade de grãos de feijão e os teores foliares de nutrientes em três cultivos do feijoeiro e em quatro sistemas de preparo do solo.

Nutrientes foliares	Coeficientes de correlação linear simples (r)
N (dag kg <sup>-1</sup> )	0,66 **
P (dag kg <sup>-1</sup> )	-0,06 <sup>ns</sup>
K (dag kg <sup>-1</sup> )	0,07 <sup>ns</sup>
Ca (dag kg <sup>-1</sup> )	0,19 <sup>ns</sup>
Mg (dag kg <sup>-1</sup> )	0,95 **
S (dag kg <sup>-1</sup> )	0,90 **
B (mg kg <sup>-1</sup> )	0,12 <sup>ns</sup>
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0,87 **
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	-0,78 **
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	-0,34 <sup>ns</sup>
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	0,97 **

ns e \*\*: não significativo e significativo a 1% pelo teste de t, respectivamente.

O teor foliar de Mg se correlacionou com a produtividade do feijoeiro nos diferentes sistemas de preparo do solo e cultivo do feijoeiro (Tabela 4), o que pode ser atribuído, possivelmente, ao efeito residual da aplicação de calcário dolomítico nos cultivos C1 e C2 e ao adicionado no C3 antes do plantio, principalmente nos sistemas conservacionistas (GP e PD), que tiveram uma evolução na produtividade de feijão, com maiores valores no último cultivo (Figura 2). O maior teor de Mg na camada superficial desses sistemas de preparo do solo (GP e PD), principalmente no PD (Silveira et al., 2000; Falleiro et al., 2003), proporcionou maior quantidade de Mg para a absorção do feijoeiro.

O teor foliar de S e a produtividade de feijão se correlacionaram positivamente (Tabela 4). Essa correlação positiva se deve possivelmente ao fornecimento de S através da fosfatagem e adubação com sulfato de amônia. A disponibilidade total de S quanto à capacidade de adsorção do SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> é menor em solos com baixos teores de argila e em decorrência da sua retenção ainda ser diminuída pela aplicação de calcário e de fosfato (Rheinheimer et al., 2005), o que pode ser o fator limitante não só para altas produtividades da cultura do feijoeiro (Crusciol et al., 2006).

Há correlação positiva entre a produtividade e os teores de Cu nas folhas do feijoeiro (Tabela 4). Isso se deve possivelmente às pulverizações com fungicidas cúpicos, realizadas

durante o período experimental, principalmente nos cultivos C2 e C3 (período das águas) (Figura 1), elevando a quantidade de Cu nas folhas e proporcionando aumento de produtividade do feijão. A aplicação via solo, principalmente no PD, pode ocasionar a complexação do Cu na matéria orgânica mais estabilizada (Shuman, 1999), reduzindo sua disponibilidade no solo para o feijoeiro. Lana et al. (2008) não observaram resposta do feijoeiro, em produtividade, à aplicação de doses de Cu, via solo, sobre sistema de plantio direto.

Dentre os teores foliares correlacionados com a produtividade do feijoeiro, o teor de Fe foi o que teve correlação negativa e significativa (Tabela 4) com a redução no teor foliar de Fe (Tabela 3) e aumento de produtividade de grãos (Figura 2), ao longo dos três cultivos e entre os sistemas de preparo do solo, principalmente nos sistemas GP e PD. A elevação do teor de matéria orgânica nesse sistema, em decorrência do menor revolvimento do solo, principalmente no PD (Ciotta, 2001), reduz a disponibilidade de Fe pela formação de complexos orgânicos com a matéria orgânica (Bayer & Mielniczuk, 1999; Santos & Rodella, 2007).

O teor foliar de Zn se correlacionou positivamente com a produtividade do feijoeiro, inversamente ao que ocorreu com o Fe (Tabela 4). Isso se deve ao aumento da disponibilidade desse micronutriente no solo, decorrente da adubação de plantio do feijoeiro em cada cultivo com Zn, maior disponibilidade de resíduos vegetais nos sistemas GP e PD, aumentando o teor de matéria orgânica do solo (Bayer et al., 2004); mudança na disponibilidade desse micronutriente pelo aumento da formação de complexos solúveis com a matéria orgânica do solo e seus produtos de decomposição (Jones et al., 2003) e compostos hidrossolúveis lixiviados dos resíduos vegetais em processo de decomposição que possibilitem maior ciclagem de micronutrientes no solo (Franchini et al., 1999). Dentre esses compostos, estão os ácidos orgânicos de baixa massa molecular (Franchini et al., 2003), que são capazes de

complexar os micronutrientes catiônicos do solo (Pegoraro et al., 2006). Além da prática de adubação e do sistema de preparo do solo, a textura arenosa do solo da área experimental (Tabela 1) influenciou a disponibilidade de Zn. Possivelmente, o seu maior caráter fonte de Zn se dá em decorrência da menor adsorção as argilas do solo. A adsorção é o principal processo entre precipitação, complexação e oxirredução a ser considerado para o entendimento da disponibilidade de Zn, visto que as reações de adsorção tendem a ser mais rápidas que os processos de precipitação (Harter, 1991).

### CONCLUSÃO

O plantio direto e grade pesada são os sistemas de preparo do solo mais adequados à produção do feijoeiro nas condições de Campo Rupestre, no Alto Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais.

Os sistemas de preparo influenciaram a nutrição do feijoeiro, sendo que os teores de N, Mg, S, Cu e Zn tiveram correlação positiva e o Fe negativa, com a produtividade do feijoeiro.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H. (ed.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 43-60.
- ANDRADE, C.A.B.; PATRONI, S.M.S.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, C.A. Produtividade e qualidade nutricional de cultivares de feijão em diferentes adubações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1077-1086, 2004.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society**, [S.l.], v. 141, p. 399-436, 2003.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Atributos de fertilidade do solo e produtividade do feijoeiro e da soja influenciados pela calagem em superfície e incorporada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 507-514, 2005.
- BARBOSA FILHO, M.P.; SILVA, O.F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1317-1324, 2000.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sobre plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- CHAGAS, J.M., BRAGA, J.M., VIEIRA, C., SALGADO, L.T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G.A.A.; ANDRADE, M.J.B.; LANA, R.M.Q.; RIBEIRO, A.C. Feijão. In:

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 306-309.

CIOTTA, M.N. **Componentes químicos do solo influenciados por sistemas de preparo e modos de calagem em experimento de longa duração**. 2001. 102p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2001.

COMMUNAR, G.; KEREN, R. Rate-limited boron transport in soils: the effect of soil texture and solution pH. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 3, p. 882-892, 2006.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; SILVA, L.M.; LEMOS, L.B. Aplicação de enxofre em cobertura do feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 459-465, 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. Brasília: Produção de Informação, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Produção de Informação, 2006. 306 p.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; PENARIOL, F.G.; EGÉA, M.M.; GASPAROTO, M.G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 307-312, 2006.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and croprotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1-2, p. 18- 29, 2007.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMAN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Organic composition of green manure during growth and its effects on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, n. 13-14, p. 2045-2058, 2003.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 533-542, 1999.

GOMES, A.A.; ARAÚJO, A.P.; ROSSIELLO, R.O.P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 1927-1937, 2000.

GONÇALVES, R.N. **Diagnóstico ambiental da bacia do Rio Jequitinhonha**. Salvador: IBGE, 1997. 64 p.

HARTER, R.D. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. In: MORTVERDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (ed.). **Micronutrient in the agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 59-88.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2009.

JONES, D.L.; DENNIS, P.G.; OWEN, A.G.; van HEES, P.A.W. Organic acid behavior in soils - Misconceptions and knowledge gaps. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 248, n. 1-2, p. 31-41, 2003.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315 p.



KIKUTI, H.; ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, J.G.; MORAIS, A.R. Teores de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 347-354, 2006.

LANA, R.M.Q.; PEREIRA, R.P.; LANA, A.M.Q.; FARIA, M.V. Utilização de micronutrientes na cultura do feijoeiro cultivado no sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 4, p. 58-63, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARQUES, T.C.L.L.S.M.S.M., VASCONCELLOS, C.A.; PEREIRA FILHO, I.; FRANÇA, G.E. CRUZ, J.C. Evolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em latossolo vermelho-escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 581-589, 2000.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J. G. de; SOUZA, R. B. de. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 143-168.

MOREIRA, A; CARVALHO, J.G.; EVANGELISTA, A.R. Relação cálcio e magnésio na fertilidade de um latossolo vermelho escuro distrófico cultivado com alfafa. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 786-794, 2005.

PAULA JUNIOR, T. J.; VENZON, M. **101 culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800p.

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.S.; GEBRIM, F.O.; MOREIRA, F.F. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 859-868, 2006

PESSOA, A.C.S.; KELLING, C.R.S.; POZZEBON, E.J.; KÜNIG, O. Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio pelo feijoeiro em diferentes níveis de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 69-74, 1996.

RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S.; EDSON CAMPANHOLA BORTOLUZZI, E.C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 562-569, 2005.

ROSOLEM, C.A.; BÍSCARO, T. Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.10, p. 1473-1478, 2007.

ROSS, D.J.; SPEIR, T.W.; KETTLES, H.A. & MACKAY, A.D. Soil microbial biomass, C and N mineralization and enzyme activities in a hill pasture: Influence of season and slow-release P and sorption fertilizer. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 27, n. 11, p.1431-1443, 1995.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S. (Ed.) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS, 1999. p. 267-321.

SANTOS, G.C.G.; RODELLA, A.A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e PB no cultivo de *Brassica juncea*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 793-804, 2007.

- SHUMAN, L.M. Organic waste amendments effect of zinc fractions of two soils. **Journal of environmental quality**, New York, v. 28, n. 5, p. 1442-1447, 1999.
- SILVA, E.B.; RESENDE, J.C.F.; CINTRA, W.B.R. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n.6, p. 973-977, 2001.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627 p.
- SILVEIRA, P.M.; CUNHA, A.A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1325-1332, 2002.
- SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. 1998. Irrigação. In. VIEIRA, C.; PAULA, JR.T.J; BORÉM, A. (Eds). **Feijão: Aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. Viçosa, editora UFV. P. 181-219.
- SKARPHOL, B.J.; COREY, K.A. Response of snap beans to tillage and cover crop combinations. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 112, n. 5, p. 936-941, 1987.
- SOARES, F.A.L.; GHEYIL, H.R.; VIANA, S.B.A.; UYEDA, C.A.; FERNANDES, P.D. Water salinity and initial development of yellow passion fruit. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 491-497, 2002.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1273-1282, 2008.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J. A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2001.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n.1, p. 83-91, 1999.
- TEIXEIRA, I. R. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n.2, p. 399-408, 2000.
- URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 497-506, 2000.
- WERLE, R.; GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

## **CONCLUSÃO GERAL**

Os sistemas de preparo do solo, plantio direto e grade pesada, implantados sobre vegetação nativa em um Neossolo Quartzarênico, são os mais adequados para o cultivo do feijoeiro no Alto Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais.



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)