



JULIAN JUNIO DE JESÚS LACERDA

**AFERIÇÃO DA ADUBAÇÃO NPK E DE NÍVEIS
CRÍTICOS PARA O SISTEMA SOJA-MILHO DE
FERTILIDADE CONSTRUÍDA**

LAVRAS - MG

2014

JULIAN JUNIO DE JESÚS LACERDA

**AFERIÇÃO DA ADUBAÇÃO NPK E DE NÍVEIS CRÍTICOS PARA O
SISTEMA SOJA-MILHO DE FERTILIDADE CONSTRUÍDA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto

Coorientador

Dr. Álvaro Vilela de Resende

LAVRAS - MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Lacerda, Julian Junio de Jesús.

Aferição da adubação NPK e de níveis críticos para o sistema
soja-milho de fertilidade construída / Julian Junio de Jesús Lacerda.
– Lavras : UFLA, 2014.

112 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto.

Bibliografia.

1. Adubação de sistema. 2. Plantio direto. 3. Latossolos. 4. Alta
produtividade. 5. Semeadura direta. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 631.8

JULIAN JUNIO DE JESÚS LACERDA

**AFERIÇÃO DA ADUBAÇÃO NPK E DE NÍVEIS CRÍTICOS PARA O
SISTEMA SOJA-MILHO DE FERTILIDADE CONSTRUÍDA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 11 de setembro de 2014.

Dr. Álvaro Vilela de Resende	EMBRAPA/UFLA
Dr. Francisco Dias Nogueira	EPAMIG
Dr. Silvino Guimarães Moreira	UFSJ
Dra. Maria Lígia de Souza Silva	UFLA
Dr. Ruy Carvalho	UFLA
Dr. Guilherme Lopes	UFLA

Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto
Orientador

LAVRAS - MG

2014

Ao Senhor, meu Deus, meu protetor e aos meus pais, José e Helena

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, por seu amor e fidelidade.

À minha família, representada pelos meus pais, José e Helena, pela educação familiar e motivação em cada etapa de minha carreira acadêmica.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de realização do Doutorado.

À Embrapa Milho e Sorgo, pelo apoio e oportunidade de desenvolvimento deste trabalho no âmbito de projeto da Rede FertBrasil.

Ao Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto pela orientação, apoio e confiança.

Ao Dr. Álvaro Vilela de Resende, pela coorientação, acompanhamento em cada etapa da execução do projeto e discussões que muito contribuíram para a qualidade deste trabalho.

À FAPEMIG, ao CNPq, a CAPES pelo auxílio financeiro e concessão de bolsas.

Aos professores Douglas Guelfi, Carlos Alberto, Valdemar Faquim, Janice Guedes (*in memoriam*), Marx Leandro, Moacir Dias, Luís Roberto, João José, Nilton Curi, José Maria, Fátima Moreira, Yuri Zinn, Renato e Augusto Ramalho (DEX/UFLA) pela constante disponibilidade para ensinar e pela indicação de importantes referências da literatura citadas neste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto, Dr. Álvaro Vilela de Resende, Dr. Silvino Guimarães Moreira, Dra. Maria Lígia de Souza Silva, Dr. Ruy Carvalho, Dr. Francisco Dias Nogueira, Dr. Guilherme Lopes pelas correções e sugestões.

Aos proprietários das Fazendas Decisão (Unai-MG) e Santa Helena (Nazareno-MG), nas pessoas de Gilberto Zancanaro e Evandro Ferreira, respectivamente, pela cessão dos locais para instalação dos experimentos,

fornecimento de maquinário, insumos e apoio na mão de obra das operações.

À professora Dra. Maria Lúcia Silveira pela orientação, durante o período de Doutorado Sanduíche na Universidade da Flórida e aos funcionários do *Range Cattle Research and Education Center*, Ona, FL, em especial à Cindy Holley.

Aos colegas, em especial, Clério, Hélcio, Breno, Bruno, Eduane, Dr. Pedro Viegas e Bernardo pela convivência, pelas disciplinas compartilhadas e amizade.

Aos funcionários e técnicos do DCS/UFLA, em especial, Dirce e José Roberto (Pezão) pela agilidade e disposição para o trabalho.

Enfim, a todos que contribuíram para esta realização pessoal e profissional.

“Eu posso fazer todas as coisas através de Cristo, aquele que me fortalece.” Apóstolo Paulo (Filipenses, 4:23)

RESUMO GERAL

Nos sistemas de produção de grãos com uso intensivo de tecnologia, as adubações sucessivas, para construção da fertilidade e reposição dos nutrientes exportados nas colheitas, originaram uma condição de alta fertilidade nos solos em algumas áreas do Cerrado. Os objetivos para a realização deste trabalho foram: caracterizar a variação nos teores de P e K no solo, em função das quantidades fornecidas na adubação em Latossolos argilosos com fertilidade construída; identificar doses de N, P e K capazes de assegurar boas produtividades e maior rentabilidade em sistemas de produção soja-milho; e aferir os níveis críticos de P e K no solo para sistemas com alto potencial produtivo. Foram conduzidos dois experimentos em blocos casualizados com parcelas subdivididas, durante três anos, em lavouras nas regiões Noroeste (Unaí) e Campo das Vertentes (Nazareno) do estado de Minas Gerais. Os tratamentos consistiram na combinação de quatro doses de fertilizantes NPK na semeadura e quatro na adubação de cobertura. O tratamento referência consistiu na quantidade de fertilizante normalmente utilizada pelas fazendas. Em Unaí, o solo apresentou elevado tamponamento quanto ao teor de P disponível, enquanto os teores de K trocável variaram em virtude das adubações e decomposição da palha após as colheitas ao longo dos três cultivos. A produtividade da soja nas parcelas sem adubação não foi diferente daquela obtida nas parcelas adubadas. O máximo retorno econômico por causa da aplicação de fertilizantes na cultura do milho foi obtido com a aplicação de 312 kg ha^{-1} do formulado NPK 10-32-10 na semeadura e 263 kg ha^{-1} de ureia em cobertura. Considerando os dados dos dois locais, os níveis críticos de P e K nos Latossolos de fertilidade construída, no período do florescimento das culturas são: 14 e 77, 18 e 81, e 17 e 116 mg dm^{-3} , para a soja, o milho e para o sistema soja-milho, respectivamente.

Palavras-chave: Adubação de sistema. Plantio direto. Latossolos. Alta produtividade. Semeadura direta.

GENERAL ABSTRACT

In grain production systems with intensive use of technology, successive fertilizations, for building fertility and replacing nutrients exported in the harvests, caused a high fertility condition in the soils in some areas of the Cerrado. The objectives of this work were: to characterize the variation in the contents of P and K in the soil, in function of the quantities provided in the fertilization of clayey Oxisols with built fertility; to identify doses of N, P and K capable of ensuring good productivities and high profitability in soy-maize production systems; and to measure the critical levels of P and K in the soil for high productive potential systems. It was conducted two experiments in randomized blocks with split plot design, during three years, in crops in the Northwest (Unai) and Campo das Vertentes (Nazareno) regions of the Minas Gerais State, Brazil. The treatments consisted of the combination of four doses of NPK fertilizers applied during sowing and four applied as topdressing. The reference treatment was the amount of fertilizer normally used by farms. In Unai, the soil presented elevated buffering regarding the content of available P, while the contents of exchangeable K ranged in virtue of the fertilizing and decomposition of the straw after harvesting over three consecutive cultivations. Soy productivity in the plots with no fertilizing did not defer from that obtained in the fertilized plots. The maximum economic return derived from the application of fertilizers to maize culture was obtained with the application of 312 kg ha⁻¹ of the mix NPK 10-32-10 during sowing and 263 kg ha⁻¹ of urea in topdressing. Considering the data from both locations, the critical levels of P and K in Oxisols of built fertility, in the blooming period of the cultures, are: 14 and 77, 18 and 81, and 17 and 116 mg dm⁻³, for soy, maize and soy-maize system, respectively.

Keywords: System fertilizing. No tillage. Oxisol. High productivity. Direct seeding.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO 11
2	REFERENCIAL TEÓRICO 13
2.1	Dependência brasileira na importação de fertilizantes 13
2.2	Soja e milho manejados em sistema de semeadura direta 15
2.3	Ciclagem de nutrientes no sistema plantio direto 20
2.4	Manejo de adubação em sistemas de culturas 22
	REFERÊNCIAS 26
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS 31	
ARTIGO 1 Adubação, produtividade e rentabilidade de um sistema de produção soja/milho em latossolo de fertilidade construída 31	
1	INTRODUÇÃO 33
2	MATERIAL E MÉTODOS 36
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO 46
3.1	Respostas da soja e do milho a níveis de investimento em adubação de manutenção 50
3.2	Produção acumulada de três safras 54
3.3	Análise de rentabilidade 57
4	CONCLUSÃO 63
	REFERÊNCIAS 65
ARTIGO 2 Níveis críticos de fósforo e potássio no sistema soja-milho em latossolos de fertilidade construída 69	
1	INTRODUÇÃO 71
2	MATERIAL E MÉTODOS 74
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO 82
3.1	Produtividade de grãos 82
3.2	Correlações entre os teores de P e K disponível no solo e a produtividade de soja e milho 91
3.3	Níveis críticos de P e K no solo à época do florescimento das culturas da soja, do milho e para o sistema soja-milho em solos de fertilidade construída 95
4	CONCLUSÃO 104
	REFERÊNCIAS 106
	APÊNDICES 111

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

As exportações do agronegócio brasileiro atingiram em julho de 2014, o montante de US\$ 9,61 bilhões, o que representou uma participação de 41,7% no total das vendas externas brasileiras no período. Este percentual é, relativamente, estável desde 1989, com média de 40,4% e variação de 7%. O principal setor da pauta exportadora nos primeiros meses de 2014 foi o da soja, com vendas de US\$ 3,94 bilhões, representando 41,0% do total das exportações do agronegócio (BRASIL, 2014).

A produção de soja no Brasil é liderada pelos estados de Mato Grosso, com 29,0% da produção nacional; Paraná com 19,5%, Rio Grande do Sul com 15,4%, Goiás com 10,5% e Minas Gerais com 4% da produção nacional. Em relação ao milho, o estado de Minas Gerais é o terceiro maior produtor nacional, com 9,5% da produção nacional (BRASIL, 2013).

O aumento da produção de soja e milho no estado de Minas Gerais destaca-se em grande parte pelo uso mais intensivo da terra, dos fertilizantes, máquinas agrícolas e de variedades mais adaptadas aos diferentes microclimas. Nos chapadões da região Noroeste do estado, os programas de ocupação do cerrado induziram o desenvolvimento de uma agricultura com a utilização de elevados níveis de insumos agrícolas.

No entanto, em virtude do caráter ácido e pobre em nutrientes dos solos de cerrado, a expansão agrícola nessa região só foi possível com a utilização de corretivos da acidez e do fornecimento de fertilizantes. A orientação genérica é que se apliquem dosagens de nutrientes, além das quantidades exportadas nas colheitas com a finalidade de melhorar, gradativamente, a fertilidade dos solos. Como consequência, ao longo dos anos de cultivo, o nível de fertilidade desses

solos aumentou, de modo que é comum encontrar em áreas comerciais, solos com os teores de fósforo e potássio acima dos níveis críticos. Logo há necessidade de reavaliar os padrões de resposta e os níveis críticos de nutrientes para cultivares modernas de alto potencial produtivo. É preciso, também, avaliar o aspecto econômico das adubações nesses solos, que por estarem saturados de nutrientes, há baixa expectativa de resposta em produtividade por causa da adubação.

Na falta de informações respaldadas pelas instituições de pesquisa e visando aumentar a produtividade, grande número de agricultores, ainda, adota a cultura da precaução e continua adubando suas lavouras com nitrogênio, fósforo e potássio, sem maiores critérios na definição de dosagens dos fertilizantes. É comum se aplicar quantidades fixas de determinados formulados NPK, o que ao longo do tempo favorece o desequilíbrio no fornecimento desses nutrientes. Ou seja, é comum a realização de adubações desnecessárias ou superdimensionadas (RESENDE, 2011).

Diante desse cenário, torna-se necessária a realização de estudos sobre estratégias de manejo das adubações que possam aumentar a eficiência no uso de fertilizantes. Assim, objetivou-se neste trabalho: avaliar a eficiência técnica e econômica de diferentes doses de fertilizantes aplicados na semeadura e em cobertura, para solos de fertilidade construída, em sistemas de alta produtividade cultivados no sistema plantio direto; e aferir níveis críticos de fósforo e potássio no solo para o cultivo de milho e soja nesses ambientes de produção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Dependência brasileira na importação de fertilizantes

No ano 2012, o Brasil consumiu 7,1% do total de fertilizantes NPK consumidos no mundo e por isso ocupa o quarto lugar no consumo de fertilizantes, atrás da China, Índia e Estados Unidos. No ano de 2013, foram entregues ao consumidor final no Brasil cerca de 31 milhões de toneladas de fertilizantes NPK (ANDA, 2013a). Grande parte desta demanda é atribuída aos cultivos da soja e milho no país, que juntos foram responsáveis pelo consumo de 28% do nitrogênio, 71% do fósforo e 51% do potássio consumido no mesmo ano (SILVA; LODI; OLOVICIN, 2013).

A elevada demanda da agricultura brasileira por fertilizantes, associada aos problemas relacionados à insuficiência da indústria nacional, precariedade no setor de logística e de transporte, escassez de matéria-prima economicamente viável e elevadas taxas tributárias cobradas sobre os produtos nacionais, têm contribuído de forma decisiva para o aumento das importações desses insumos.

A exploração em escala comercial de potássio no Brasil se restringe ao complexo mina/usina Taquari-Vassouras no estado de Sergipe. O departamento nacional de pesquisa Mineral (DNPM) publicou no ano 2013 um relatório que prevê a vida útil da lavra de silvinita (KClNaCl) no local somente até 2016, com possibilidade de ampliação até 2022. No estado do Amazonas, nas localidades de Fazendinha e Arari, na região de Nova Olinda do Norte, também, há reservas oficiais de silvinita, estas somam mais de um bilhão de toneladas, com teor médio de 18,47% de K_2O equivalente (OLIVEIRA, 2013). No entanto, os possíveis impactos ambientais e à necessidade de melhoria da infraestrutura, principalmente, energética, dificultam a exploração do K em curto prazo. Existem, ainda, as reservas de K no pré-sal, mas estas dependem de tecnologia

que viabilize economicamente a exploração. Apesar de haver outros projetos, como a exploração de carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) em Sergipe para exploração de K por 40 anos a partir de 2016, e o projeto Santa Rosa de Lima sem definição até o momento, percebe-se a dependência brasileira do insumo, pois o país importou 92% da quantidade consumida em 2012 (OLIVEIRA, 2013).

Em relação ao fósforo, a situação brasileira é um pouco mais confortável. Em 2012 o país foi o 5º maior produtor mundial de fosfato e praticamente conseguiu atender sua demanda interna de concentrado de rocha fosfática. No entanto, esse patamar não se mantém ao longo da cadeia de fertilizantes, pela ausência de outros insumos, como o enxofre e amônia, necessários para a produção dos produtos intermediários. Entre os produtos intermediários citam-se: monoamônio fosfato (MAP), diamônio fosfato (DAP), superfosfato simples (SS), superfosfato duplo (SD), superfosfato triplo (TSP), termofosfato (ST), NPK, PK, NP e outros. Assim, em relação ao consumo aparente (produção+importação-exportação), no ano 2012, o país produziu 84,2% do concentrado fosfático, 94,7% do ácido fosfórico e 61,1% dos produtos intermediários (FONSECA; SILVA, 2013). No entanto, considerando os dados médios de 2006 a 2010, o Brasil importou 45% e produziu 55% do fosfato total consumido no período (ANDA, 2011).

Concernente ao nitrogênio, no ano 2012 o Brasil produziu 791.579 t de N para fins de produção de fertilizantes, importou 2.747.763 t e entregou ao consumidor final 3.434.810 t (ANDA, 2013b). Estes valores demonstram que, aproximadamente, 80% do N consumido como fertilizante foi importado em 2012.

Mesmo com a fragilidade no setor de produção de fertilizantes, percebe-se a expansão da fronteira agrícola brasileira. A abertura de novas áreas para o cultivo de grãos, especialmente na região dos cerrados, colocou o Brasil em posição de destaque na exportação de commodities agrícolas para o mundo. Em

2013, o país foi o terceiro maior exportador mundial de commodities agrícolas (EUROPEAN COMMISSION, 2014).

Este contexto justifica a necessidade da realização de estudos em fertilidade do solo que busquem aumentar ou manter as produtividades das culturas, associando o aspecto econômico com o uso com responsável dos recursos naturais. É necessário reconhecer as interações entre fontes de nutrientes e doses adequadas de fertilizantes a serem aplicadas na produção de cada cultura e no sistema como um todo.

2.2 Soja e milho manejados em sistema de semeadura direta

A produção de grãos no Brasil ocupa uma área de, aproximadamente, 54 milhões de hectares (CONAB, 2014), sendo mais de 31 milhões em sistema plantio direto (FEBRAPDP, 2012). O Brasil tem a segunda maior área cultivada em plantio direto no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos (DERPSCH et al., 2010). O aumento da produção de grãos, principalmente o milho e a soja, está intimamente relacionado à expansão do sistema plantio direto nas regiões agrícolas brasileiras.

Alvim e Oliveira Junior (2005) analisaram a competitividade e lucratividade da produção de soja no Estado de Mato Grosso do Sul, comparando-se os sistemas, plantio direto e convencional. Os autores demonstraram que há maior lucro da soja, quando se cultiva em plantio direto em comparação com o cultivo convencional e que a preferência dos agricultores por aquele sistema está relacionada à sua maior rentabilidade.

Em relação ao aspecto técnico, o manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto está associado a um conjunto de boas práticas no uso de fertilizantes. O técnico deve conhecer o histórico de uso da área a ser fertilizada, incluindo a sequência de culturas, o tempo de utilização, quantidades e tipos de

insumos aplicados, produtividades obtidas e o tipo de preparo do solo realizado. O aumento da eficiência de uso de fertilizantes envolve, ainda, o uso de cultivares melhoradas, irrigação e fertilização equilibrada. Outros aspectos a serem considerados estão relacionados à recomendação criteriosa de fertilizantes com base em análises de solo, nas quais o processo de amostragem tenha sido realizado de forma criteriosa.

No sistema de plantio direto, a correção da acidez do solo por meio da calagem apresenta uma dinâmica diferente dos preparos convencionais. O calcário é aplicado superficialmente, pois não há revolvimento do solo. Assim, antes de iniciar o sistema de plantio direto, devem ser corrigidas a acidez do solo nas camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (20 a 60 cm) (SOUSA; REIN, 2009).

Nos primeiros anos após a adoção do sistema plantio direto em substituição ao preparo convencional, pode ocorrer diminuição na disponibilidade de nitrogênio dependendo da relação C:N da cultura antecessora. Geralmente em cultivos de milho após outras espécies da família Poaceae como, aveia, trigo, milheto, a menor disponibilidade de N é compensada pelo aumento da dose de N na adubação de semeadura e/ou antecipação da adubação de cobertura. Por outro lado, a partir de 4 a 5 anos, quando o sistema plantio direto se estabiliza, há aportes de nitrogênio orgânico de até $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (PEREIRA et al., 2013). A época e o parcelamento da adubação nitrogenada dependem do tipo de solo, da dose de N, cultura antecessora e da irrigação, se for o caso.

Para a aplicação do adubo fosfatado, deve-se considerar que o comportamento do fósforo no sistema de semeadura direta é diferente do plantio convencional, pois o não revolvimento do solo reduz o contato entre os colóides e o íon fosfato diácido (H_2PO_4^-). Além disso, a matéria orgânica ameniza as reações de adsorção, principalmente, quando a adubação é feita na linha de

semeadura (SÁ, 1999). Portanto, a redução da superfície de contato dos óxidos pela matéria orgânica faz prevalecer formas trocáveis de H_2PO_4^- em solução, minimizando a fração não lábil de P, ligada a Fe e Al. Outro aspecto a ser considerado é que a implantação do sistema plantio direto promove o acúmulo de fósforo na camada superficial do solo ao longo do tempo (SAMANIEGO; FERREIRA; AMADO, 2011; BRESSAN et al., 2013).

Se o nível de P disponível no solo estiver adequado, isto é, conforme o nível crítico, as adubações de manutenção com 60 a 100 kg^{-1} serão suficientes para produtividades de 3000 a 5000 kg ha^{-1} de soja ou 6000 a 10000 kg ha^{-1} de milho. Quando o teor de P (Mehlich 1) no solo for superior a 6, 12, 20 e 25 mg dm^{-3} para solos de textura muito argilosa, argilosa, média e arenosa, respectivamente, as adubações de manutenção podem ser reduzidas pela metade (SOUZA; REIN, 2009). No entanto, ainda faltam informações para o cultivo de grãos em sistemas de altas produtividades.

Em relação ao potássio, experimentos de longa duração conduzidos em Latossolo Roxo álico, textura argilosa, fase cerrado e cerrado subtropical, em Campo Mourão-PR, com disponibilidade inicial de K alta, igual a 0,31 cmolc dm^{-3} (121 mg dm^{-3}), foram observados decréscimos na disponibilidade de K trocável nas parcelas que receberam 0, 40 ou 80 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ de K_2O . Os autores observaram produtividades entre 1.800 a 2.500 kg ha^{-1} e relataram que 80 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ de K_2O não foi suficiente para manter os teores de K-trocável, acima dos níveis críticos. Além disso, o Latossolo estudado não pode ser cultivado por mais de dois anos com soja, sem serem repostas as quantidades de K exportadas nos grãos; e para manter a produtividade da soja entre 2500 a 3500 kg ha^{-1} no sistema de sucessão soja-trigo foi sugerido aplicar 120 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ de K_2O na semeadura (BORKERT et al., 1997).

Em Turvelândia-GO, Bernardi et al. (2009) avaliaram a eficiência da adubação potássica, com relação às doses, modos de aplicação (sulco, a lanço e

parcelada) e épocas (pré-semeadura, semeadura e cobertura), na sucessão de culturas soja-milheto-algodoeiro cultivadas em sistema plantio direto. Para a cultura da soja, os autores utilizaram quatro doses de K_2O : 0 kg ha^{-1} , 30 kg ha^{-1} , 60 kg ha^{-1} e 180 kg ha^{-1} , aplicadas de 4 formas: i) totalidade das doses em pré-semeadura; ii) totalidade das doses no sulco de semeadura; iii) 30 kg ha^{-1} de K_2O no sulco de semeadura e o restante a lanço, em cobertura, aos 35 dias após a emergência; e iv) 30 kg ha^{-1} de K_2O em pré-semeadura e o restante a lanço, em cobertura, aos 35 DAE. A aplicação K_2O , independente da dose, modo e época de aplicação não influenciou a produtividade da soja. Os teores de K, antes da implantação do experimento, foram $0,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (86 mg dm^{-3}). Dessa forma, o K trocável existente originalmente no solo, provavelmente, foi suficiente para suprir as exigências nutricionais da cultura.

Para o milho, quando os teores de K no solo estão acima do nível crítico, há relatos na literatura de casos, com falta de respostas em produtividade à adubação potássica e casos em que ocorre aumento de produtividade em razão do fornecimento de K. Valderrama et al. (2011) avaliaram o efeito de doses e fontes de N, P e K, nos componentes de produção e na produtividade da cultura de milho irrigado no Cerrado do município de Selvíria, MS. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso, com teor inicial de K no solo igual a $2,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ($89,93 \text{ mg dm}^{-3}$). A produtividade de grãos de milho não foi influenciada pelas doses de potássio ($0, 40, 80$ e 120 kg ha^{-1} de K_2O). Os autores atribuíram a falta de resposta aos teores iniciais de K no solo. Na região Sul do país, Pavinatto et al. (2008), também, não observaram efeito da adubação sobre a produtividade de grãos de milho em Latossolo Vermelho distrófico típico de Cruz Alta, RS. Os autores, também, justificaram a falta de resposta pelos altos teores disponíveis de K no solo. Deparis, Lana e Fradaloso (2007), também, não encontraram respostas em produtividade do milho às doses crescentes de potássio ($3; 7,5; 15; 30; 45; 52,5$ e 57 kg ha^{-1} de K_2O) em

Latossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa (643 g kg^{-1} de argila) e teor médio inicial de K no solo de 0-20 cm igual $0,36 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ($140,76 \text{ mg dm}^{-3}$), em Cascavel no Paraná. Por outro lado, Rodrigues et al. (2014) avaliaram o efeito de doses de potássio, usando cloreto de potássio convencional e revestido por polímero, na cultura do milho no cerrado em Selvíria, MS, durante dois anos. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa (530 g kg^{-1} de argila), sob cultivo com culturas anuais por 26 anos, sendo os últimos oitos em semeadura direta. O teor de K antes do experimento foi $2,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ($97,75 \text{ mg dm}^{-3}$). O KCl revestido proporcionou resultados semelhantes ao KCl convencional para os teores foliares de K, componentes de produção e produtividade de grãos de milho. Mas, o incremento das doses de K_2O (0, 40, 80 e 120 kg ha^{-1}) proporcionou aumento dos teores foliares de K, do número de fileiras e de grãos por espiga. A produtividade apresentou comportamento quadrático com ponto de máxima produtividade de grãos (8911 kg ha^{-1}), quando foram aplicados $83,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O , em média, independentemente da fonte utilizada de K. Os autores atribuíram a resposta às doses de potássio à alta exigência do híbrido simples de milho AG 8088, utilizado no estudo, uma vez que o teor inicial de K estava no nível médio de disponibilidade.

Enfim, alguns estudos demonstram que há aumento da produtividade do milho e da soja em função da aplicação de fertilizantes (LANA et al., 2007; BROCH et al., 2008; FRANDOLOSO et al., 2010; QUEIROZ et al., 2011; SILVA, SILVA, LIBADI, 2013; MENDES et al., 2014; RODRIGUES et al., 2014), outros relatam não haver resposta do milho (DEPARIS et al., 2007; PAVINATTO et al., 2008; VALDERRAMA et al., 2011) e da soja (BERNARDI et al., 2009). Nota-se a necessidade de estudos regionalizados e adaptados para o nível tecnológico do agricultor, bem como, considerando o

histórico das áreas e as mudanças dos atributos químicos, físicos e biológicos no solo, em virtude da adoção do plantio direto.

2.3 Ciclagem de nutrientes no sistema plantio direto

Parte do sucesso do plantio direto sistema reside no fato de que a palha, deixada por culturas de cobertura sobre a superfície do solo, somada aos resíduos das culturas comerciais, cria um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal. Além disso, o sistema plantio direto contribui para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção da qualidade do solo (ALVARENGA et al., 2001).

O balanço líquido entre a mineralização e a imobilização de nutrientes, durante a oxidação dos materiais orgânicos no solo, é controlado pela qualidade do resíduo adicionado, principalmente a proporção entre o carbono e outros nutrientes como N, P e S. Stevenson (1986) mostra que resíduos com C/N, C/P e C/S maior que 30, 300 e 400, respectivamente, são resíduos pobres, nos quais a imobilização prevalece sobre a mineralização. Por outro lado, resíduos com C/N, C/P e C/S menor que 20, 200 e 200, respectivamente, são resíduos ricos, nos quais a decomposição aumenta a disponibilidade de nutrientes, porque a mineralização supera a imobilização. Nos valores intermediários entre esses limites há um equilíbrio entre a mineralização e a imobilização.

O manejo do solo em plantio direto ocasiona a decomposição mais lenta de resíduos de milho e soja do que na semeadura convencional (GONÇALVES et al., 2010). A decomposição dos resíduos culturais do milho é mais lenta quando comparados aos da soja. Aos 135 dias após o corte, há redução de 42% da matéria seca da palha de milho e liberação de: 41% do N, 35% do P e 60% do K (CALONEGO et al., 2012). Para os resíduos de soja, aos 120 dias após o corte, houve redução de 76% da biomassa, com a liberação de 86% do N, 93%

do P e 98% do K do total acumulado no tecido (PADOVAN et al., 2006). A liberação mais rápida de nutrientes pela palha da soja comparativamente ao milho ocorre por causa da maior relação C:N da poácea (43:1), maior proporção de material lignificado (colmos e sabugos) e à maior quantidade de material devolvido ao solo após as colheitas (PADOVAN et al., 2006; CALONEGO et al., 2012).

A utilização de espécies da família Fabaceae, como a soja, na rotação ou sucessão de culturas pode ser importante para o suprimento de N às espécies subsequentes, principalmente, àquelas mais exigentes, como o milho. Por outro lado, a rápida decomposição dos resíduos das espécies Fabaceae, em virtude da baixa relação C:N de seus resíduos, faz com que haja menor cobertura do solo depois de dessecadas e roçadas em comparação com resíduos do milho (CALONEGO et al., 2012).

A literatura, também, relata a capacidade das plantas de cobertura em assimilar nutrientes e, posteriormente, liberá-los para as culturas subsequentes (KLIEMANN; BRAZ, SILVEIRA, 2006; PACHECO et al., 2013; MEDRADO et al., 2011). As quantidades de nutrientes recicladas pelas plantas de cobertura podem variar de poucos quilos até mais de 400 kg ha⁻¹, de acordo com a espécie cultivada, o nível de fertilidade do solo, o nutriente e a biomassa total produzida (BENITES et al., 2010).

A palha deixada sobre a superfície do solo acumula quantidades apreciáveis de nutrientes, que ficam, temporariamente, indisponíveis às plantas, mas logo retornam ao solo durante o processo de decomposição. O tempo de duração deste ciclo depende, entre outros fatores, das características das plantas que deram origem a essa palha e ao seu manejo.

A decomposição da palha é regulada, ainda, pelas condições físicas e químicas do ambiente: pH, temperatura, salinidade, umidade, aeração e potencial redox; e pela natureza dos macro e microorganismos decompositores,

alguns são capazes de degradar substratos mais recalcitrantes, outros não. A degradabilidade do material depende, ainda, da qualidade de seus constituintes, especialmente os teores de celulose, hemicelulose, lignina, amido, lipídios, glicogênio, quitinas, proteínas e nutrientes minerais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os trabalhos na literatura deixam bastante claro que os nutrientes acumulados na palha deixada sobre a superfície do solo no sistema plantio direto, tanto das culturas principais, como a soja e o milho, ou das plantas de cobertura retornam ao solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes. Estes nutrientes podem ser aproveitados pela cultura plantada em sucessão e permitem em alguns casos a economia na aplicação de fertilizantes.

2.4 Manejo de adubação em sistemas de culturas

Os solos de fertilidade construída podem ser conceituados como aqueles que, no início do seu cultivo, apresentavam limitações ao crescimento e desenvolvimento das culturas e que em função do manejo adotado ao longo de um tempo, passam a apresentar condições físicas, biológicas e químicas adequadas para as culturas expressarem o seu potencial produtivo (ZACANARO; KAPPES, 2013).

Até a década de 1950, a produção da agricultura brasileira dependia quase que exclusivamente da fertilidade natural dos solos, que, na sua maioria, é baixa pela alta acidez e presença de teores tóxicos de alumínio para as principais culturas. Além destes problemas, destacam-se, ainda, as baixas disponibilidades de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), micronutrientes como o Zn e Cu, baixa CTC e alto poder de fixação de fósforo. Assim, as práticas da correção da acidez e adubação do solo contribuíram, significativamente, para a melhoria da fertilidade dos solos ao longo dos anos (BERNARDI; MACHADO; SILVA,

2002). O que se observa nos dias atuais é que nas áreas cultivadas as limitações químicas foram corrigidas ao longo do tempo e o novo desafio é a aplicação das boas práticas de manejo visando ao uso eficiente dos adubos. Nesta visão, a adubação abrange não apenas a estimativa da dose de fertilizante necessária para a espécie expressar seu potencial produtivo, mas tornam-se importantes à época e forma do fornecimento dos adubos, considerando os aspectos econômico e ambiental.

Outro conceito incorporado ao manejo da adubação das culturas é o de adubação dos sistemas de produção, no qual a recomendação de fertilizantes deixa de ser realizada isoladamente para uma cultura, passando-se a considerar o sistema no qual a cultura está inserida (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2010). A adubação de sistemas de produção consiste em adubar mais intensamente as culturas mais responsivas e utilizar a adubação residual para as culturas menos responsivas. Assim, culturas responsivas, como algodão, milho, feijão e tomate podem receber doses maiores de nutrientes, acima da sua exigência nutricional, e culturas menos responsivas, como a soja, podem ser cultivadas apenas com uma adubação de arranque, e com a adubação residual da cultura anterior (ALTMANN, 2012).

A diferença na capacidade de absorção e exportação dos nutrientes do solo tem sido estudada pelos pesquisadores. Sousa et al. (2010) estudaram a taxa de recuperação de fósforo do solo, pela soja e milho durante 15 cultivos em plantio direto. O solo utilizado no estudo foi um Latossolo muito argiloso que recebeu anualmente 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os autores do estudo afirmam que, no nível adequado de fósforo (propiciando de 80 a 90% do potencial produtivo, no caso da soja entre 3-4 t ha⁻¹ e, no caso do milho entre 9 e 12 t ha⁻¹), o milho exportou mais fósforo do que a quantidade adicionada ao ano (130%). Por outro lado, a soja exportou em torno de 44% no período dos oito últimos cultivos. Portanto, a cultura do milho utilizou o fósforo residual do cultivo da soja e a

rotação soja-milho foi muito favorável para o uso eficiente do fertilizante fosfatado no sistema.

Para a adubação potássica nos sistemas de rotação soja/milho ou soja/trigo, a literatura sugere o deslocamento de parte da adubação da soja para o cultivo do cereal. Pois, uma vez que os cereais são mais responsivos, o potássio residual pode ser parcial ou integralmente aproveitado pela soja no próximo ciclo. No entanto, é importante a adoção de práticas conservacionistas para se evitar perdas dos nutrientes no período da entressafra (BENITES et al., 2010).

Na região Sul do Brasil, já existem resultados iniciais de pesquisa para desenvolver um sistema de recomendação de fertilizantes adaptados aos sistemas de produção em plantio direto. Vieira et al. (2013) determinaram critérios para recomendação de calagem e dos teores críticos de P e K no solo para um sistema de culturas na região Centro-Sul do Paraná. Os autores dividiram as culturas em dois grupos: culturas de verão e culturas de inverno. Para as culturas de inverno (aveia branca, trigo e cevada), o nível crítico de K no solo foi $0,3 \text{ cm}_c \text{ dm}^{-3}$ (117 mg dm^{-3}) na camada de 0-20 cm de profundidade do solo, enquanto para as culturas de verão (soja e milho) o nível crítico K foi $0,15 \text{ cm}_c \text{ dm}^{-3}$ (59 mg dm^{-3}). O nível crítico de P para as culturas de inverno foi 8 mg dm^{-3} , enquanto para as culturas de verão foi de 6 mg dm^{-3} .

No estado do Rio Grande do Sul, Brunetto et al. (2005) redefiniram o nível crítico de potássio em um Argissolo Vermelho distrófico arênico (argila 110 g kg^{-1}) com predomínio de esmectita-ilita e caulinita-esmectita, e baixo teor de matéria orgânica (17 g kg^{-1}), sob sistema plantio direto em Santa Maria, RS. As culturas incluídas foram: soja, milho, aveia preta, aveia+ervilhaca. O nível crítico de K para o sistema foi 42 mg dm^{-3} . Os autores concluíram que, para aquele ambiente de produção, o valor do nível crítico de K (60 mg dm^{-3}) estabelecido pela recomendação oficial do Estado do Rio Grande do Sul permitiu produzir rendimento relativo acima de 95%.

Muitas vezes, os técnicos de campo não têm suporte das recomendações oficiais de fertilizantes para as atuais produtividades de grãos de soja e milho. No estado de Minas Gerais, a recomendação oficial de fertilizantes, 5ª aproximação, apresenta expectativas de produtividade de soja e milho de, no máximo, 3 e 8 t ha⁻¹, respectivamente (RIBEIRO et al., 1999). No entanto, em lavouras sob condições climáticas favoráveis e uso de tecnologia, as produtividades têm se aproximado de 4 t ha⁻¹ de soja e 12 t ha⁻¹ de milho. Nota-se, portanto, a necessidade de estudos nas condições de solo e clima regionais ou mesmo locais, que abordem as peculiaridades dos sistemas de produção na busca da melhor eficiência no uso de insumos para obtenção de altas produtividades.

Com base na literatura citada e na importância do cultivo de grãos para a economia do estado de Minas Gerais, neste trabalho objetiva-se: caracterizar a variação nos teores de P e K no solo em função das quantidades fornecidas na adubação em Latossolos argilosos de cerrado com fertilidade construída; identificar doses de N, P e K capazes de assegurar boas produtividades e maior rentabilidade em sistemas de produção soja-milho; e aferir os níveis críticos de P e K no solo para sistemas com alto potencial produtivo.

REFERÊNCIAS

ALTMANN, N. Adubação de Sistemas Integrados de produção em plantio direto: resultados práticos no cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 140, p. 1-8, dez. 2012. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/1BD4F8B7F3BD7A9E83257ADC005F0DFF/\\$FILE/IA140-Page1-8.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/1BD4F8B7F3BD7A9E83257ADC005F0DFF/$FILE/IA140-Page1-8.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2014.

ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura do solo para o sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

ALVIM, M. I. S. A.; OLIVEIRA JUNIOR, L. B. Análise da competitividade da produção de Soja no sistema de plantio direto no Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v.43, n. 3, p. 505-528, 2005.

ANDA, Associação Nacional para Difusão dos Adubos. **Investimentos no Brasil**. 2011. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/multimidia/investimentos.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. 2013a. Disponível em: <http://www.anda.org.br/estatistica//Principais_Indicadores_2013.pdf>. Acesso em 20 de agosto de 2014.

ANDA, Associação Nacional para Difusão dos Adubos. **Setor de fertilizantes: anuário estatístico 2013**. São Paulo: ANDA, 2013b. 173 p.

BENITES, V. M. et al. Potássio, cálcio e magnésio. In. PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba, SP: IPNI, 2010. p. 133-204.

BERNARDI, A.C.C. et al. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. A.; SILVA, C. A. Fertilidade do Solo e Demanda por Nutrientes no Brasil. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2002. p. 61-67.

BORKERT, C.M. et al. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo álico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 11, p. 1119-1129, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023**. Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília: Mapa/ACS, 2013. 96 p. Disponível em: <<http://bibspi.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/187/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 ago. 2014.

BRASIL. **Balança comercial 2014**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/balanca-comercial>>. Acesso em: 22 ago. 2014.

BRESSAN, S.B. et al. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n. 4, p. 371-378, 2013.

BROCH, D. L. et al. Influência no Rendimento de Plantas de Soja pela Aplicação de Fósforo, Calcário e Gesso em um Latossolo Sob Plantio Direto. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v.10, n. 2, p. 211-220, 2008.

BRUNETTO, G. et al. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, n. 4, p. 569-571, 2005.

CALONEGO, J. C. et al. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-781, 2012.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2013/14. **Companhia Nacional de Abastecimento**, Brasília, v. 1, n. 10, p. 1-85, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_07_09_09_36_57_10_levantamento_de_graos_julho_2014.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2014.

DEPARIS, G. A.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 517-525, 2007.

DERPSCH, R. et al. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Beijing, v.3, n. 1, p. 1-25, 2010.

EUROPEAN COMMISSION. Agricultural trade in 2013: EU gains in commodity exports. **Agriculture and Rural Development**. Disponível em: <http://ec.europa.eu/agriculture/trade-analysis/map/2014-1_en.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2014.

FEBRAPDP. Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Evolução do plantio direto no Brasil**. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2012.

FONSECA, D.S.; SILVA, T.H.C. Fosfato. In. LIMA, T.M.; NEVES, C.A.R. (Ed.). **Sumário Mineral**. Brasília, DF: DNPM, 2013. p. 76-77.

FRANDOLOSO, J. F. et al. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 5, p. 686-694, 2010.

GONÇALVES, S. L. et al. **Decomposição de resíduos de milho e soja em função do tempo e do manejo do solo**. Londrina: EMBRAPA, 2010. 19 p.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

LANA, R. M. Q. et al. Doses de multifosfato magnésiano aplicados a lanço em pré-semeadura, sob sistema plantio direto: cultura da soja. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.31, n. 6, p. 1654-1660, 2007.

MEDRADO, R.D. et al. Decomposição de resíduos culturais e liberação de nitrogênio para a cultura do milho. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.12, n.2, p. 97-107, 2011.

MENDES, M. C. et al. Dose de nitrogênio associado a enxofre elementar em cobertura na cultura do milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 96-106, 2014.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.O. et al. **Soja**. In. PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.). Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: culturas. Piracicaba, SP: IPNI, 2010. p. 1-38.

OLIVEIRA, L. A. M. Potássio. In. LIMA, T. M.; NEVES, C. A. R. (Ed.). **Sumário Mineral 2013**. Brasília, DF: DNPM, 2013. p. 101-102.

PACHECHO, L. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PADOVAN, M. P. et al. Decomposição da palhada da soja, cultivada sob manejo orgânico, para fins de adubação verde. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, 2006.

PAVINATTO, P. S. et al. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008.

PEREIRA, M. F. S. et al. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v. 8, n. 1, p. 21- 32, 2013.

QUEIROZ, A. M. et al. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 3, p. 257-266, 2011.

RESENDE, A. V. **O sistema plantio direto proporciona maior eficiência no uso de fertilizantes**. Sete Lagoas, MG: Embrapa milho e sorgo, 2011. 23 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 359 p.

RODRIGUES, M. A. C. et al. Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 127-133, 2014.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O. et al. (Eds.). **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS, 1999. p. 267-319.

SAMANIEGO, R.; FERREIRA, A. O.; AMADO, T. J. C. Evolução temporal do fósforo e potássio no solo sob sistema plantio direto. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 5, p. 47- 53, 2011.

SILVA, F. C.; SILVA, M. M.; LIBARDI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agrônômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3513-3528, 2013.

SILVA, T.; LODI, A. L.; ORLOVICIN, N. **Commodity Insight 2013**.

Disponível em:

<[http://www.intlfcstone.com.br/content/upload/arquivos/Consumo%20de%20Fertilizantes%20no%20Brasil\(1\).pdf](http://www.intlfcstone.com.br/content/upload/arquivos/Consumo%20de%20Fertilizantes%20no%20Brasil(1).pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2014.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: experiências no cerrado. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 126, p. 1-7, jun. 2009. Disponível em: < [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8625EDF39182EF6083257A9000139870/\\$FILE/Page1-7-126.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8625EDF39182EF6083257A9000139870/$FILE/Page1-7-126.pdf)>. Acesso em: 25 jun. 2014.

SOUSA, D. M. G. et al. Fósforo. In. PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba, SP: IPNI, 2010.p. 133-204.

STENVENSON, F.J. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur and micronutrients**. New York: John W, 1986. 380p.

Valderrama, M. V. et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VIEIRA, R. C. B. et al. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.37, n. 1, p.188-198, 2013.

ZACANARO, L.; KAPPES, C. **Manejo da adubação em solos com fertilidade construída**. 2013. Disponível em:

<http://cbcs2013.com.br/palestras/S15a_Leandro%20Zancanaro.pdf>. Acesso em: 15 set. 2014.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTIGO 1 Adubação, produtividade e rentabilidade de um sistema de
produção soja/milho em Latossolo de fertilidade construída**

Julian Junio de Jesús Lacerda*

**Artigo formatado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003),
conforme instrução do Manual de Normalização da UFLA.**

* Doutorando em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras. Email:
julianlacerda@gmail.com.

RESUMO

Considerando a falta de critérios oficiais para adubação de altas produtividades em solos de fertilidade construída, muitas adubações têm sido realizadas sem critérios científicos. Os objetivos para a realização deste trabalho foram caracterizar a variação nos teores de P e K no solo, durante três anos em função das quantidades fornecidas na adubação e identificar doses de N, P e K capazes de assegurar boas produtividades e maior rentabilidade em um sistema de produção soja e milho num Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso no cerrado. Foi conduzido um experimento, durante três safras, variando as doses de fertilizantes NPK, normalmente, utilizadas em uma fazenda de alto investimento tecnológico no Noroeste de Minas Gerais. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e três repetições. Após a colheita de três safras de grãos sem adubação, observou-se forte tamponamento dos teores iniciais de P disponível (Mehlich-1) naquele solo de fertilidade construída. A reserva de nutriente, previamente, acumulada no solo permite dispensar a adubação da soja por duas safras, sem comprometimento da produtividade. O máximo retorno econômico em virtude da aplicação de fertilizantes na cultura do milho foi obtido com 312 kg ha⁻¹ do formulado 10-32-10 e 263 kg ha⁻¹ de ureia em cobertura. Estas doses representam, respectivamente, redução de 13% e 25% nas quantidades de fertilizantes, normalmente, aplicadas em semeadura e cobertura pela fazenda. Nas parcelas sem adubação por três anos consecutivos, o Latossolo de fertilidade construída supriu nutrientes quantidades de N, P e K suficientes para a produção acumulada de 16,6 t ha⁻¹ de grãos em duas safras de soja e uma de milho, correspondente a 84% da maior produção alcançada com adubação. Portanto, o monitoramento da fertilidade do solo e a aferição das respostas das culturas possibilitam ajustes no manejo da adubação, com uso mais eficiente de fertilizantes em lavouras de alto investimento tecnológico.

Palavras-chave: Adubação de sistema. Plantio direto. Economia da adubação. Produção de grãos. Uso eficiente de fertilizantes.

1 INTRODUÇÃO

Os Latossolos são os solos mais comuns na região do cerrado, possuem excelentes condições físicas, mas apresentam graves limitações quanto à fertilidade natural (SOUZA; LOBATO, 2004). No entanto, nas condições atuais é comum encontrar talhões de produção comercial de grãos em plantio direto no cerrado com elevados teores de fósforo (P) e potássio (K), por causa do residual das adubações dos cultivos ao longo dos anos (D'ANDREA et al., 2002; ROSA; OLSZEWSKI; MENDONÇA; 2003; CARNEIRO et al., 2009; MATIAS et al., 2009; LOURENTE et al., 2011; WILDA, 2014).

No cerrado do Mato Grosso do Sul, Lourente et al. (2011) encontraram teor de P igual a 11 mg dm^{-3} , na profundidade de 0-10 cm em Latossolo Vermelho distrófico típico, com 700 g kg^{-1} de argila. No Piauí, Matias et al. (2009) encontraram teores de P iguais a 57, 83 e 35 mg dm^{-3} nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, respectivamente, em Latossolo Amarelo distrófico de textura média, sob plantio direto, enquanto o teor no cerrado nativo nas mesmas profundidades era de $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$. Ao avaliar a fertilidade do solo por amostragens de 0 a 20 cm de profundidade com grades georreferenciadas, em dois talhões de Latossolos argilosos de fazendas, na região Noroeste de Minas Gerais, Wilda (2014) encontrou teores médios de P e K variando, respectivamente, de 6 a 15 e 164 a 212 mg dm^{-3} e valores máximos variando de 12 a 39 e 199 a 280 mg dm^{-3} , conforme o ano e talhão avaliados.

O problema constatado é que, apesar do nível de fertilidade do solo em muitas lavouras ser interpretado como alto, os agricultores continuam adubando com quantidades fixas de N, P e K, por temerem a redução das produtividades. Conseqüentemente, esta prática tem resultado em adubações desnecessárias ou superdimensionadas, com baixa eficiência de uso dos fertilizantes (BENITES; POLIDORO; RESENDE, 2010; RESENDE, 2011) e com possibilidade de contaminação ambiental.

No aspecto econômico do cultivo de grãos, os custos são todos aqueles gastos relacionados direta ou indiretamente com a cultura, tais como sementes, corretivos, fertilizantes, defensivos, combustíveis, mão de obra, etc. No entanto, a adubação é o fator que mais afeta o custo de produção, representando em torno de 28% do custo operacional total de produção de milho (R\$ 509,24 em R\$1796,44) e 34% para a soja transgênica (R\$ 752,98 em 2173,36) para alta produtividade na região sudeste do Brasil, na safra 2013/14 (IMEA, 2013 a, b). O conhecimento da contabilidade de custos da adubação, associado ao aspecto agrônômico, fertilidade do solo versus produtividade, pode auxiliar o técnico sobre a melhor quantidade de fertilizantes a ser aplicada. Afinal, a obtenção de lucros é o principal motivo na tomada de decisão empresarial e a explicação do crescimento das unidades produtivas de grãos no cerrado brasileiro.

Esse contexto respalda a hipótese de que lavouras conduzidas em solos argilosos com elevada fertilidade, em virtude das adubações sucessivas em plantio direto, na região do cerrado, podem manter os mesmos patamares de produtividade utilizando-se menores quantidades

de fertilizantes. Conseqüentemente poderá haver redução dos custos de produção e aumento da rentabilidade.

Assim, objetivou-se neste trabalho: a) caracterizar a variação nos teores de P e K no solo ao longo de três safras, em função das quantidades fornecidas; b) identificar doses de adubação NPK capazes de assegurar boas produtividades e maior rentabilidade, num sistema de produção soja/milho em Latossolo argiloso de fertilidade construída em uma fazenda do Noroeste de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado entre os anos 2010 e 2013, na Fazenda Decisão, município de Unaí, MG, situada a 16° 24' 42'' de latitude sul e 47° 18' 39'' de longitude oeste, a uma altitude média de 992 m. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, a região de Unaí possui clima do tipo – Aw (clima de savanas), megatérmico, em que todos os meses do ano apresentam temperatura média superior a 18 °C, o inverno é seco e as chuvas máximas ocorrem no verão (SÁ JÚNIOR et al., 2012). Os dados de precipitação pluviométrica nos anos agrícolas 2010/11, 2011/12 e 2012/13 em relação à média histórica estão apresentados na figura 1 (INMET, 2014).

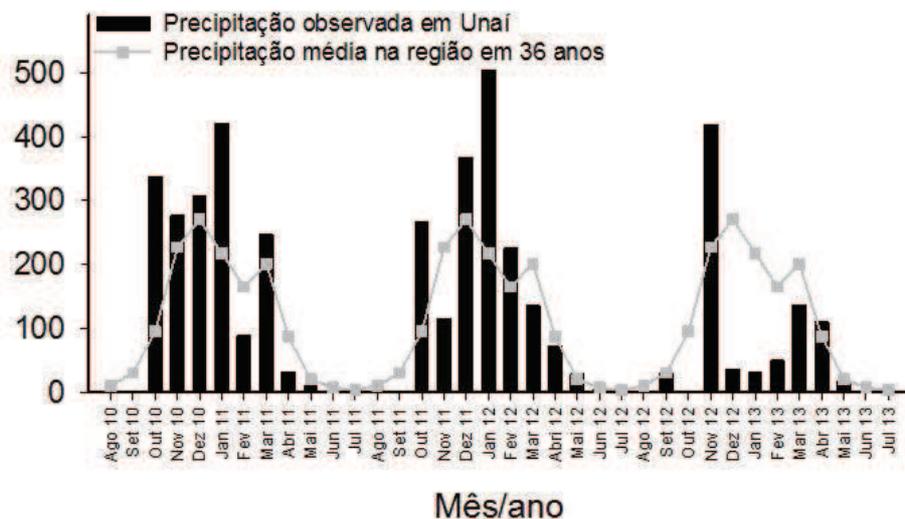


Figura 1 Precipitação pluviométrica mensal observada na fazenda entre agosto 2010 a julho de 2013 e média histórica de 36 anos (1978-2014)

A área experimental foi estabelecida num talhão de produção comercial cultivado por 15 anos em sistema de semeadura direta. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico argiloso (SANTOS et al., 2013), com 470 g kg^{-1} de argila e caracterizado quanto aos atributos químicos, antes da implantação do experimento, conforme metodologias descritas em Silva (2009). O valor do pH em água foi de 6,3; os teores de P e K (Mehlich-1) foram 12 e 145 mg dm^{-3} , respectivamente; e teores trocáveis de Ca, Mg, Al, H+Al e CTC a pH 7,0 foram iguais a 5,0; 1,1; 0,0; 2,6 e $9,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente.

Durante o estudo foram realizados três cultivos sucessivos em condições de sequeiro na sequência soja/milho/soja. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas e três repetições. Os tratamentos foram dispostos num arranjo fatorial 4 x 4, combinando quatro doses de fertilizantes NPK na semeadura (parcelas) e quatro doses de K para a soja ou N para o milho, na adubação de cobertura (subparcelas). As parcelas corresponderam a oito linhas com 40 m de comprimento, espaçadas 0,5 m entre si (160 m^2) e as subparcelas foram compostas pela divisão das parcelas em quatro unidades experimentais (oito linhas com 10 m de comprimento, 40 m^2).

A cultivar de soja, utilizada na primeira safra (2010/11), foi a RA 518 RR, precoce, de hábito indeterminado, a qual foi semeada em 23/11/2010, com 380.000 sementes ha^{-1} . Na segunda safra (2011/12), o milho híbrido simples DKB 175 PRO foi semeado com 68.000 sementes ha^{-1} , em 27/10/2011. Na terceira safra (2012/13), foi semeada a soja Riber

7211 RR, precoce, de hábito indeterminado, com 280.000 sementes ha⁻¹, em 13/12/2012.

Para a soja cultivada em 2010/11, os tratamentos consistiram na aplicação de quatro doses do formulado NPK 10-32-10 na semeadura das parcelas (0, 143, 303 e 432 kg ha⁻¹) e quatro doses de cloreto de potássio (KCl) em cobertura nas subparcelas (0, 25, 50 e 75 kg ha⁻¹), no estádio V3. Para o cultivo do milho (2011/12), foram fornecidas quatro doses do formulado NPK 10-32-10, na semeadura das parcelas (0, 184, 359 e 536 kg ha⁻¹) e quatro doses de ureia (45 % de N) com inibidor de urease NBPT (N-n-butil tiofosfórico triamida) em cobertura (0, 175, 350 e 525 kg ha⁻¹) nas subparcelas, no estádio V4. Para a soja da safra 2012/13, os tratamentos consistiram na aplicação de quatro doses de monoamônio fosfato (MAP 54% P₂O₅ e 10% N) na semeadura das parcelas (0, 150, 221 e 280 kg ha⁻¹) e quatro doses de KCl (60 % de K₂O) em cobertura, nas subparcelas (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹), no estádio V1. A quantidade total de N, P₂O₅ e K₂O, fornecida em cada safra, está apresentada na Tabela 1. As adubações de semeadura foram realizadas no sulco via semeadora e as aplicações em cobertura foram feitas manualmente como filete de adubo nas entrelinhas. As sementes de soja, em ambos os cultivos (2010/11 e 2012/13), não foram inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, conforme procedimento atual da fazenda, pois se considerou que, em razão da área experimental ter sido cultivada com soja inoculada por vários anos, a população de *Bradyrhizobium* já está estabelecida.

O tratamento referência consistiu naquele utilizado pelo agricultor, correspondente à terceira dose dos tratamentos aplicados no estudo, tanto

nas adubações de semeadura quanto nas de cobertura (tratamento 11 na Tabela 1). Portanto, o intervalo de doses das adubações incluiu quantidades de fertilizantes abaixo, iguais e acima daquelas empregadas pelo agricultor.

Tabela 1 Quantidades de nutrientes (N, P₂O₅ e K₂O) aplicadas na adubação de semeadura combinada com a adubação de cobertura, em cada safra/ano durante a condução do experimento

Tratamentos	Nutrientes aplicados (kg ha ⁻¹)								
	Soja 2010/11			Milho 2011/12			Soja 2012/13		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	15	78	0	0	0	0	45
3	0	0	30	156	0	0	0	0	90
4	0	0	45	234	0	0	0	0	135
5	14	43	14	18	59	18	15	81	0
6	14	43	29	96	59	18	15	81	45
7	14	43	44	174	59	18	15	81	90
8	14	43	59	252	59	18	15	81	135
9	30	91	30	36	115	36	22	119	0
10	30	91	45	114	115	36	22	119	45
11	30	91	60	192	115	36	22	119	90
12	30	91	75	270	115	36	22	119	135
13	43	130	43	54	172	54	28	151	0
14	43	130	58	132	172	54	28	151	45
15	43	130	73	210	172	54	28	151	90
16	43	130	88	288	172	54	28	151	135

No estádio R2 da soja (safra 2010/11 e 2012/13), foram realizadas amostragens de solo e de folhas. Nas amostragens de solo, coletaram-se nove amostras simples na profundidade de 0-20 cm, sendo três nas linhas das plantas e seis nas entrelinhas, na área útil central de amostragem das subparcelas (6 m², três linhas de 4 m de comprimento). Nas amostragens foliares foram amostradas 20 plantas por subparcela,

coletando o 3º trifólio com pecíolo com base no ápice das plantas (BOARETTO et al., 2009). As amostragens de solo e folha para o cultivo do milho foram realizadas por ocasião do florescimento feminino. A coleta das amostras de solo seguiu o mesmo critério da amostragem feita nos cultivos da soja e a amostragem foliar consistiu da coleta de folhas inteiras com nervura, localizadas abaixo e opostamente à espiga, em 15 plantas da área central de cada subparcela. Para a análise química dos teores P, K e micronutrientes disponíveis no solo, foi utilizado o extrator Mehlich 1 e, para a análise de Al, Ca e Mg trocáveis, a extração foi realizada com o extrator KCl 1M (SILVA, 2009). A análise dos teores de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn nas folhas foi realizada por meio da digestão nítrico-perclórica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As determinações das concentrações dos elementos nos extratos foram realizadas por espectrometria de emissão em plasma indutivamente acoplada – ICP-EOS. As curvas de calibração foram feitas utilizando soluções de referência Accustandard. Os teores de N nas folhas foram extraídos por digestão sulfúrica e a determinação analítica foi feita pelo método semimicro-Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As colheitas foram realizadas, manualmente, na área útil de amostragem. Em seguida, foram determinadas a umidade e a massa de grãos, sendo a produtividade corrigida para 13% de umidade.

Os dados de produtividade foram submetidos à análise de variância por meio do sistema computacional Sisvar (FERREIRA, 2011) e, quando encontradas diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste F a 0,05 de probabilidade, foram geradas equações de regressão, para estimar a produtividade, em função das doses dos fertilizantes

aplicadas. Foi estabelecido um modelo de regressão múltipla, para a resposta em produtividade de milho em função das quantidades do formulado NPK, aplicado da adubação de semeadura e da ureia aplicada em cobertura. Da mesma forma, estabeleceu-se um modelo de regressão múltipla para a produtividade acumulada de soja e milho em função das quantidades totais de N, P₂O₅ e K₂O aplicadas nas três safras (duas safras de soja e uma de milho). As equações de regressão múltipla foram elaboradas utilizando a função `lm`, do pacote `Stats`, do programa R (R CORE TEAM, 2014).

A avaliação econômica dos resultados foi realizada com base nos indicadores de rentabilidade: produtividade, custo operacional da adubação, receita bruta, margem bruta, ponto de equilíbrio, receita líquida e índice de lucratividade. O custo operacional total da adubação foi obtido pela soma dos custos de aquisição dos fertilizantes, operação mecanizada e encargos financeiros para o capital de custeio. Os preços dos fertilizantes tomados como referência foram: 1.110,00; 1.830,46; 1.774,20; e 1.602,00 reais por tonelada (R\$ t⁻¹) para o formulado NPK 10-32-10, a ureia, o KCl e o MAP, respectivamente, cotados no mês de abril (IEA, 2013). O custo para a aplicação de fertilizantes foi de R\$ 35,38 ha⁻¹ (IMEA, 2013a) e a taxa de juros do custeio agrícola de 5,5 % ao ano (BANCO DO BRASIL, 2013). Os valores de venda dos grãos foram obtidos nas cotações de 10 de abril de 2013, sendo R\$ 27,01 a saca de 60 kg de milho e R\$ 55,02 a saca de 60 kg de soja (IEA, 2013a, b). Como referência monetária, o valor do dólar americano para compra em 10 de abril de 2013 era de R\$ 1,976. Os custos operacionais da adubação (R\$ ha⁻¹) foram convertidos em quantidade de grãos (kg ha⁻¹) necessária

para pagar o insumo ou operação (equação 1 e 2). A produtividade líquida foi calculada pela subtração algébrica da equação de produtividade (produtividade bruta) em função das doses de fertilizantes aplicadas menos a quantidade de grãos necessária para pagar os custos (kg ha^{-1}) conforme a (equação 3), adaptada de Gomes e Garcia (1990).

$$= \frac{\frac{\text{R\$}}{\text{kg fertilizante}}}{\frac{\text{R\$}}{\text{kg grãos}}} = \frac{\text{R\$}}{\text{kg fertilizante}} * \frac{\text{kg grãos}}{\text{R\$}} = \frac{\text{kg grãos}}{\text{kg fertilizante}} \quad [1]$$

$$B = \frac{\frac{\text{R\$}}{\text{ha (operação mecanizada)}}}{\frac{\text{R\$}}{\text{kg grãos}}} = \frac{\text{R\$}}{\text{ha}} * \frac{\text{kg grãos}}{\text{R\$}} = \frac{\text{kg grãos}}{\text{ha}} \quad [2]$$

$$\text{Produtividade Líquida} = y - \frac{m}{w} - \left[\left(\frac{fx_1 + cx_2}{w} \right) * (1 + J/100)^t \right] \quad [3]$$

Onde:

Produtividade líquida: (kg ha^{-1})

w: preço de venda do milho ($\text{R\$ kg}^{-1}$)

y: equação da produtividade em função da aplicação do adubo na semeadura (kg ha^{-1}): ax^2+bx+c

m: custo da aplicação dos fertilizantes ($\text{R\$ ha}^{-1}$)

f: preço de compra do fertilizante para a adubação de semeadura ($\text{R\$ kg}^{-1}$)

x_1 : dose de fertilizante aplicada na adubação de semeadura (kg ha⁻¹)

c : preço do fertilizante para a adubação de cobertura (R\$ kg⁻¹)

x_2 : dose de fertilizante aplicada na adubação de cobertura (kg ha⁻¹)

J : Taxa de Juros (%)

t : tempo (anos)

m/w = custo da aplicação dos adubos (kg ha⁻¹)

$(fx_1/w).(1+J/100)^t$ = custo do fertilizante aplicado na semeadura (kg ha⁻¹)

$(cx_2/w).(1+J/100)^t$ = custo do fertilizante aplicado na cobertura (kg ha⁻¹)

Após igualar a zero a primeira derivada da equação da produtividade bruta, determinou-se a dose que proporcionou a máxima produtividade física (MPF) e, ao igualar a zero a primeira derivada da equação da produtividade líquida (kg ha⁻¹), determinou-se a dose de máxima eficiência econômica (MEE).

Para analisar a viabilidade econômica apenas em virtude da resposta à aplicação de fertilizantes, a produtividade do tratamento controle (tratamento sem aplicação de fertilizantes na semeadura ou cobertura) foi subtraída da máxima produtividade líquida. Assim, a receita bruta na dose de máxima eficiência econômica foi obtida por meio do produto da diferença entre produtividade bruta na dose de máxima eficiência econômica (kg ha⁻¹) e a produtividade do tratamento controle, pelo valor de venda dos grãos (R\$ kg⁻¹) (equação 4).

$$Receita\ Bruta = (Produtividade\ na\ dose\ MEE - Produtividade_{controle}) \cdot w \quad [4]$$

Do mesmo modo, a máxima receita líquida (MRL) foi calculada pelo produto da diferença entre a máxima produtividade líquida e a produtividade do tratamento controle, pelo valor de venda dos grãos (R\$ kg⁻¹) (equação 5).

$$MRL = (Máxima\ produtividade\ líquida - Produtividade_{controle}) \cdot w \quad [5]$$

A margem bruta (%) foi calculada pela relação entre a máxima receita líquida (RS ha⁻¹) e o custo operacional total da adubação (COT) (R\$ ha⁻¹) conforme a equação 6.

$$Margem\ Bruta\ (\%) = \frac{Máxima\ Receita\ Líquida}{COT} * 100 \quad [6]$$

O ponto de equilíbrio (kg ha⁻¹) foi calculado pela soma da quantidade de grãos necessária para pagar o custo operacional total da adubação (R\$ ha⁻¹), este índice corresponde à quantidade de grãos em que a receita bruta se iguala ao custo operacional total da adubação (equação 7).

$$Ponto\ de\ equilíbrio = \frac{m}{w} + \left[\left(\frac{fx_1 + cx_2}{w} \right) * (1 + J/100)^t \right] \quad [7]$$

O índice de máxima lucratividade (IML) (%) foi calculado pela relação entre a máxima receita líquida (R\$ ha⁻¹) e a receita bruta na dose de máxima eficiência econômica (R\$ ha⁻¹) (equação 8).

$$IML (\%) = \frac{\text{Máxima Receita Líquida}}{\text{Receita Bruta na dose de MEE}} * 100 \quad [8]$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A condição inicial de fertilidade do solo em estudo pode ser interpretada como adequada à alta, para as condições da região do cerrado, de acordo com Sousa e Lobato (2004). Como os solos do cerrado apresentam naturalmente baixa disponibilidade de nutrientes e acidez elevada, reforça-se que este experimento foi estabelecido em solo que teve a fertilidade construída com as adubações sucessivas ao longo dos anos de cultivo.

Ao avaliar os teores disponíveis de P no primeiro e segundo ano do experimento, não se observou interação significativa ao nível 0,05 entre as fontes de variação analisadas (adubação de semeadura x adubação de cobertura) (Tabela 1A). Como não houve interação entre as fontes de variação, os dados correspondentes a cada nível da adubação de semeadura referem-se a valores de P e K na média dos quatro níveis da adubação de cobertura (n=12) e vice-versa.

Nos dois primeiros anos, não se observou diferença significativa nos teores de P em função de cada um dos fatores isoladamente. No entanto, no terceiro ano houve interação significativa entre as fontes de variação ao avaliar o P disponível no solo (Tabela 1A).

Ao se comparar os teores de P disponíveis no solo na terceira safra em relação aos teores disponíveis na primeira safra, observa-se um forte tamponamento de P, pois no tratamento sem a aplicação do nutriente, não houve redução significativa de sua disponibilidade no solo (Tabelas 2 e 3). Nota-se que mesmo após três cultivos sucessivos, o fator capacidade ou poder tampão de fósforo, definido pela razão entre a quantidade de P

no solo (Q) e o P em solução (I), foi capaz de manter um bom nível de P disponível. Em solos argilosos, e, de modo particular os mais intemperizados que receberam grandes quantidades de adubos fosfatados, a relação Q/I normalmente é alta, pois há grande quantidade de P adsorvida aos coloides. À medida que a concentração na solução diminui após a absorção pelas culturas, ocorre a liberação de P para a solução a fim de manter o equilíbrio (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). Por isso, muitas vezes, não são observados decréscimos na disponibilidade de P medida por meio de extratores empregados na análise de solo.

As alterações na disponibilidade de P no solo somente foram observadas no terceiro ano do experimento, o que, também, mostra o elevado tamponamento de P. A interação entre as fontes de variação ocorreu, principalmente, por causa do aumento da disponibilidade de P nas subparcelas que receberam o adubo potássico na adubação de cobertura; e ao comportamento linear crescente dos teores disponíveis de P dentro das parcelas que receberam a mesma dose do adubo fosfatado (221 kg ha^{-1}) (Tabela 3).

Para o K, o poder tampão deste solo é menor, observando-se variações de maior amplitude nos teores disponíveis ao longo dos cultivos, principalmente, em decorrência das adubações potássicas em cobertura nas safras de soja. Sendo intensa a extração de K pelas culturas da soja e, principalmente, do milho, verifica-se redução significativa do teor no solo em amostragens realizadas por ocasião do florescimento das lavouras (Tabela 2). Trata-se de uma depleção temporária na disponibilidade desse nutriente (COSTA et al., 2009), visto que grande proporção do que é absorvido acumula-se nas partes vegetativas das

plantas, sendo rapidamente devolvido ao solo após a colheita, considerando a manutenção dos restos culturais na lavoura. O íon K^+ encontra-se na planta, predominantemente, como cátion livre e pode ser facilmente deslocado das células, pois não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica (MARSCHNER, 2012), retornando ao solo pela lavagem e decomposição dos restos culturais.

Os teores médios de K no solo no tratamento sem adubação foram 64, 75 e 106 $mg\ dm^{-3}$ no primeiro, segundo e terceiro cultivos, respectivamente, (ver valores em função da adubação de cobertura na tabela 2). A variação de 64 para 106 $mg\ dm^{-3}$ pode ser em virtude da liberação de potássio das folhas da soja e milho durante o processo de decomposição da palha, com maior contribuição da palha do milho (colmo e folhas), onde se percebe uma contribuição de 30 $mg\ dm^{-3}$ no incremento da disponibilidade de K no solo. Considerando que apenas cerca de 20% do K acumulado na planta de milho são exportados com a colheita dos grãos (FANCELLI; TSUMANUMA, 2007), a ciclagem do elemento no sistema solo-planta pode explicar as variações observadas na análise do solo (Tabela 2).

Tabela 2 Disponibilidade de P e K no solo (mg dm^{-3}) (Mehlich-1) e teores foliares (g kg^{-1}) ao longo de três safras de grãos, em função do fornecimento de nutrientes nas adubações em Latossolo com fertilidade construída

Cultura/safra	Adubação de semeadura (kg ha^{-1})	Solo		Folha		Solo		Folha		
		P	K	P	K	P	K	P	K	
		mg dm^{-3}		g kg^{-1}		mg dm^{-3}		g kg^{-1}		
10-32-10										
0		19	84	4,1	16,8	0	20	64	4,2	17,7
143		28	82	4,3	17,7	25	20	76	4,2	17,5
303		19	87	4,2	17,5	50	23	82	4,1	17,0
432		20	72	4,1	17,8	75	22	102	4,2	17,5
Análise de regressão		Ns	Ns	Q**	Ns		Ns	L**	Ns	Ns
CV(%)		51	24	2	5		37	16	4	4
10-32-10										
Ureia										
0		12	65	2,4	17,3	0	16	75	2,6	18,6
184		15	60	2,7	17,7	175	19	65	2,9	17,6
359		24	70	3,1	19,2	350	24	65	2,9	19,3
536		23	66	3,3	19,6	525	15	57	3,0	18,3
Análise de regressão		Ns	L*	L**	L*		L*	L**	L*	Ns
CV(%)		58	8	10	6		44	13	11	11
MAP										
KCl										
0		#	135	2,9	25,8	0	#	106	3,3	26,1
150		#	128	3,2	26,1	75	#	136	3,2	25,5
221		#	140	3,4	25,5	150	#	143	3,2	26,6
280		#	149	3,5	26,8	225	#	167	3,3	26,1
Análise de regressão			Ns	L*	Ns			L**	Ns	Ns
CV(%)			23	12	5			16	7	10

L = comportamento linear; Q = comportamento quadrático; * = significativo a 0,05 de probabilidade; ** = significativo a 0,01 de probabilidade; Ns = diferença não significativa a 0,05 de probabilidade. # = interação significativa a 0,05 de probabilidade com dados apresentados na tabela 3.

Tabela 3 Teores de P (mg kg^{-1}) disponíveis (Mehlich-1) em função da adubação fosfatada na semeadura e potássica na cobertura, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico argiloso, na época do florescimento da soja cultivada na safra 2012/13, após os cultivos de soja (2010/11) e milho (2011/12)

Adubação de semeadura MAP (kg ha^{-1})	Adubação de cobertura KCL (kg ha^{-1})				Análise de regressão
	0	75	150	225	
	mg kg^{-1}				
0	19,6	16,0	13,8	20,7	Ns
150	31,4	23,2	17,2	18,8	Ns
221	16,9	28,2	47,5	53,4	L**
280	24,4	44,3	27,4	45,7	Ns
Análise de regressão	Ns	L**	L*	L*	
CV(%) semeadura		46			
CV (%) cobertura		38			

L = comportamento linear; * = significativo a 0,05 de probabilidade; ** = significativo a 0,01 de probabilidade; Ns = diferença não significativa a 0,05 de probabilidade.

3.1 Respostas da soja e do milho a níveis de investimento em adubação de manutenção

A produtividade de grãos de soja adubada não variou com as adubações de semeadura e cobertura, nas safras 2010/11 e 2012/13 (Tabela 4). Também, não houve interação entre as fontes de variação pré - estabelecidas (adubação de semeadura x adubação de cobertura). As produtividades médias de soja obtidas no experimento foram de 3.466 kg ha^{-1} em 2010/11 e 3.485 kg ha^{-1} em 2012/13. É importante considerar que o experimento foi conduzido, em condições de sequeiro, portanto o fator disponibilidade de água pode ter influência sobre as produtividades obtidas. Especialmente, na safra 2012/13, nota-se que a quantidade e distribuição das chuvas, no período de condução do experimento, foram abaixo das médias históricas para a região, isso, também, pode ter

contribuído para a falta de resposta à adubação e para as produtividades relativamente baixas da soja (Figura 1).

Verifica-se que não houve perda de produtividade da soja nos tratamentos que deixaram de receber adubação ou receberam quantidades menores do que as normalmente aplicadas na fazenda. Também, não houve aumento de produtividade para a adubação em quantidade, além daquela utilizada pelo agricultor. Brevilieri (2012), também, não encontrou respostas da soja ao aumento nas doses de fertilizantes fosfatados aplicados em Latossolo argiloso cultivado no sistema plantio direto por 16 anos, em Dourados – MS. Esse fato foi atribuído à boa fertilidade já existente na área, uma vez que os teores de P Mehlich-1 na camada de 0-10 cm do solo variaram entre 51 e 89 mg dm⁻³.

É importante destacar que os coeficientes de variação dos dados de produtividade ficaram abaixo de 8%, indicando adequado controle experimental. Logo, a falta de resposta aos diferentes níveis de adubação pode ser atribuída à existência de elevada reserva de nutrientes no solo e às características intrínsecas à cultura da soja, que normalmente é menos responsiva às alterações no manejo da fertilidade do solo em comparação ao milho (WENDLING et al., 2008).

Tabela 4 Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de soja e de milho ao longo de três safras, em função de adubações (NPK) na semeadura e adubações (N ou K) em cobertura, num Latossolo com fertilidade construída

Cultura/safra	Adubação de semeadura	Produtividade	Adubação de cobertura	Produtividade
	(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	
	NPK (10-32-10)		KCl (00-00-60)	
Soja 2010/11	0	3547	0	3499
	143	3514	25	3395
	303	3354	50	3486
	432	3449	75	3485
Análise de regressão		Ns		Ns
CV(%)		7		6
	NPK (10-32-10)		Ureia (45-00-00)	
Milho 2011/12	0	10258	0	11220
	184	12167	175	11847
	359	12229	350	12033
	536	12460	525	12015
Análise de regressão		Q		L
CV(%)		7		5
	MAP (10-54-00)		KCl (00-00-60)	
Soja 2012/13	0	3264	0	3478
	150	3627	75	3460
	221	3498	150	3493
	280	3553	225	3511
Análise de regressão		Ns		Ns
CV(%)		7		6

Como não houve interação entre as fontes de variação, os dados correspondentes a cada nível da adubação de semeadura referem-se à produtividade obtida na média dos quatro níveis da adubação de cobertura (n=12) e vice-versa. L = comportamento linear; Q = comportamento quadrático; * = significativo a 0,05 de probabilidade; ** = significativo a 0,01 de probabilidade; Ns = não significativo. Para o milho, Q: $Y=10.350+10,704^{**}(\text{NPK})-0,01297^{*}(\text{NPK})^2$, $R^2=0,94$; L: $Y=11.393+1,47^{**}(\text{ureia})$, $R^2=0,76$; Regressão múltipla: $Y=9.964+10,70^{**}(\text{NPK})+1,47^{**}(\text{ureia})-0,1297(\text{NPK})^2$, $R^2=0,89$.

Nas áreas recém-abertas no cerrado, o cultivo de grãos com a aplicação de nutrientes em quantidade maior do que a exportada com as

colheitas é necessária quando se pretende melhorar, gradativamente, a fertilidade dos solos (LOPES et al., 2004). No entanto, uma vez que os teores dos nutrientes no solo são interpretados como altos, não há motivos para se elevar ainda mais a disponibilidade, visto que não se espera resposta adicional em produtividade das culturas. Como os nutrientes aplicados e não absorvidos pelas plantas podem ficar sujeitos aos processos de perdas do sistema (ROS; AITA; GIACOMINI, 2005; MOREIRA et al., 2006; WERLE; GARCIA; ROSOLEM, 2008), a adubação de manutenção com quantidades que apenas reponham a exportação pelas colheitas constitui o manejo mais racional nessas circunstâncias.

Para o milho (safra 2011/12), que foi cultivado após a primeira safra de soja do experimento, houve diferença significativa da produtividade de grãos entre os tratamentos que receberam diferentes doses de fertilizantes na semeadura e em cobertura, mas não houve interação entre essas duas fontes de variação (Tabela 4). A obtenção de incremento em produtividade de milho e falta de resposta da soja confirma que o milho é mais responsivo à adubação. Essa constatação foi relatada, também, por Wendling et al. (2008), ao estudarem a adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai, em que a soja mostrou-se menos responsiva que o milho. Depreende-se, assim, que a sustentabilidade de sistemas, envolvendo rotação soja/milho, comuns na região do cerrado, depende da manutenção de níveis de fertilidade que atendam aos requerimentos nutricionais da Poaceae, a fim de evitar a perda de potencial produtivo do sistema como um todo.

Ao avaliar os fatores separadamente, pois a interação não foi significativa, a resposta do milho à adubação NPK de semeadura seguiu um modelo quadrático, enquanto a resposta à ureia em cobertura foi linear (Tabela 4). No entanto, nota-se que a resposta à aplicação de ureia apresentou pouca intensidade, o que, provavelmente, ocorreu em razão do bom teor de matéria orgânica (MO) no solo na safra 2011/12 (3,2% de MO) e, principalmente, pelo fato do cultivo do milho ter sido realizado após o cultivo da soja. O cultivo da soja pode resultar em balanço positivo de N ao sistema, sendo o saldo de N aproveitado pela cultura subsequente de milho. Lange, Cabezas e Trivelin (2008) não observaram resposta do milho em produtividade, em virtude da adubação nitrogenada suplementar à adubação de semeadura, quando o milho foi cultivado em sucessão a dois anos de cultivo de soja, em sistema semeadura direta.

Essa resposta discreta ao investimento em adubação mostra que o solo se encontrava com grande reserva de nutrientes e há possibilidade de diminuir as quantidades de fertilizantes, a fim de se evitar adubações desnecessárias ou antieconômicas. Nessas condições, a adubação contínua com quantidades fixas de N, P e K certamente não constitui a melhor opção para o manejo do sistema de produção.

3.2 Produção acumulada de três safras

Ao relacionar as quantidades totais de N, P₂O₅ e K₂O fornecidas durante as três safras (soja/milho/soja) com a produção acumulada de soja e milho, observa-se que houve incremento de produtividade com o aumento da quantidade de nutrientes adicionada na adubação.

Considerando a equação do modelo de regressão múltipla apresentado na tabela 5, sem nenhum aporte de nutrientes o rendimento total de grãos das três safras foi de $16.662 \text{ kg ha}^{-1}$. Quando se adicionaram 359, 453 e 277 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente, obteve-se o rendimento máximo igual a $19.754 \text{ kg ha}^{-1}$. A abordagem multivariada é pertinente neste estudo, pois os tratamentos não permitem isolar o efeito de cada nutriente, sendo assim, as produtividades obtidas refletem o efeito aditivo dos nutrientes (N, P_2O_5 e K_2O) aplicados.

Uma análise não criteriosa do modelo de regressão múltipla poderia conduzir a uma interpretação equivocada quanto à contribuição de cada nutriente para o incremento em produtividade. Pelo modelo de regressão linear múltipla, observa-se que o nitrogênio é o elemento que aparece com o maior valor do coeficiente angular, enquanto o coeficiente do potássio é negativo (Tabela 5). No entanto, é importante ressaltar que há alta correlação entre as quantidades desses nutrientes fornecidas no experimento. O coeficiente de correlação de Pearson entre as doses de nitrogênio e potássio é igual 0,99, pois a relação entre os dois nutrientes (N: K_2O) é de, aproximadamente, 4:3 em todos os tratamentos. Assim, na construção do modelo de regressão múltipla, os valores dos coeficientes balanceiam a relação existente entre os elementos. Portanto, o coeficiente negativo para o K no modelo não significa que a adubação com este nutriente seja dispensável ou que interfira negativamente na produtividade do sistema de culturas avaliado. Por outro lado, o maior valor do coeficiente de determinação (R^2) do modelo de regressão múltipla em comparação com os coeficientes de determinação dos modelos de regressão simples demonstra claramente que não é possível

atribuir o incremento da produtividade acumulada a um nutriente isoladamente. Por meio da avaliação de cada cultivo separadamente e dos valores acumulados, percebe-se que as diferentes proporções de N, P₂O₅ e K₂O proporcionaram um efeito aditivo, mas não interativo para o incremento da produtividade do sistema.

Tabela 5 Produtividade acumulada de soja e milho (kg ha⁻¹) durante os três cultivos em função do somatório de nutrientes fornecido nas adubações em cada tratamento (Trat), safras 2010/11, 2011/12 e 2012/13

Trat	Somatório dos nutrientes aplicados nos 3 cultivos			Produtividade de grãos				Valores estimados pela regressão múltipla
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Soja 2010/11	Milho 2011/12	Soja 2012/13	Total	
				(kg ha ⁻¹)				
1	0	0	0	3762	9729	3334	16825	16662
2	78	0	60	3372	10238	3176	16786	16937
3	156	0	120	3568	10778	3241	17587	17212
4	234	0	180	3487	10287	3304	17078	17487
5	47	183	32	3437	11638	3595	18670	18774
6	125	183	92	3609	12348	3661	19618	19049
7	203	183	152	3486	12215	3648	19349	19324
8	281	183	212	3524	12467	3603	19594	19599
9	88	325	66	3343	11615	3470	18428	18903
10	166	325	126	3172	12416	3324	18912	19178
11	244	325	186	3345	12175	3490	19010	19453
12	322	325	246	3557	12711	3708	19976	19728
13	125	453	97	3454	11897	3512	18863	18928
14	203	453	157	3425	12385	3678	19488	19203
15	281	453	217	3546	12963	3592	20101	19479
16	359	453	277	3373	12594	3430	19397	19754
Modelo de regressão linear múltipla								
Produtividade acumulada=16661+242,9**N+10,37**(P ₂ O ₅)-322,0**(K ₂ O) R ² =0,90								
Modelos de regressão simples								
Produtividade acumulada=17536+6,51*(N) R ² =0,37								
Produtividade acumulada= 17238+6,80**(P ₂ O ₅) R ² =0,62								
Produtividade acumulada= 17561+8,41*(K ₂ O) R ² =0,36								

* = significativo a 0,05 de probabilidade; ** = significativo a 0,01 de probabilidade.

Para a adoção da prática da adubação de sistemas é necessário considerar os teores de nutrientes pré-existentes no solo, os níveis de adubação da cultura anterior, a demanda da próxima cultura, além de eventuais perdas, principalmente, no caso de nutrientes lixiviáveis ou voláteis como o K e o N (ALTMANN, 2012). Para aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes em solos de fertilidade construída, sugere-se reduzir a quantidade a ser aplicada na cultura menos responsiva, no caso do presente trabalho, a soja, e intensificar a adubação da cultura mais responsiva, no caso, o milho. Outros autores, também, têm relatado o comportamento diferenciado entre as duas culturas e sugerido manejo semelhante (BENITES; POLIDORO; RESENDE, 2010).

3.3 Análise de rentabilidade

Para o milho, a máxima produtividade física (MPF) foi 12558 kg ha⁻¹ com base na aplicação 412 kg ha⁻¹ do formulado NPK 10-32-10 na adubação de semeadura. No entanto, a dose de máxima eficiência econômica (MEE) da adubação de semeadura do milho foi estimada em 99% da máxima produtividade física (12428 kg ha⁻¹) com a aplicação de 312 kg ha⁻¹ do formulado NPK 10-32-10. Esse resultado demonstra que, para se aumentar a produtividade em apenas 1% (130 kg de grãos de milho) acima da dose de MEE, seria necessária a aplicação de 100 kg ha⁻¹ do formulado da semeadura (Figura 2A), o que é inviável economicamente.

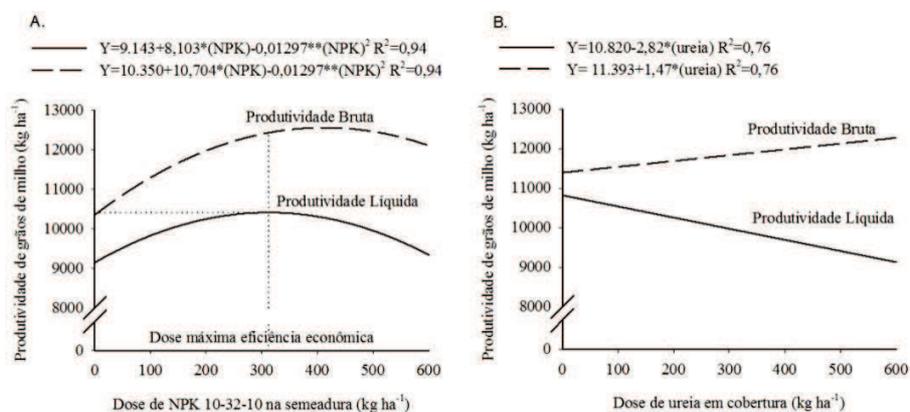


Figura 2 Análise econômica da aplicação de fertilizantes no cultivo do milho em Latossolo com fertilidade construída, safra 2011/12. A: Considerou-se a aplicação da dose média de 263 kg ha⁻¹ de ureia em cobertura. B: Considerou-se a aplicação da dose média de 270 kg ha⁻¹ do formulado NPK 10-32-10 na semeadura

Tabela 6 Indicadores de rentabilidade da aplicação de fertilizantes no cultivo de milho e do resultado cumulativo de três safras (soja/milho/soja) em Latossolo de fertilidade construída, considerando o manejo para máxima eficiência econômica e o manejo da fazenda

Indicadores	Máxima eficiência econômica		Manejo da fazenda	
	Milho	Três safras	Milho	Três safras
Produtividade bruta (kg ha ⁻¹)	12428	19619	12521	19010
Custo operacional (R\$ ha ⁻¹)	909	1268	1132	2305
Receita Bruta (R\$ ha ⁻¹)	1215	1339	1257	862
Margem Bruta (%)	33,7	5,6	11,0	-62,6
Ponto de Equilíbrio (kg ha ⁻¹)	2019	2645	2515	5844
Receita Líquida (R\$ ha ⁻¹)	306	71	125	-1443
Índice de Lucratividade (%)	25,2	5,3	9,9	-167,5

¹ Para o milho, consideraram-se as doses para máxima eficiência econômica: 312 kg ha⁻¹ do formulado NPK 10-32-10 na semeadura e 263 kg ha⁻¹ de ureia em cobertura. O tratamento sem adubação produziu 9.729 kg ha⁻¹ de grãos de milho. Na análise do resultado cumulativo, o tratamento que gerou maior receita líquida recebeu ao longo das três safras a aplicação de 327 kg do formulado NPK 10-32-10, 175 kg de ureia, 100 kg de KCl e 150 kg de MAP. O tratamento sem adubação produziu um total de 16.825 kg ha⁻¹ de grãos.

Ao comparar com a quantidade de fertilizante utilizada na adubação de semeadura do milho na fazenda (359 kg ha^{-1}) com a dose de máxima eficiência econômica (312 kg ha^{-1}), nota-se a possibilidade de redução de 47 kg ha^{-1} do formulado (13%) na adubação de semeadura. Essa informação pode resultar em alterações no manejo dos fertilizantes e, conseqüentemente, em maior rentabilidade para o agricultor. A receita líquida decorrente da aplicação da dose de máxima eficiência econômica foi, aproximadamente, 2,4 vezes maior que a obtida com a adubação padrão da fazenda (Tabela 6).

É importante a observação sobre o aspecto estatístico da análise econômica apresentada no presente trabalho, uma vez que em virtude da não identificação de interação entre a adubação de semeadura e a adubação de cobertura na produtividade do milho, a análise de cada um dos fatores foi realizada isoladamente. Isso implica considerar a dose média da adubação de cobertura (263 kg ha^{-1} de ureia) na análise econômica da adubação de semeadura e do mesmo modo considerar a dose média da adubação de semeadura (270 kg ha^{-1} do formulado NPK 10-32-10) na avaliação econômica da adubação de cobertura. Logicamente, este aspecto foi considerado no cálculo dos custos e convertido em produtividade líquida (Figura 1). A produtividade líquida nas figuras 2A e 2B corresponde à quantidade de grãos que representa a receita líquida, pois a diferença entre a produtividade bruta e a produtividade líquida consiste na quantidade de grãos necessária para pagar os custos operacionais da adubação.

Na análise econômica da adubação de cobertura do milho, observa-se que o coeficiente angular da equação da produtividade bruta à

aplicação de ureia foi de apenas 1,47 (Figura 2B). Isto significa que a cada 1 kg de ureia fornecido, a cultura produziu 1,47 kg de grãos e, para ser viável economicamente, o preço do kg de ureia deveria ser menor do que 1,47 vezes em relação ao preço do kg de milho. No entanto, de acordo com as cotações levantadas, a razão entre o preço da ureia e o preço do milho foi de 3,20. Logo, considerando apenas o aspecto econômico, a adubação nitrogenada em cobertura resulta em decréscimo da produtividade líquida na safra em questão (Figura 2B). Todavia, tecnicamente, o fornecimento de N é necessário para a sustentabilidade do sistema de produção, pois Alves et al. (2006) quantificaram um saldo de apenas 10 kg ha⁻¹ no balanço de N, considerando a média de dois cultivos de soja com produtividade de 3,2 t ha⁻¹ de grãos. Desse modo, tanto pelo aspecto estatístico, quanto pelo aspecto agrônomo, sugere-se a aplicação da dose média de ureia utilizada no presente trabalho (263 kg ha⁻¹) na adubação de cobertura do milho, pois esta dose possibilitou o padrão de resposta à adubação de semeadura, expresso na Figura 1A. É importante ressaltar que a dose de ureia, na adubação de cobertura da fazenda, foi 350 kg ha⁻¹ de ureia, assim, em relação ao manejo da fazenda, a aplicação de 263 kg ha⁻¹ representa uma redução em 87 kg ha⁻¹ ou 25%.

Os indicadores de rentabilidade do milho, apresentados na tabela 5, foram calculados com base nas equações da Figura 1A. Nota-se que a produtividade, a receita bruta, os custos com a adubação e o ponto de equilíbrio do tratamento referência (manejo da fazenda) são maiores quando comparados com as estimativas para a máxima eficiência econômica. Por outro lado, os demais indicadores de rentabilidade (margem bruta, receita líquida e índice de lucratividade) são menores no

manejo da fazenda em comparação com a estimativa para máxima eficiência econômica. Isto indica que, no manejo da fazenda, é necessária uma maior quantidade de grãos para pagar os custos de adubação, visto que o incremento em produtividade, em função da maior quantidade de fertilizante aplicada, não aumenta a lucratividade.

Para os dois cultivos de soja não houve variação na produtividade em decorrência dos diferentes níveis de investimento em adubação (Tabela 3), logo a receita líquida resultante da aplicação de fertilizantes foi negativa.

Ao se avaliar a produtividade acumulada nas três safras (soja/milho/soja), verifica-se que o manejo da fazenda (Tratamento 11 na Tabela 1) apresenta valores negativos nos indicadores de rentabilidade: margem bruta, receita líquida e índice de lucratividade. Isto ocorreu por causa da falta de resposta em produtividade da soja ao investimento em fertilizantes, aliado ao maior custo operacional da adubação, quando comparado ao tratamento 6, que permitiu o maior retorno econômico (Tabela 5). De acordo com manejo da fazenda, foram aplicados ao longo dos três cultivos 662, 350, 200, 221 kg ha⁻¹ do formulado 10-32-10, ureia, KCl e MAP, enquanto no tratamento de máxima eficiência econômica as quantidades de fertilizantes fornecidas correspondem a 50% do formulado 10-32-10, ureia e KCl e 68% da dose de MAP aplicada na fazenda (Tabela 6).

Logo, ao se considerar o monitoramento, por meio de análises de solo e a avaliação do retorno econômico dos investimentos em fertilizantes ao longo de três safras, evidencia-se que o nível de fertilidade inicial do solo e o tamponamento da disponibilidade de nutrientes

permitiriam reduzir as adubações de manutenção para produção de grãos no sistema de culturas estudado, sem perda significativa de produtividade e conciliando o uso mais eficiente de fertilizantes com maior lucratividade ao agricultor.

4 CONCLUSÃO

O solo de fertilidade construída apresenta forte tamponamento de P, em que os teores disponíveis não sofrem alterações abruptas em função do manejo da adubação fosfatada ao longo de três safras.

Sem adubação por três anos consecutivos, o solo supriu quantidades de nutrientes N, P e K suficientes para a produção de 16,6 t ha⁻¹ de grãos em duas safras de soja e uma de milho, correspondendo a 84% da maior produção obtida com adubação.

O nível de fertilidade inicial do solo permite dispensar a adubação da soja por duas safras na sequência soja-milho-soja, sem perda de produtividade, evidenciada pela ausência de resposta ao aumento nas doses de fertilizantes.

O milho é mais sensível a variações no suprimento de nutrientes do que a soja, expressando o máximo retorno econômico com a aplicação de 312 kg ha⁻¹ do formulado NPK 10-32-10 na semeadura e 263 kg ha⁻¹ de ureia na adubação de cobertura. Estas quantidades maximizam o retorno econômico, aumentam a eficiência de uso dos fertilizantes e correspondem a reduções de 13% do formulado NPK 10-32-10 e 25% na quantidade de ureia normalmente aplicada pela fazenda.

Fertilization, productivity and profitability of a soy/maize production system in Oxisol of constructed fertility

ABSTRACT

Considering the lack of official criteria for high productivity fertilization in soils of built fertility, much fertilizing has been performed without scientific criteria. The objectives of this work were to characterize the variation in the contents of P and K in the soil, during three years regarding the amounts provided in fertilization and to identify doses of N, P and K capable of ensuring good productivities and high profitability in a soy/maize production system in a clayey Red-Yellow Oxisol in the Cerrado. An experiment was conducted, during three harvests, varying the doses of NPK fertilizers normally used in a farm of high technological investment in the Northwest of Minas Gerais State, Brazil. The experimental design was in randomized blocks, with split plot design, and three replicates. After three harvests with no fertilization, it was observed strong buffering of the initial contents of available P (Mehlich-1) in that soil with built fertility. The nutrient reserve, previously accumulated in the soil allows the dispensation of fertilization for soy crops for two harvests, without compromising productivity. The maximum economic return derived from the application of fertilizers for the maize crop was obtained with 312 kg ha⁻¹ of the mix NPK 10-32-10 at sowing and 263 kg ha⁻¹ of urea in topdressing. These doses represent, respectively, a reduction of 13% and 25% of the amounts of fertilizer normally applied in sowing and topdressing by the farm. In the plots with no fertilization for three consecutive years, the Oxisol with built fertility provided amounts of N, P and K sufficient for the accumulated production of 16.6 t ha⁻¹ of grains in two harvests of soy and one of maize, correspondent to 84% of the highest production achieved with fertilization. Therefore, the monitoring of soil fertility and the measuring of culture responses allow the adjustment of fertilizer management, with a more efficient use of fertilizers in crops with high technological investment.

Keywords: System fertilizing. No tillage. Fertilizing economy. Grain production. Efficient use of fertilizers.

REFERÊNCIAS

- ALTMANN, N. Adubação de Sistemas Integrados de produção em plantio direto: resultados práticos no cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 140, p. 1-8, dez. 2012. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/1BD4F8B7F3BD7A9E83257ADC005F0DFF/\\$FILE/IA140-Page1-8.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/1BD4F8B7F3BD7A9E83257ADC005F0DFF/$FILE/IA140-Page1-8.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2014.
- ALVES, B. J. R. et al. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p. 449-456, 2006.
- BANCO DO BRASIL. **Agronegócio: custeio agrícola, 2013**. Disponível em: http://www.bb.com.br/portalbb/page100,8623,8649,0,0,1,1.bb?codigoNoticia=83&codigoMenu=11720&codigoRet=11755&bread=1_1. Acesso em: 25 de jan. 2014.
- BENITES, V. M.; POLIDORO, J. C.; RESENDE, A. V. Oportunidades para a inovação tecnológica no setor de fertilizantes no Brasil. **Boletim Informativo da SBCS**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 18-21, 2010.
- BOARETTO, A. E. et al. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA Informação tecnológica, 2009. p. 59-85.
- BREVILIERI, R.C. **Adubação fosfatada na cultura da soja em latossolo vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo**. 2012. 43 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2012.
- CARNEIRO, M.A.C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p.147-157, 2009.

COSTA, S.E.V.G.A. et al. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.33, n. 5, p.1291-1301, 2009.

D'ANDRÉA, A.F.D. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.26, n. 4, p. 913-923, 2002.

FANCELLI, A.L.; TSUMANUMA, G.M. Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Simpósio sobre nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p.445-486.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GOMES, F.P; GARCIA, C.H. A interpretação econômica de um ensaio de adubação de *E. grandis*. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais**, v.43, n. 43, p.61-64, 1990.

IEA, INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Preços médios mensais pagos pela agricultura em 2013**. 2013. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/Precos_Medios.aspx?cod_sis=5> Acesso em: 15 abr. 2014.

IMEA, INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Custo de produção do milho em janeiro de 2013**. 2013a. Disponível em: <http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R410_2013_01_CPMilho.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

IMEA, INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Custo de produção da soja em janeiro de 2013**. 2013b. Disponível em: <http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R410_2013_01_CPSoja.pdf> . Acesso em: 20 jan. 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos da Estação UNAI - MG (OMM: 83428)**. 2014. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 17 set. 2014>.

LANGE, A.; CABEZAS, W.A.R.L.; TRIVELIN, P.C. O. Recuperação do nitrogênio das fontes sulfato e nitrato de amônio pelo milho em sistema semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 123-130, 2008.

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. 110 p.

LOURENTE, E. R. P. et al. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

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

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 2012. 651p.

MATIAS, M. C. B. et al. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 356-362, 2009.

MOREIRA, F. L. M. et al. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n.1, p. 7-12, 2006.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <www.R-project.org/>. Acesso em: 25 mar. 2014.

RESENDE, A. V. **O sistema plantio direto proporciona maior eficiência no uso de fertilizantes.** Sete Lagoas, MG: Embrapa milho e sorgo, 2011. 23 p.

ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n. 4, p.799-805, 2005.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 5, p. 911-923, 2003.

SÁ JÚNIOR, A. et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, n. 1, p.1-7, 2012.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

SILVA, C.S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

WENDLING, A. et al. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n. 5, p. 1929-1939, 2008.

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, MG, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

WILDA, R. L. M. **Amostragem georreferenciada e aplicação à taxa variável de corretivos e fertilizantes: dinâmica da fertilidade do solo em lavoura de grãos do cerrado.** 2014. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

ARTIGO 2 Níveis críticos de fósforo e potássio no sistema soja-milho em Latassolos de fertilidade construída

Julian Junio de Jesús Lacerda*

**Artigo formatado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003),
conforme instrução do Manual de Normalização da UFLA.**

* Doutorando em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras. Email: julianlacerda@gmail.com.

RESUMO

A recomendação de adubação baseia-se nos resultados da análise de solo em virtude da relação existente entre os teores de nutrientes disponíveis no solo e o rendimento das culturas. Objetivou-se no presente trabalho: comparar três critérios para determinação de nível crítico de nutrientes no solo e aferir níveis críticos de P e K no solo para o cultivo do milho e soja em ambientes de produção de alta fertilidade e cultivares de alto potencial genético. Foram conduzidos experimentos com e sem a aplicação de nutrientes, durante três anos, em dois locais do estado de Minas Gerais, em Unaí e Nazareno. Os dados de produtividade e os resultados das análises de solo foram utilizados para calcular os níveis críticos de P e K, por meio de três procedimentos: conforme Cate e Nelson; Vieira; e utilizando análise hierárquica de agrupamento e equação de Mitscherlich. De acordo com o método de determinação, os níveis críticos de P e K extraídos com Mehlich-1, para o cultivo do milho, variam entre 15 e 18 mg dm⁻³ para o P e entre 66 e 113 mg dm⁻³ para o K. Para a soja, os níveis críticos variam entre 10 e 14 mg dm⁻³ para o P e entre 77 e 110 mg dm⁻³ para o K. Considerando o sistema soja-milho, os níveis críticos de P situam-se entre 15 e 17 mg dm⁻³ e entre 60 e 133 mg dm⁻³ para o K. A análise de agrupamento pode ser utilizada como ferramenta auxiliar para o aprimoramento das estimativas de níveis críticos de nutrientes no solo.

Palavras-chave: Adubação de sistema. Plantio direto. Produção de grãos. Alta produtividade.

1 INTRODUÇÃO

A análise de solo é um dos instrumentos mais utilizados para a recomendação de adubação. Essa recomendação baseia-se na relação existente entre os teores disponíveis de nutrientes no solo e o rendimento das culturas, assim como na relação entre as doses aplicadas e a produtividade em solos com diferentes teores do nutriente (SOUSA; LOBATO, 2004).

No estado de Minas Gerais, o método oficial de análise dos teores de fósforo (P) e potássio (K) disponíveis no solo utiliza o extrator Mehlich-1 (LOPES; ALVAREZ V., 1999). O método consiste na extração dos nutrientes usando uma solução de ácidos fortes em baixas concentrações ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$). Apesar de suas vantagens e desvantagens, esse método está estabelecido como o indicador da disponibilidade de nutrientes do solo na maior parte dos estados brasileiros.

Nas últimas décadas ocorreram várias mudanças nas técnicas de cultivos de grãos, especialmente a adoção do plantio direto e a notável contribuição do melhoramento genético do milho (CIB, 2004) e da soja (FRANCISCO; CAMARA, 2013). Entre as mudanças provocadas pelo plantio direto relacionadas diretamente ao manejo da adubação citam-se: a redução da adsorção de P na superfície de óxidos, em razão do menor revolvimento do solo (SANTOS et al., 2008) e do aumento do teor de matéria orgânica; e elevação da concentração superficial de P e K ao longo do tempo (SAMANIEGO; FERREIRA; AMADO, 2011). A última referência para recomendação de fertilizantes no estado de Minas Gerais

(5ª aproximação) foi publicada há 15 anos. Nesta publicação as produtividades de grãos previstas como máximas são de 3000 e >8000 kg ha⁻¹ para a soja e o milho, respectivamente (ALVES et al., 1999; NOVAIS et al., 1999). No entanto, atualmente as produtividades de soja ultrapassam 3600 kg ha⁻¹ (FOLONI; ROSOLEM, 2008) e as de milho 10000 kg ha⁻¹ (RESENDE et al., 2012).

Esse avanço no potencial produtivo, também, deve-se ao aumento do investimento em fertilizantes. Nota-se que muitas áreas produtoras de grãos no cerrado, com solos anteriormente ácidos e pobres quanto à disponibilidade de nutrientes, apresentam teores de P e K acima daqueles estabelecidos como nível crítico para o cultivo de milho e soja pela comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V. et al., 1999). Percebe-se a necessidade de pesquisas envolvendo experimentação sobre o manejo de adubação nestas áreas, a começar pela aferição dos níveis críticos de P e K no solo.

Quando os solos apresentavam baixa disponibilidade de nutrientes, a definição de níveis críticos de nutrientes foi relativamente fácil, uma vez que a correlação entre o fornecimento de nutrientes e a produtividade das culturas era alta. No entanto, o desafio atual da pesquisa em fertilidade do solo é o contrário, solos com alta disponibilidade de nutrientes e algumas vezes com baixa resposta das culturas à adubação, notadamente na soja (BERNARDI et al. 2009). Nestas condições, as correlações entre o teor do nutriente e a produtividade das culturas podem não ser altas, o que dificulta a obtenção de resultados conclusivos dos trabalhos de pesquisa.

Considerando as dificuldades da determinação de níveis críticos no contexto relatado, objetivou-se no presente trabalho: comparar três critérios para determinação de nível crítico no solo; e aferir níveis críticos de P e K (Mehlich 1) no solo para o cultivo do milho e soja, em ambientes de produção de alta fertilidade e cultivares de alto potencial produtivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado, considerando os dados de dois experimentos conduzidos, durante três safras, entre os anos 2010 e 2013, em fazendas com histórico de obtenção de altas produtividades. Estas fazendas são consideradas referências regionais no cultivo de grãos, em virtude das altas produtividades obtidas e por adotar as tecnologias modernas de cultivo, como o emprego do sistema de semeadura direta, agricultura de precisão e cultivares geneticamente modificadas. Uma das áreas, na Fazenda Decisão, está situada a $16^{\circ} 24' 42''$ de latitude sul e $47^{\circ} 18' 39''$ de longitude oeste, no município de Unai, MG, noroeste do Estado, a uma altitude média de 992 m. A outra, na Fazenda Santa Helena, está situada a $21^{\circ} 15' 40''$ de latitude sul e $44^{\circ} 30' 30''$ de longitude oeste, a 1.020 m de altitude, no município de Nazareno, mesorregião Campo das Vertentes, MG. Os históricos das duas áreas caracterizam-se pelo uso agrícola por vinte anos, sendo os últimos dez anos em semeadura direta. Cabe destacar que, em Unai, nos primeiros dez anos, o solo foi cultivado com soja, milho, algodão e feijão, em plantio convencional e nos últimos anos dez anos, predominaram cultivos de soja e milho sem preparo do solo. Em Nazareno, inicialmente a área foi utilizada para a produção de batata inglesa, cenoura e milho, enquanto nos últimos dez anos o solo foi manejado sem preparo ao longo de oito safras consecutivas de milho, permanecendo em pousio nas entressafras. Nesse período, somente em 2007 foi cultivado o girassol como cultivo de segunda safra.

A precipitação pluviométrica nas fazendas no período de condução dos experimentos está apresentada na Figura 1. Os dados históricos foram obtidos no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014). Os dados observados em cada local foram obtidos em estações meteorológicas automáticas instaladas nas duas fazendas onde os experimentos foram realizados.

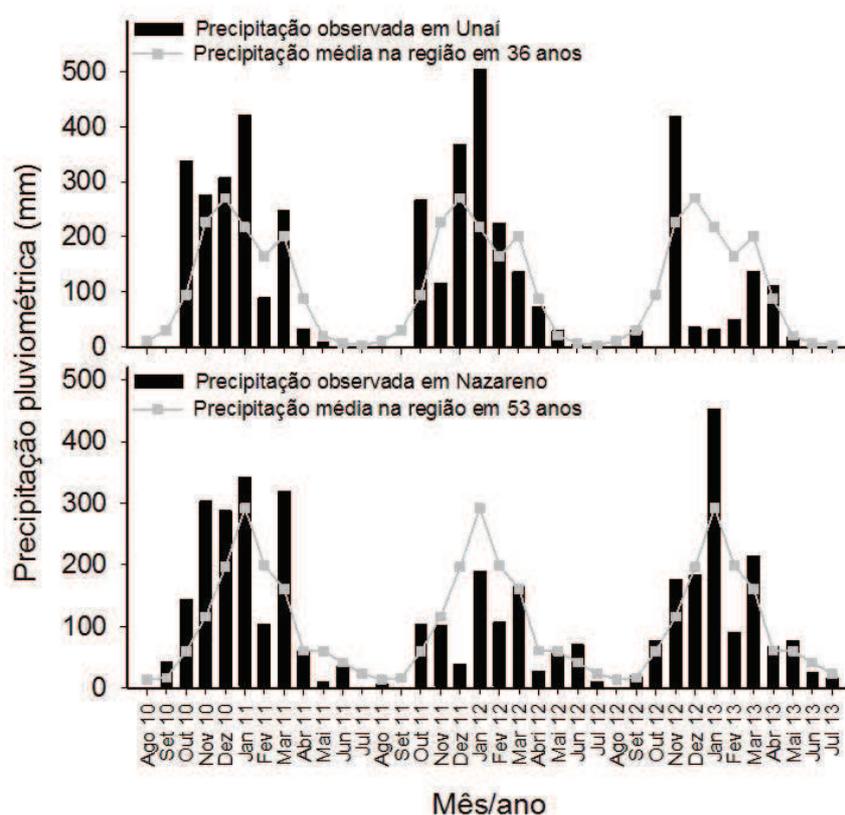


Figura 1 Precipitação pluviométrica mensal observada nas fazendas entre agosto 2010 a julho de 2013 e média histórica de 36 anos da região de Unai (1978-2014) e 53 anos da região Lavras/Nazareno (1961-2014)

O solo do experimento instalado em Unaí foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e do experimento em Nazareno como Latossolo Vermelho distrófico, ambos com texturas argilosas, contendo 470 e 580 g kg⁻¹ de argila, respectivamente (SANTOS et al., 2013). Os solos foram caracterizados quanto aos atributos químicos, antes da implantação dos experimentos, conforme metodologias descritas em Silva (2009). O valor do pH em água era de 6,3 e 6,1; os teores de P (Mehlich-1): 12 e 13; K: 145 e 117 mg dm⁻³; teores trocáveis de Ca: 5,0 e 2,5; Mg: 1,1 e 0,7; Al: 0,0 e 0,1; H+Al: 2,6 e 3,8 e CTC: 9,0 e 7,4 cmol_c dm⁻³ nas áreas de Unaí e Nazareno, respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e três repetições, num arranjo fatorial 4 x 4, combinando quatro doses de fertilizantes NPK na semeadura (parcelas) e quatro doses de K para a soja ou N para o milho, em cobertura (subparcelas). Considerando a diferença no número de linhas das semeadoras-adubadoras disponíveis nas fazendas, em Unaí, as parcelas corresponderam a oito linhas com 40 m de comprimento, enquanto em Nazareno, as parcelas corresponderam a nove linhas com 40 m de comprimento. Em ambos os experimentos, as subparcelas corresponderam à subdivisão das parcelas em quatro unidades experimentais (Em Unaí, oito linhas com 10 m de comprimento, 40 m²; e em Nazareno, nove linhas com 10 m de comprimento 54 m²). As informações detalhadas sobre cada experimento como cultivar utilizada, densidade de semeadura, espaçamento entre linhas, fontes de nutrientes e doses dos fertilizantes estão descritas na tabela 1.

Tabela 1 Caracterização dos experimentos e tratamentos em cada local, ano e cultura

Local	Safra	Cultura	Cultivar	Data da semeadura
Unai	2010/11	Soja	RA 518 RR, precoce, hábito indeterminado	23/11/2010
Unai	2011/12	Milho	Híbrido simples DKB 175 PRO	27/10/2011
Unai	2012/13	Soja	Riber 7211 RR, precoce, hábito indeterminado	13/11/2012
Nazareno	2010/11	Milho	Híbrido simples Down 2B587Hx	03/11/2010
Nazareno	2011/12	Soja	Nidera NA5909 RR, precoce, hábito indeterminado	21/10/2011
Nazareno	2012/13	Milho	Híbrido simples Pioneer P30F53H	15/10/2012

Local	Safra	Cultura	Fontes NPK aplicadas nas parcelas* (semeadura)		Fontes NPK aplicadas nas subparcelas* (cobertura)		Doses na cobertura (kg ha ⁻¹)
			Doses na semeadura (kg ha ⁻¹)	Doses na cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses na semeadura (kg ha ⁻¹)	Doses na cobertura (kg ha ⁻¹)	
Unai	2010/11	Soja	10-32-10	0, 143, 303, 432	00-00-60 (KCl)	0, 25, 50, 75	
Unai	2011/12	Milho	10-32-10	0, 184, 359, 536	45-00-00 (ureia)	0, 175, 350, 525	
Unai	2012/13	Soja	10-54-00 (MAP)	0, 150, 221, 280	00-00-60 (KCl)	0, 150, 221, 280	
Nazareno	2010/11	Milho	10-30-10	0, 240, 386, 570	30-00-20	0, 210, 420, 630	
Nazareno	2011/12	Soja	02-30-10	0, 193, 315, 485	00-00-60 (KCl)	0, 175, 350, 525	
Nazareno	2012/13	Milho	18-38-00	0, 155, 316, 462	22-00-20	0, 75, 150, 225	

Local	Safra	Cultura	Sementes ha ⁻¹	Data da cobertura	Espaço entre linhas (m)	Data da colheita
Unai	2011/12	Milho	68.000	18/11/2011	0,5	10/04/2012
Unai	2012/13	Soja	280.000	**	0,5	12/03/2013
Nazareno	2010/11	Milho	73.000	25/11/2010	0,6	05/04/2011
Nazareno	2011/12	Soja	380.000	12/11/2011	0,6	01/03/2012
Nazareno	2012/13	Milho	75.000	06/11/2012	0,6	06/03/2013

* As fontes de nutrientes foram as mesmas utilizadas pelas fazendas no ano de condução do experimento. ** Em Unai, na safra 2012/13 a aplicação do KCl nas subparcelas foi realizada no mesmo dia da semeadura e não foi realizada a adubação em cobertura.

O tratamento referência consistiu naquele utilizado pelas fazendas, correspondente à terceira dose dos tratamentos aplicados no estudo, tanto nas adubações de semeadura quanto nas de cobertura. Portanto, o intervalo de doses das adubações incluiu quantidades de fertilizantes abaixo, iguais e acima daquelas empregadas pelos agricultores.

As amostragens de solo foram realizadas na época do florescimento das culturas, sendo coletadas nove amostras simples na profundidade de 0-20 cm, três nas linhas de semeadura e seis nas entrelinhas, na área útil central de amostragem das subparcelas, constituída de três linhas de 4 m de comprimento. Posteriormente, as amostras de solo foram submetidas a análises dos teores de nutrientes, conforme metodologias descritas em Silva (2009). As colheitas foram realizadas manualmente na área útil, em seguida foram determinadas a umidade, a massa de grãos e a produtividade corrigida para 13% de umidade.

Os dados de produtividade foram submetidos à análise de variância, por meio do sistema computacional Sisvar (FERREIRA, 2011) e, quando encontradas diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste F a 0,05 de probabilidade, foram geradas equações de regressão para estimar a produtividade em função das doses dos fertilizantes aplicados. Também, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a soma das doses dos nutrientes (P_2O_5 e K_2O) aplicados em cada cultura/ano, teores de P e K no solo e a produtividade.

Os níveis críticos de P e K no solo foram determinados por três critérios: 1) conforme proposto por Cate e Nelson (1971); 2) de acordo com Vieira et al. (2013); e 3) utilizando análise hierárquica de

agrupamento e equação de Mitscherlich e Behrens (1930). Para o cálculo, de acordo com Cate e Nelson (1971), foram dispostos em ordem crescente os teores de P ou K no solo (variável x), ambos extraídos pelo extrator Mehlich-1, acompanhados das respectivas produções relativas (variável y). Os dados ordenados foram divididos em duas populações: população A e população B, de modo que, inicialmente, a população A conteve os dois primeiros pares de dados (x, y) e a população B os demais. Por meio de um processo iterativo, foram se alterando o número de pares dos dados das duas populações até que a população B conteve dois pares de dados e a população A os demais. Para cada divisão da população total em população A e população B foi calculado o coeficiente de determinação (R^2) conforme a equação 1. As operações matemáticas foram realizadas por meio da função DesvQ do programa Excel 2007. O nível crítico assim determinado é um valor intermediário entre o último valor de x da população A e o primeiro valor de x da população B correspondentes ao maior valor de R^2 obtido.

$$R^2 = \frac{\left(\sum y_{pop\ total}^2 - \frac{(\sum y_{pop\ total})^2}{n_{pop\ total}} \right) - \left(\sum y_A^2 - \frac{(\sum y_A)^2}{n_A} \right) - \left(\sum y_B^2 - \frac{(\sum y_B)^2}{n_B} \right)}{\left(\sum y_{pop\ total}^2 - \frac{(\sum y_{pop\ total})^2}{n_{pop\ total}} \right)} \quad [1]$$

Vieira et al. (2013), baseados no método de Cate e Nelson (1971), sugeriram novos critérios para definição de níveis críticos de pH e saturação por bases em sistema de culturas no Centro Sul do Paraná. No presente trabalho, os referidos critérios foram utilizados para a determinação dos níveis críticos de P e K no solo. Para isso, traçou-se um

gráfico que descreve a variação da produtividade relativa (eixo y) em relação aos valores de P ou K na análise de solo. Dividiram-se os pontos do gráfico em quatro quadrantes com base em um eixo horizontal e um eixo vertical. O eixo horizontal foi fixado em 90% da produção relativa e os níveis críticos foram obtidos pelo deslocamento do eixo vertical, de forma que, acima do nível crítico, as culturas nunca apresentassem produção relativa inferior a 80 % e, em no máximo 20 % das situações, produção relativa inferior a 90%.

Para a determinação dos níveis críticos com auxílio da análise hierárquica de agrupamentos, formaram-se dois grupos baseados no conjunto de dados com as variáveis: teor de P ou K e produtividade (absoluta ou relativa) utilizando o método de Ward (FERREIRA, 2008). O princípio do método é a formação de grupos de maneira a atingir sempre o menor erro interno entre os vetores que compõem cada grupo e o vetor médio do grupo. Isto equivale a buscar o mínimo desvio padrão entre os dados dentro de cada grupo e é, basicamente, o mesmo princípio utilizado por Cate e Nelson (1971). A medida de similaridade utilizada para aglomerar os dados em cada grupo foi a correlação de Pearson entre as variáveis, onde um dos grupos apresenta a máxima correlação entre os pontos e o outro a mínima.

Como as variáveis possuem diferentes escalas, foi realizada a padronização das variáveis em unidades Z, para equiparar o efeito do teor dos nutrientes no solo com as produtividades, conforme a equação 2.

$$Z = \frac{(X - Xm)}{s} \quad [2]$$

Em que Z é o valor padronizado da variável; X , seu valor mensurado; X_m , a média da variável; e s , o respectivo desvio-padrão da amostra.

No grupo de máxima correlação, foram determinados os parâmetros da equação de Mitscherlich e Behrens (1930). O nível crítico é um valor de X (nutriente) que se relaciona a 90% da produtividade máxima. As operações matemáticas e estatísticas foram realizadas por meio dos programas computacionais IBM SPSS Statistics 22 e SigmaPlot versão 11.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produtividade de grãos

No experimento conduzido em Unai não houve diferença significativa de produtividade de grãos de soja, em função da adubação na semeadura (parcelas) ou em cobertura (subparcelas), nas safras 2010/11 e 2012/13 (Apêndice A). Também, não houve interação entre as fontes de variação pré - estabelecidas (adubação de semeadura x adubação de cobertura). As produtividades médias da soja, obtidas no experimento, foram de 3.466 kg ha⁻¹ em 2010/11 e 3.485 kg ha⁻¹ em 2012/13. Para o milho (safra 2011/12) cultivado em rotação, após a primeira safra de soja no experimento, houve diferença significativa da produtividade de grãos entre os tratamentos que receberam diferentes doses de fertilizantes na semeadura e em cobertura, mas não houve interação entre essas duas fontes de variação (Tabela 1A). A produtividade média variou de 10.258 a 12.460 kg ha⁻¹ em função da adubação de semeadura e de 11.220 a 12.015 kg ha⁻¹ em função da adubação de cobertura (Tabela 2).

No experimento conduzido em Nazareno, também, não houve interação entre as fontes a adubação de semeadura e a adubação de cobertura, ao avaliar a produtividade de grãos em cada safra, mas houve diferença de produtividade ao avaliar as fontes de variação separadamente (Tabela 2A). Na safra 2010/11 a produtividade média de milho variou de 8.515 a 9.897 kg ha⁻¹ em função da adubação de semeadura e de 7.074 a 11.009 kg ha⁻¹ em função da adubação de cobertura (Tabela 2). Na safra 2011/12 não houve diferença de produtividade da soja em função da

adubação de semeadura, mas obteve-se variação de 3.310 a 3.809 kg ha⁻¹ em função da adubação de cobertura (Tabela 2). Na safra 2012/13, a produtividade do milho variou entre 10.441 a 12.696 kg ha⁻¹ em virtude da adubação de semeadura e entre 10.071 a 13.026 kg ha⁻¹ por causa da adubação de cobertura. A condição de fertilidade construída dos solos estudados pode ser comprovada pelas produtividades, obtidas nos tratamentos sem aplicação de adubos (Tabela 2 e 3), as quais não seriam possíveis em áreas recém-abertas à agricultura ou com solos degradados.

É importante considerar que os experimentos foram conduzidos em condições de sequeiro, portanto o fator disponibilidade de água pode ter influência sobre as produtividades obtidas. Especialmente na safra 2012/13 em Unai e na safra 2011/12 em Nazareno, nota-se que as quantidades e distribuição das chuvas, nos períodos de condução dos experimentos, foram abaixo das médias históricas para as regiões. A falta de água no solo pode ter contribuído para a falta de resposta à adubação e produtividades relativamente baixas, principalmente, da soja, em Unai (Figura 1).

Nota-se que a soja é menos responsiva à adubação do que o milho nos experimentos de ambos os locais, o que pode ser atribuído às características intrínsecas da própria cultura (WENDLING et al., 2008) e à reserva de nutrientes no solo acumulada ao longo dos anos de cultivo como residual das adubações. As baixas respostas da cultura à adubação potássica, em relação ao milho, também, foram observadas Schindwein, Bortolon e Gianello (2011) em solos do Rio Grande do Sul. No entanto, situação diferente foi constatada por Petter et al. (2012), ao aplicarem diferentes doses de potássio (30, 60, 90, 120 and 150 kg ha⁻¹), em um

Latossolo de textura média, que recebeu $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ do formulado N-P₂O₅-K₂O (00-20-20), durante oito anos de monocultivo de soja, em Bom Jesus, PI. O teor inicial de K⁺ foi igual a 77 mg dm^{-3} , mas houve resposta quadrática da produtividade da soja em função da adubação potássica. A máxima produtividade de grãos da soja foi 3961 kg ha^{-1} obtida com a dose de $97 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$.

Tabela 2 Valores médios de produtividade de grãos de soja/milho (kg ha^{-1}) nos anos 2010 a 2013 em função de adubações (NPK) na época da semeadura e adubações de cobertura (N ou K) em Latossolos argilosos em Unai-MG

Cultura/safra	Doses de adubos na Semeadura (kg ha^{-1})		Adubação de cobertura (kg ha^{-1})			Média	Equações	R^2
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (10-32-10)	(00-00-60) KCl	0	25	50			
Soja 2010/11 ⁽¹⁾	0		3762	3372	3568	3487	Não houve diferença significativa entre os tratamentos (P-valor>0,050)	0,94
	143		3437	3609	3486	3524		
	303		3343	3172	3345	3557		
	432		3454	3425	3546	3373		
	Média		3499	3395	3486	3485		
Milho 2011/12 ⁽²⁾	0	(45-00-00) ureia	0	175	350	525	Y=10350+10,7**(10-32-10)-0,013*(10-32-10) ²	0,94
	184		9729	10238	10778	10287		
	359		11639	12349	12215	12467		
	536		11615	12416	12175	12711		
	Média		11897	12385	12963	12594		
Soja 2012/13 ⁽³⁾	0	(00-00-60) KCl	11220	11847	12033	12015	Y=11393+1,47**(ureia)	0,76
	150		0	75	150	225		
	221		3334	3176	3241	3304		
	280		3595	3661	3648	3603		
	Média		3470	3324	3490	3708		
		3512	3678	3592	3430	3553	Não houve diferença significativa entre os tratamentos (P-valor>0,050)	
		3478	3460	3493	3511	3485		

(1),(2) e (3) Não houve interação entre as fontes de variação ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3 Valores médios de produtividade de grãos de soja/milho (kg ha⁻¹) nos anos 2010 a 2013 em função de adubações (NPK) na época da semeadura e adubações de cobertura (N ou K) em Latossolos argilosos em Nazareno-MG

Cultura/safra	Doses de adubos na Semeadura (kg ha ⁻¹)		Adubação de cobertura (kg ha ⁻¹)				Média	Equações	R ²
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (10-30-10)	(kg ha ⁻¹)	(30-00-20)						
Milho 2010/11 ⁽¹⁾	0	0	0	210	420	630		Y=8572+2,46** (10-30-10)	0,98
	240	5773	8027	9937	10321	8515			
	386	6888	8867	10201	10912	9217			
	570	7873	9154	10092	11266	9596			
	Média	7761	9728	10565	11535	9897			
	7074	8944	10199	11009	9306	Y=7082+10** (30-00-20)-0,006** (30-00-20) ²	0,99		
Soja 2011/12 ⁽²⁾	0	0	0	25	50	75		Y=3277,9+6,79** (KCl)	0,98
	193	3190	3032	3273	3340	3208			
	315	3260	3500	3519	3857	3534			
	485	3307	3461	3680	3943	3598			
	Média	3485	3627	3952	4098	3791			
	3310	3405	3606	3809	3533	Y=10012+6,3** (22-00-20)+0,003** (22-00-20) ²	0,99		
Milho 2012/13 ⁽³⁾	0	0	0	300	600	900		Y=10715+4,81** (18-38-00)	0,91
	155	8496	10152	11991	11125	10441			
	316	9612	11045	12870	13593	11780			
	462	11295	11818	13122	13486	12430			
	Média	10881	12737	13270	13898	12696			
	10071	11438	12813	13026	11837	Y=10012+6,3** (22-00-20)+0,003** (22-00-20) ²	0,99		

(1); (2) e (3) Não houve interação entre as fontes de variação ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

O milho apresentou padrões diferenciados de resposta nos dois locais. Em Unai a resposta em produtividade, em decorrência das adubações de semeadura foi quadrática, indicando que, no ambiente estudado, provavelmente, vem sendo aplicadas doses além do necessário para a cultura expressar o potencial de produtividade de grãos. Por outro lado, no experimento conduzido em Nazareno, a produtividade apresentou comportamento linear indicando que, naquele ambiente, é possível aumentar a produtividade incrementando as doses dos fertilizantes fornecidos na adubação de semeadura. Houve um ganho de, aproximadamente, 4000 kg ha⁻¹ em consequência da adubação de cobertura no primeiro ano de cultivo em Nazareno (Tabela 3). Esta maior resposta à adubação, no primeiro ano do experimento em Nazareno, está relacionada com o histórico de monocultivo de milho nos últimos anos anteriores à implantação do experimento, diferentemente de Unai que tem histórico de alternância de culturas. A utilização de espécies da família Fabaceae, como a soja, na rotação ou sucessão de culturas, pode ser importante para o suprimento de N às espécies subsequentes, principalmente, àquelas mais exigentes, como o milho (CALONEGO et al., 2012).

No primeiro ano de ambos os experimentos, os teores de P no solo não variaram em razão do não fornecimento de fertilizantes fosfatados. No entanto, a partir do segundo ano, no experimento conduzido em Nazareno, observaram-se variações na disponibilidade de P em decorrência da aplicação dos fertilizantes fosfatados. Em Unai, por outro lado, as variações na disponibilidade de P só foram perceptíveis, estatisticamente, na terceira safra (Tabelas 4 e 5 e Tabelas 1A e 2A).

Estes resultados expressam o forte tamponamento de P nos solos estudados. Para o K, nota-se menor tamponamento do solo, pois houve variação dos teores disponíveis desde o primeiro ano de condução dos experimentos. As variações são, principalmente, em consequência das adubações de cobertura em ambos os locais (Tabela 4 e 5 e Tabelas 1A e 2A).

Tabela 4 Disponibilidade de fósforo e potássio (Mehlich 1) no solo, por ocasião do florescimento das culturas, ao longo de três safras, em função da combinação de nutrientes fornecidos nas adubações de semeadura e cobertura em Unai-MG

Soja 2010/11		Nutrientes aplicados (kg ha ⁻¹)				Disponibilidade de P e K (mg dm ⁻³)					
Semeadura N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Cobertura K ₂ O	Milho 2011/12		Soja 2012/13		Soja 2010/11		Milho 2011/12		Soja 2012/13	
		Semeadura N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Cobertura N	Semeadura N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Cobertura K ₂ O	P	K	P	K	P	K
	0		0		0	17	69	11	72	20	98
00-00-00	15	00-00-00	78		45	18	79	10	64	16	145
	30		156	00-00-00	90	20	84	15	68	14	140
	45		234		135	20	106	12	56	21	156
	0		0		0	24	67	14	73	31	103
14-43-14	15	18-59-18	78	15-81-00	45	28	81	18	58	23	127
	30		156		90	34	85	16	60	17	134
	45		234		135	26	96	13	50	19	150
	0		0		0	20	67	19	80	17	108
30-91-30	15	36-115-36	78	22-119-00	45	13	77	31	72	28	138
	30		156		90	18	97	27	66	47	157
	45		234		135	25	105	20	62	53	158
	0		0		0	19	55	18	74	24	115
43-130-43	15	54-172-54	78	28-151-00	45	19	69	17	65	44	135
	30		156		90	22	63	41	66	27	143
	45		234		135	18	102	16	61	46	203

Tabela 5 Disponibilidade de fósforo e potássio (Mehlich 1) no solo, por ocasião do florescimento das culturas, ao longo de três safras, em função da combinação de nutrientes fornecidos nas adubações de semeadura e cobertura em Nazareno-MG

Milho 2010/11		Nutrientes aplicados (kg ha ⁻¹)				Disponibilidade de P e K (mg dm ⁻³)					
Semeadura		Soja 2011/12		Milho 2012/13		Milho 2010/11		Soja 2011/12		Milho 2012/13	
N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Cobertura	Semeadura	Cobertura	Semeadura	Cobertura	P	K	P	K	P	K
00-00-00	00-00-00	00-00-00	0	00-00-00	0	7	70	8	76	4	52
00-00-00	63-00-42	00-00-00	15	00-00-00	66-00-60	10	59	7	85	7	59
00-00-00	126-00-84	00-00-00	30	00-00-00	132-00-120	13	73	9	107	5	60
00-00-00	189-00-126	00-00-00	45	00-00-00	198-00-180	8	54	9	106	6	71
24-72-24	00-00-00	04-58-19	15	28-59-00	66-00-60	9	77	9	60	7	59
24-72-24	63-00-42	04-58-19	30	28-59-00	132-00-120	11	64	12	74	8	60
24-72-24	126-00-84	04-58-19	45	28-59-00	198-00-180	11	64	7	87	6	64
24-72-24	189-00-126	04-58-19	0	28-59-00	0	13	80	11	105	5	49
39-116-39	00-00-00	06-95-32	15	57-120-00	66-00-60	14	60	15	73	9	67
39-116-39	63-00-42	06-95-32	30	57-120-00	132-00-120	14	66	16	103	9	67
39-116-39	126-00-84	06-95-32	45	57-120-00	198-00-180	8	61	13	104	9	75
39-116-39	189-00-126	06-95-32	0	57-120-00	0	8	61	16	105	8	65
57-171-57	00-00-00	10-146-48	15	83-176-00	66-00-60	13	77	9	73	14	111
57-171-57	63-00-42	10-146-48	30	83-176-00	132-00-120	11	71	15	88	11	93
57-171-57	126-00-84	10-146-48	45	83-176-00	198-00-180	12	54	12	101	8	89
57-171-57	189-00-126	10-146-48	0	83-176-00	0	9	66	15	115	5	85

3.2 Correlações entre os teores de P e K disponível no solo e a produtividade de soja e milho

No primeiro ano do estudo, em Unai, não houve correlação significativa entre as doses de P_2O_5 e os teores de P no solo ($r = -0,16$) ou a produtividade da soja ($r = -0,40$) (Tabela 6). Também, não houve correlação significativa entre a aplicação de K_2O e os teores de K no solo ($r = 0,47$), ou entre a aplicação de K_2O e produtividade ($r = -0,25$). Os teores de P e K no solo não se correlacionaram com a produtividade da soja.

No segundo ano do estudo em Unai, o fornecimento de P_2O_5 e K_2O apresentou correlação significativa com a produtividade de milho ($r = 0,78$) e houve correlação positiva do fornecimento de P_2O_5 e com os teores de P no solo ($r = 0,63$). Outros pesquisadores, também, têm observado resposta em produtividade do milho às doses de P_2O_5 e K_2O (Rodrigues et al., 2014; Frandoloso et al., 2010).

No terceiro ano, a aplicação de P_2O_5 para o cultivo da soja apresentou correlação significativa com os teores de P no solo e com a produtividade ($r = 0,61$ e $0,63$). Por outro lado, a aplicação de K_2O apresentou correlação significativa apenas com o teor de K no solo. A produtividade foi correlacionada positivamente com a aplicação de P_2O_5 ($r = 0,63$). A falta de resposta da soja à adubação potássica em solo com alta disponibilidade de K trocável (86 mg dm^{-3}), também, foi observada por Bernardi et al. (2009). A aplicação K_2O , independente da dose, modo e época de aplicação não influenciou a produtividade da soja, pois, no trabalho de Bernardi et al. (2009), assim como no presente trabalho, o K

trocável existente originalmente no solo, provavelmente, foi suficiente para suprir as exigências nutricionais da cultura.

Em Nazareno, observa-se que a aplicação de P_2O_5 influenciou, significativamente, a produtividade, durante as três safras, apresentando coeficientes de correlação acima de 0,9 entre os pares P_2O_5 x Produtividade (Tabela 6). Por outro lado, a aplicação de K_2O não foi correlacionada com os teores no solo ou com a produtividade.

No primeiro ano do estudo em Nazareno, verifica-se uma correlação negativa entre o teor de K no solo e a produtividade de grãos de milho ($r = -0,50$), o que pode ser explicado pela época de amostragem do solo no florescimento. O decréscimo dos teores de K no solo, com aumento da produtividade, provavelmente, ocorreu porque parte do K do solo foi absorvida pelas plantas antes do florescimento do milho. Karlen, Flannery e Sandler (1988) avaliaram a partição e acúmulo de nutrientes pelo milho e observaram que 86% do K foram acumulados até o estágio R1 (Florescimento). Neste estágio, a absorção de potássio está praticamente completa, o teor do nutriente na planta está altamente correlacionado com a produção final de grãos (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003).

No segundo ano do estudo em Nazareno, o teor de K no solo foi correlacionado, positivamente, com a produtividade da soja. Este resultado poder ser atribuído ao aumento da disponibilidade de K no solo, em função da ciclagem do K pela palha do milho cultivado no ano anterior e à aplicação de KCl na adubação de cobertura. A resposta da soja à adubação potássica em solo com alta disponibilidade do nutriente (121 mg dm^{-3}), também, foi observada por Borket et al. (1997). Naquele

estudo, os autores relataram que o Latossolo estudado não pode ser cultivado por mais de dois anos com soja, sem serem repostas as quantidades de K exportadas nos grãos, pois de outro modo haveria possibilidade de redução da produtividade.

De modo geral, as produtividades do milho e da soja responderam, positivamente, à aplicação de P_2O_5 , mas para o milho os coeficientes de correlação foram maiores. A aplicação de K_2O não foi correlacionada com a produtividade da soja em nenhuma das três safras dos dois locais. Os teores de P e K no solo não se correlacionaram positivamente com a produtividade da soja ou do milho na primeira e terceira safras em ambos os locais.

Um dos principais desafios no manejo da fertilidade do solo é relacionar o teor do nutriente no solo, a quantidade de nutriente aplicada e a produtividade das culturas. Apesar da interdependência, as correlações entre esses fatores quando tomados dois a dois nem sempre são positivas como se espera. Percebe-se que a aplicação de fertilizantes fosfatados e potássicos em solos classificados como de boa fertilidade em alguns casos não aumenta a disponibilidade de P e K no solo e não apresenta correlação com a produtividade de grãos. Também, conclui-se que o aumento da disponibilidade do nutriente no solo pode não resultar em aumento de produtividade. A baixa correlação entre a aplicação dos fertilizantes, seus teores no solo e a produtividade das culturas dificulta o estabelecimento dos níveis adequados de nutrientes para o cultivo da soja e milho nos solos de fertilidade construída.

Tabela 6 Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a quantidade de nutrientes P_2O_5 e K_2O aplicadas, a disponibilidade de P e K no solo, e a produtividade de grãos (Prod) nas safras 2010/11 a 2012/13, em Unai-MG e Nazareno-MG

Local	P_{solo}	K_{solo}	Prod	P_{solo}	K_{solo}	Prod	P_{solo}	K_{solo}	Prod
Unai	Soja 2010/11								
	P_2O_5	-0,16 ^{ns}	-	-0,40 ^{ns}	0,61 ^{**}	-	0,61 ^{**}	-	0,63 ^{**}
	K_2O	-	0,47 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-	0,22 ^{ns}	-	0,85 ^{**}	0,09 ^{ns}
	Prod	0,40 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	1	0,63 ^{**}	-0,18 ^{ns}	1	0,45 ^{ns}	1
	Milho 2011/12								
Nazareno	Soja 2012/13								
	P_2O_5	-0,01 ^{ns}	-	0,93 ^{**}	0,55 [*]	-	0,94 ^{**}	-	0,94 ^{**}
	K_2O	-	0,15 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-	0,29 ^{ns}	-	0,31 ^{ns}	0,29 ^{ns}
	Prod	0,12	-0,50 [*]	1	0,57 ^{**}	0,58 [*]	1	0,04 ^{ns}	0,26 ^{ns}
	Milho 2011/12								
Milho 2012/13									

*Correção significativa ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste t. **Correlação significativa ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste t. ^{ns}Correlação não significativa ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste t.

3.3 Níveis críticos de P e K no solo à época do florescimento das culturas da soja, do milho e para o sistema soja-milho em solos de fertilidade construída

Para a determinação dos níveis críticos para a soja, milho e para o sistema soja-milho foram considerados os dados dos dois locais e dos três anos de estudo. Os níveis críticos de P e K no solo, calculados pelo método de Cate e Nelson (1971) e pelos critérios propostos por Vieira et al. (2013), estão apresentados na figura 2. Os níveis críticos de P e K no solo, calculados utilizando análise hierárquica de agrupamentos com aplicação do modelo de Mitscherlich e Behrens (1930) no grupo de máxima correlação, estão apresentados na figura 3.

No método usando a análise hierárquica de agrupamentos, a exclusão dos pontos do grupo de mínima correlação (dados fora do padrão esperado) segue o mesmo princípio do método de Cate e Nelson (1971), no qual se sugerem estudos complementares para explicar os pontos do quadrante superior esquerdo (dados fora do padrão esperado) (CANTARUTTI et al., 2007). Assim, os pontos excluídos no grupo de mínima correlação utilizando a análise de agrupamento hierárquica são comparáveis à tentativa gráfica de Cate e Nelson (1971) em separar os *outliers* do conjunto de dados.

Uma parte dos critérios sugeridos por Vieira et al. (2013) estão de acordo com os princípios do método original de Cate e Nelson (1971), pois se espera que o nível crítico do nutriente permita produções relativas entre 80 e 90% da máxima. No entanto, a sugestão para definição da linha vertical de modo que: no máximo 20% dos pontos fiquem entre 80 e 90%

da produção relativa e nenhum dos pontos abaixo de 80% da produção relativa não considera a tendência da dispersão. Assim, no presente trabalho sugere-se a divisão de dois grupos, utilizando um recurso estatístico computacional que mantenha o princípio do tradicional método de Cate e Nelson (1971) e se busque um aprimoramento ao dividir os grupos, considerando a correlação entre a produtividade e o teor do nutriente no solo, que é o objetivo a ser alcançado. Adicionalmente, a análise de agrupamento permitiu maior confiabilidade no modelo de regressão, o que pode ser percebido ao comparar os coeficientes de determinação (R^2) das equações nas figuras 2 e 3.

Para o milho, os valores de nível crítico de P no solo pelos três métodos foram semelhantes e variaram de 15 a 18 mg dm⁻³. Para a soja, os valores do nível crítico de P variaram entre 10 e 14 mg dm⁻³ e para o sistema soja milho variaram entre 15 e 17 mg dm⁻³. Os valores de nível crítico para P, no sistema soja/milho, determinados no presente trabalho pelos três métodos foram maiores do que aqueles encontrados na literatura. Para solos argilosos, o nível crítico indicado no estado de Minas Gerais é 12 mg dm⁻³ (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V. et al., 1999), e para a região do cerrado é de 8 mg dm⁻³ para sistemas de sequeiro (SOUSA ; LOBATO, 2014). Vieira et al. (2013) determinaram o nível crítico de P igual a 6 mg dm⁻³, para soja e milho em Latossolos Bruno argilosos (> 600 g kg⁻¹ de argila) no centro-sul do Estado do Paraná (Guarapuava, Pinhão e Candói) utilizando a equação de Mitscherlich. É importante salientar que os Latossolos Bruno estudados por Vieira et al. (2013) apresentam altos teores de matéria orgânica (>50 g kg⁻¹) e mineralogia diferenciada pelas maiores concentrações de goethita, o que

pode contribuir para maior capacidade de adsorção de fósforo em relação aos Latossolos do presente estudo. Cubilla et al. (2007) estabeleceram nível crítico de P para milho, soja e trigo em Argissolos e Latossolos cultivados em sistema de plantio direto no Paraguai, separando os níveis críticos em função de duas classes do teor de argila dos solos. Para a classe de 410 a 600 g dm⁻³ (equivalente aos teores de argila do presente trabalho), o valor do nível crítico foi 12 mg dm⁻³.

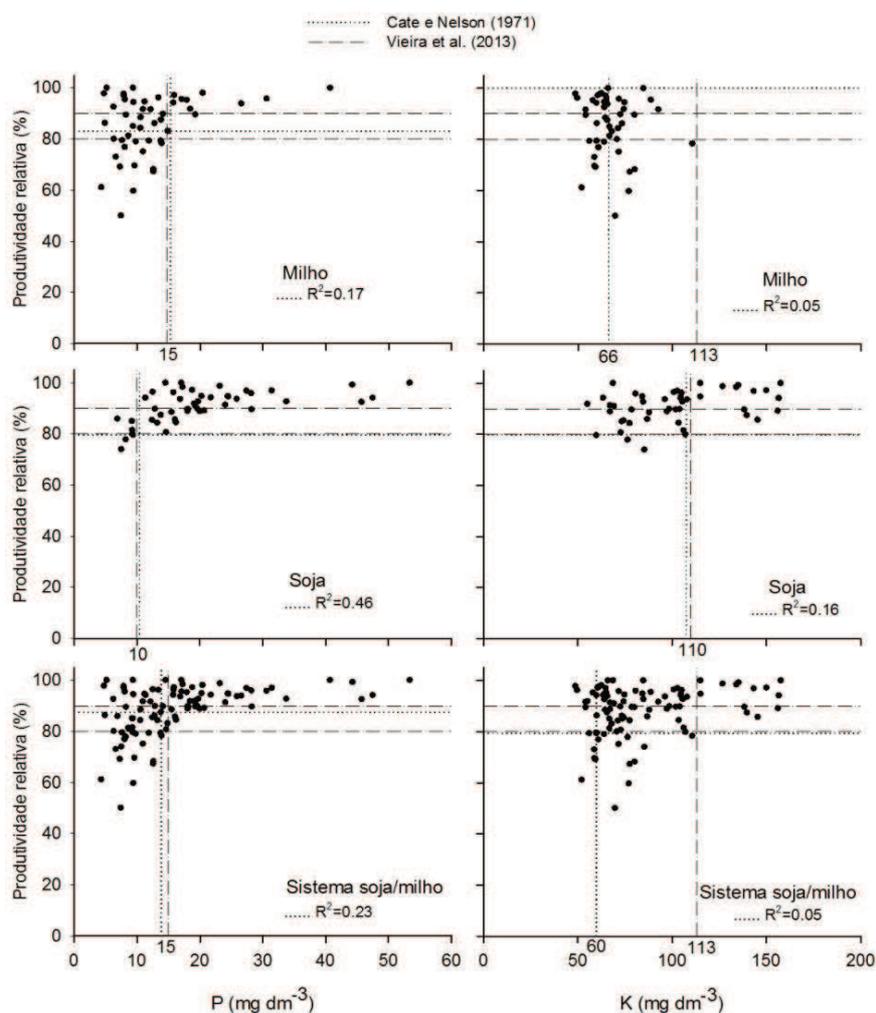


Figura 2 Níveis críticos de fósforo e potássio para soja, milho e para o sistema soja/milho em Latossolos de fertilidade construída do Noroeste (Unai) e Sul (Nazareno) de Minas Gerais, determinados de acordo com o método de Cate e Nelson (1971), e pelos critérios sugeridos por Vieira et al. (2013)

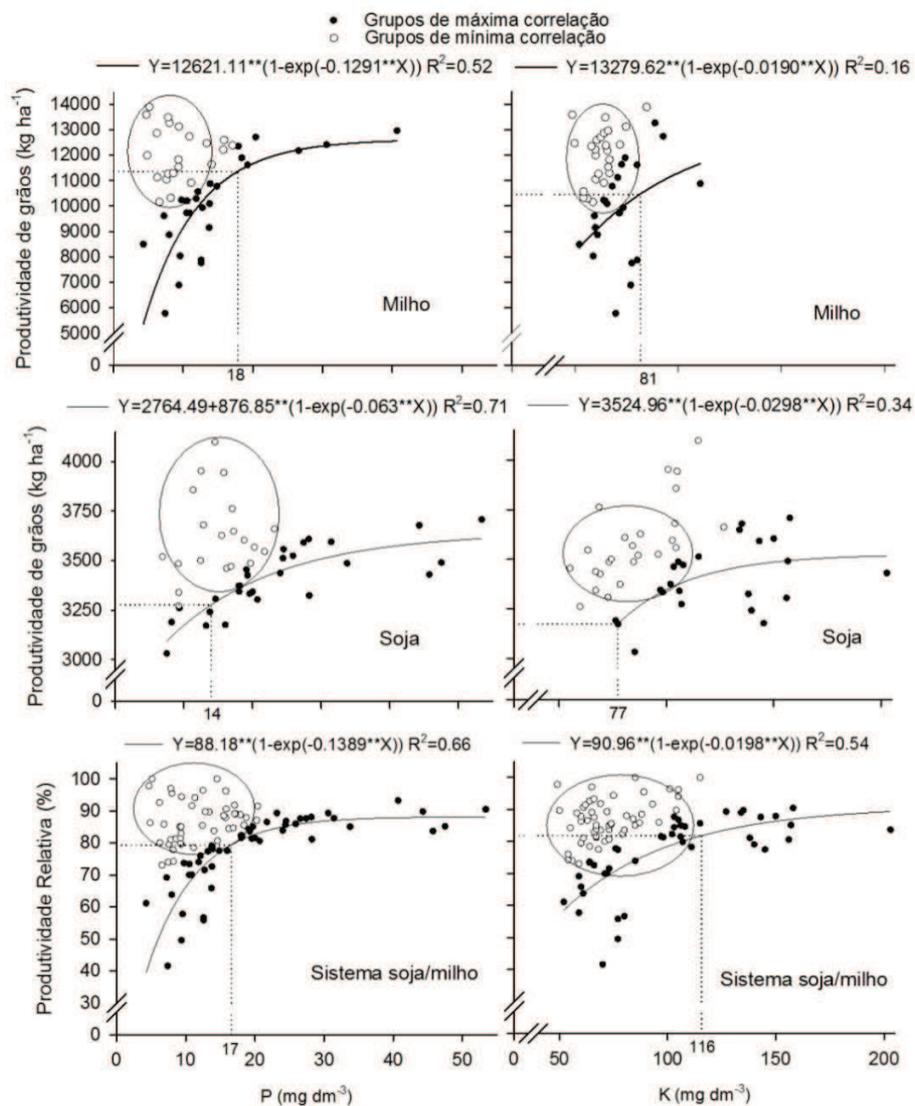


Figura 3 Níveis críticos de fósforo e potássio para soja, milho e para o sistema soja-milho, em Latossolos de fertilidade construída do Noroeste (Unaí) e Sul (Nazareno) de Minas Gerais, definidos com o uso de análise hierárquica de agrupamento e modelo de Mitscherlich fixado em 90% do ponto de máxima produtividade do grupo de máxima correlação

Os valores dos níveis críticos de K para o milho variaram em função do critério utilizado para a determinação (Figuras 2 e 3). Pelo método de Cate e Nelson (1971), o nível crítico de K no solo foi 66 mg dm^{-3} enquanto pelos critérios estabelecidos por Vieira et al. (2013) foi 113 mg dm^{-3} . O valor determinado pelo terceiro método está entre os dois anteriores e igual a 81 mg dm^{-3} , sendo este último mais coerente com os valores encontrados por outros pesquisadores (Figura 3). Coelho e França (1994) apresentaram a relação entre o rendimento relativo de grãos e o teor de K em Latossolos com textura média (Janaúba-MG) e muito argilosa (Sete Lagoas-MG) em sistema irrigado. As produções relativas entre 75 e 90% foram relacionadas aos teores de K entre 76 e 102 mg dm^{-3} . Estes valores de disponibilidade foram interpretados como médios para o cultivo do milho irrigado. Os autores determinaram o nível crítico por meio de modelo quadrático.

Para a soja, pelos critérios de Cate e Nelson (1971) e Vieira et al. (2013), o nível crítico de K no solo foi 110 mg dm^{-3} (Figura 2), enquanto o valor determinado pelo terceiro método foi de 77 mg dm^{-3} (Figura 3). Estes valores são maiores do que os encontrados por pesquisadores em outras regiões do país. Scherer (1998) estimou um nível crítico de K de 63 mg dm^{-3} para a soja em Latossolo Húmico argiloso (600 g kg^{-1} de argila) em Campos Novos, SC. O autor utilizou equações lineares e curvilíneas para relacionar o teor de K no solo à produção relativa em cada ano.

No sistema soja-milho, os valores de nível crítico de K, também, variaram conforme os critérios utilizados para a determinação. Pelo método de Cate e Nelson (1971), o nível crítico de K foi 60 mg dm^{-3} ,

enquanto pelos critérios estabelecidos por Vieira et al. (2013) foi 133 mg dm^{-3} (Figura 2). Pelo método dos grupos de máxima e mínima correlação, o valor foi 116 mg dm^{-3} de K no solo (Figura 3). Estes valores, também, são maiores do que aqueles relatados na literatura por outros autores. Vieira et al. (2013) também determinaram o nível crítico de $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K para soja e milho no centro-sul do Estado do Paraná, o que equivale a 59 mg dm^{-3} . Wendling et al. (2008) estabeleceram nível crítico de 75 mg dm^{-3} de K para milho, soja e trigo para Argissolos de textura arenosa e média, e para Latossolos (textura argilosa) cultivados em sistema plantio direto no Paraguai. Os autores justificaram a não divisão dos solos por textura ou CTC, quanto ao nível crítico de K, em razão do baixo número de locais estudados (7) e pelo fato de apenas um local apresentar resposta consistente ao K. Riquelme et al. (2013), também, determinaram o nível crítico de K para o sistema de culturas, soja, milho, trigo, sob plantio direto no Paraguai. O teor crítico de K no solo pelo método Mehlich-1 foi de 75 mg dm^{-3} para o referido sistema. As classes de fertilidade de potássio no solo são “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”, correspondendo, respectivamente, a teores menores que 25, de 26 a 50, de 51 a 75, de 76 a 150 e maiores que 150 mg dm^{-3} de K no solo, determinado pelo método Mehlich-1. Para solos que se enquadram na classe de fertilidade “alta”, a recomendação de K é de manutenção, $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$ por tonelada de grãos de trigo e milho exportados e 25 kg ha^{-1} por tonelada de soja exportada.

A comparação dos padrões de dispersão da produtividade relativa do milho e da soja, em função dos teores de K no solo, permite concluir que a soja teve grande contribuição no aumento dos níveis críticos de K

estimados para o sistema soja-milho. Apesar da dificuldade de se definir um padrão de resposta que explique as produtividades das duas culturas separadamente em função dos teores de K no solo, é notável a maior exigência da soja em relação ao milho (Figura 3). Isso pode ter relação com a exportação, proporcionalmente, maior de K nos grãos da soja em comparação com milho.

Os níveis críticos de P e K no solo, para cada cultura e para o sistema como um todo, oferecem um conjunto de informações importantes para a definição da quantidade de fertilizantes a serem usados no cultivo de grãos. Especificamente em ambientes de produção considerados de alta fertilidade, a definição dos níveis críticos é dificultada pela falta de resposta, ou pela resposta de pouca intensidade das culturas à aplicação de fertilizantes. Outro fator complicador para o estabelecimento do nível crítico do nutriente nesses sistemas é o caráter oxidico dos Latossolos argilosos estudados, pois em função do elevado poder tampão de P, o fator capacidade de P é capaz de manter constante o teor de P disponível por certo período de tempo. Desse modo, há pouca variação dos teores de P disponíveis em curto prazo, quando se aduba ou não, em uma ou duas safras. As características das culturas, também, são bastante divergentes, pois a soja se mostrou menos responsiva ao incremento das quantidades de adubos fornecidas (Tabelas 1 e 2), quando comparada à resposta do milho (SCHLINDWEIN; BORTOLON; GIANELLO, 2011).

Outro fator importante é que as adubações devem ser dimensionadas de modo a preservar a alta fertilidade do solo, inclusive, na época de maior demanda nutricional das culturas, isto é, no

florescimento. A amostragem dos solos no presente trabalho, realizada por ocasião do florescimento, evidenciou que teores mais elevados devem ser mantidos ao longo do ciclo, quando se visa à maior produtividade. Principalmente no caso do K, verificou-se que a disponibilidade é mais sujeita à rápida depleção nessa fase de desenvolvimento por causa da elevada capacidade de absorção da soja e milho.

Como são muitos fatores inter-relacionados, a definição de níveis críticos no ambiente estudado é dificultada. Espera-se que a experimentação em campo e a utilização das novas ferramentas estatísticas possam auxiliar os pesquisadores na definição desses parâmetros tão importantes para a melhoria do manejo das culturas de grãos em ambientes de alto potencial produtivo.

4 CONCLUSÃO

Os níveis críticos de P e K no solo para o cultivo de milho e soja variam conforme os diferentes procedimentos e critérios utilizados da sua estimativa.

À época do florescimento do milho, os níveis críticos de P no solo (Mehlich-1) situam-se entre 15 e 18 mg dm⁻³, e para o K entre 66 e 113 mg dm⁻³. Os níveis críticos para a soja situam-se entre 10 e 14 mg dm⁻³ para o P e entre 77 e 110 mg dm⁻³ para o K. Quando se considera o sistema milho-soja, os níveis críticos ficam entre 15 e 17 mg dm⁻³ para o P e entre 60 e 116 mg dm⁻³ para o K.

A análise de agrupamento pode ser utilizada como ferramenta auxiliar no aprimoramento das estimativas de níveis críticos de nutrientes no solo.

**Critical levels of phosphorus and potassium in the soy-maize system
in Oxisol of constructed fertility**

ABSTRACT

Fertilization recommendations are based on soil analyses results in virtue of the relation existent between nutrient contents available in the soil and culture yield. The present work aimed to compare three criteria for determining the critical level nutrients in the soil and to measure the critical levels of P and K in the soil for cultivating maize and soy in high fertility production environments and high genetic potential cultivars. Experiment with and without application of nutrients were conducted, during three years, in two locations in Minas Gerais State, Brazil, in Unai and Nazareno. The yield data and the results of the soil analyses were used to calculate the critical levels of P and K by means of three procedures: according to Cate and Nelson; Vieira; and using hierarchical clustering analyses and Mitscherlich equation. According to the determination method, the critical levels of P and K extracted with Mehlich-1, for cultivating maize ranged from 15 to 18 mg dm⁻³ for P and from 66 to 113 mg dm⁻³ for K. For soy, the critical levels ranged from 10 to 14 mg dm⁻³ for P and from 77 to 110 mg dm⁻³ for K. Considering the soy-maize system, the critical levels for P were situated between 15 and 17 mg dm⁻³ and between 60 mg dm⁻³ and 133 mg dm⁻³ for K. The hierarchical clustering analyses may be used as an auxiliary tool for improving the estimation of soil nutrient critical levels.

Keywords: System fertilization. No tillage. Grain production. High yield.

REFERÊNCIAS

ALVES, V. M. C. et al. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa-MG: CFSEMG, 1999. p. 314-316.

BERNARDI, A.C.C. et al. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

BORKERT, C.M. et al. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo álico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 11, p. 1119-1129, 1997.

CALONEGO, J. C. et al. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-781, 2012.

CANTARUTTI, R. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 770-850.

CATE JUNIOR, R. B.; NELSON, L. A. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. **Soil Science Society of America Journal Procedure**, Raleigh, v. 35, jul., p. 658-660, 1971.

CIB, CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. 2004. **Guia do Milho: Tecnologia do campo à mesa**. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/guia_do_milho_CIB.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2014.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Adubação potássica em cultivos sucessivos de milho e feijão sob irrigação. In: EMBRAPA/CNPMS (Ed.). **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1992-1993**. Sete Lagoas: EMBRAPA CNPMS, v. 6, 1994. p. 38-40.

CUBILLA, M. M. et al. Calibração visando à fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1463-1474, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras v. 35, n. 6, p.1039-1042, 2011.

FERREIRA, D.F. **Estatística multivariada**. Lavras, MG: UFLA, 2008. 662 p.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1549-1561, 2008.

FRANDOLOSO, J. F. et al. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 5, p. 686-694, 2010.

FRANCISCO, E. A. B.; CAMARA, G. M. S. Desafios atuais para o aumento da produtividade da soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 143, set, p. 11-16, 2013. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/3FD8739C10AC786083257BF80046F586/\\$FILE/Page11-16-143.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/3FD8739C10AC786083257BF80046F586/$FILE/Page11-16-143.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos da Estação UNAI - MG (OMM: 83428)**. 2014. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: 17 set. 2014.

KARLEN, D. L.; FLANNERY, R. L.; SANDLER, E. J. Aerial accumulation and Partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 2, p. 232-242, 1988.

LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. Apresentação dos resultados das análises de solos In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa-MG: CFSEMG, 1999. p. 21-24.

MITSCHERLICH, E. H. A.; BEHRENS, W. U. Zur Formulierung des Ertragsgesetzes. **Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde**, v. 15, n. 2, p. 94-101, 1930.

NOVAIS, R. F. Soja. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa-MG: CFSEMG, 1999. p. 323-324.

PETTER, F. A. et al. Productivity and Yield Components of Soybeans under Dose and Potassium Application Period in PiauÍ Savannah. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 4, n. 8, 2012.

RESENDE, A. V. et al. Fertilidade do Solo e Manejo da Adubação NPK para Alta Produtividade de Milho no Brasil Central. **Circular Técnica**, Sete Lagoas, v. 181, dez, 2012.

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

RIQUELME, U. F. B. et al. Calibração visando à adubação potássica para as culturas da soja, trigo e milho sob sistema plantio direto no Paraguai. **Ambiência**, Guarapuava, v. 9 n. 3, p. 505 – 518, 2013.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 103, set, p. 1-20, 2003. Disponível em:
<[http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/DE02520B8765B8D683257AA0003C46A6/\\$FILE/Encarte103.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/DE02520B8765B8D683257AA0003C46A6/$FILE/Encarte103.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2014.

RODRIGUES, M. A. C. et al. Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 127–133, 2014.

SAMANIEGO, R.; FERREIRA, A. O.; AMADO, T. J. C. Evolução temporal do fósforo e potássio no solo sob sistema plantio direto. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 5, p. 47- 53, 2011.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

SCHERER, E. E. Níveis críticos de potássio para a soja em Latossolo húmico de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 1, p. 57-62, 1998.

SCHLINDWEIN, J. A.; BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de extração de potássio em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 5, p. 1669-1677, 2011.

SILVA, C.S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: Yamada, T.; Abdalla, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, SP: POTAFOS, 2004. p. 157-200.

VIEIRA, R. C. B. et al. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 188-198, 2013.

WENDLING, A. et al. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n. 5, p. 1929-1939, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICES A - TABELAS

Tabela 1 Resumo das análises de variância para produtividade de grãos de soja e milho e teores de fósforo e potássio no solo em Unai-MG, anos agrícolas 2010/11, 2011/12 e 2012/13

Fonte de variação	GL	Quadro Médio												
		2010/11				2011/12				2012/13				
		Grãos	P	K	solo	Grãos	P	K	solo	Grãos	P	K	solo	
Bloco	2	132209 ^{ns}	132 ^{ns}	1344 ^{ns}	163137 ^{ns}	530405 ^{ns}	69 ^{ns}	33 ^{ns}	163137 ^{ns}	69 ^{ns}	33 ^{ns}	163137 ^{ns}	387 ^{ns}	84 ^{ns}
Semeadura (P)	3	86581 ^{ns}	238 ^{ns}	465 ^{ns}	295303 ^{ns}	12520388*	430 ^{ns}	205*	295303 ^{ns}	430 ^{ns}	205*	295303 ^{ns}	1065*	914 ^{ns}
Erro 1	6	58828	117	391	65605	670535	115	26	65605	115	26	65605	164	1044
Cobertura (C)	3	27803 ^{ns}	38 ^{ns}	2953**	5713 ^{ns}	1748647*	214*	613**	5713 ^{ns}	214*	613**	5713 ^{ns}	283 ^{ns}	7486**
P * C	9	53007 ^{ns}	32 ^{ns}	123 ^{ns}	40423 ^{ns}	149333 ^{ns}	106 ^{ns}	22 ^{ns}	40423 ^{ns}	106 ^{ns}	22 ^{ns}	40423 ^{ns}	366**	490 ^{ns}
Erro 2	24	37095	63	166	47470	372952	68	70	47470	68	70	47470	112	514
Total	47													
CV1(%)		7,00	50,73	24,31	7,35	6,95	58	7,76	7,35	58	7,76	7,35	45,73	23,39
CV2(%)		5,56	37,26	15,86	6,25	5,18	44	12,85	6,25	44	12,85	6,25	37,76	16,42
Média Geral		3466	21,30	81,35	3485	11779	18	65,30	3485	18	65,30	3485	28,03	138,12
Unidade de medida		kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹

Tabela 2 Resumo das análises de variância para produtividade de grãos de soja e milho e teores de fósforo e potássio no solo em Nazareno-MG, anos agrícolas 2010/11, 2011/12 e 2012/13

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio														
		2010/11						2011/12						2012/13		
		Grãos		Milho		P		K		Grãos		soja		P		K
Bloco	2	58460 ^{ns}	27 ^{ns}	683 ^{ns}	242261 ^{ns}	7 ^{ns}	176 ^{ns}	41428 ^{ns}	2.64 ^{ns}	105 ^{ns}	105 ^{ns}	2.64 ^{ns}	105 ^{ns}	105 ^{ns}	105 ^{ns}	105 ^{ns}
Semeadura (P)	3	4270982 ^{**}	16 ^{ns}	25 ^{ns}	703281 ^{ns}	97 [*]	553 ^{ns}	12169499 ^{**}	43 [*]	3298 ^{**}	3298 ^{**}	43 [*]	3298 ^{**}	3298 ^{**}	3298 ^{**}	3298 ^{**}
Erro 1	6	218248	24	170	150989	16	267	602909	7	153	153	7	153	153	153	153
Cobertura (C)	3	35238355 ^{**}	20 ^{ns}	545 [*]	590721 ^{**}	24 ^{ns}	3117 ^{**}	22572385 ^{**}	18 ^{ns}	65 ^{ns}	65 ^{ns}	18 ^{ns}	65 ^{ns}	65 ^{ns}	65 ^{ns}	65 ^{ns}
P * C	9	370121 ^{ns}	11 ^{ns}	134 ^{ns}	37654 ^{ns}	8 ^{ns}	118 ^{ns}	734884 ^{ns}	11 ^{ns}	232 ^{ns}	232 ^{ns}	11 ^{ns}	232 ^{ns}	232 ^{ns}	232 ^{ns}	232 ^{ns}
Erro 2	24	176918	17	155	79473	15	261	475799	8	144	144	8	144	144	144	144
Total	47															
CV1(%)		5,02	46,67	19,73	11,00	35,25	17,89	6,56	35,57	17,64	17,64	35,57	17,64	17,64	17,64	17,64
CV2(%)		4,52	38,54	18,85	7,98	33,64	17,66	5,83	37,80	17,12	17,12	37,80	17,12	17,12	17,12	17,12
Média Geral		9306	10,59	66,10	3533	11,58	91,42	11836	8,14	70,16	70,16	8,14	70,16	70,16	70,16	70,16
Unidade de medida		kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹