

LUIZ PAULO DORNELAS DOS SANTOS

**MODELAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E  
POTÁSSIO E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO PARA A CULTURA  
DA BATATA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade Federal  
de Viçosa - Câmpus Rio Paranaíba**

T

S237m  
2016 Santos, Luiz Paulo Dornelas dos, 1991-  
Modelagem da recomendação de nitrogênio, fósforo e  
potássio e métodos de aplicação de fósforo para a cultura da  
batata / Luiz Paulo Dornelas dos Santos. – Rio Paranaíba, MG,  
2016.  
vi,36f : il. ; 29 cm.

Orientador: Leonardo Angelo de Aquino.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. *Solanum tuberosum* L.. 2. Balanço nutricional.  
3. Fosfatagem. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Fitotecnia. Mestrado em Agronomia-Produção  
Vegetal (campus CRP). II. Título.

635.21

LUIZ PAULO DORNELAS DOS SANTOS

**MODELAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E  
POTÁSSIO E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO PARA A CULTURA  
DA BATATA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADO: 22 de julho de 2016.

---

Ph D. Roberto Ferreira Novais  
(Co-orientador)

---

D. Sc. André Mundstock Xavier de Carvalho  
(Co-orientador)

---

D. Sc. Junia Maria Clemente

---

D. Sc. Leonardo Angelo de Aquino  
(Orientador)

*Aos meus pais e irmã, José dos Reis Pereira dos Santos, Sônia Aparecida Dornelas dos Santos e Mariana Dornelas dos Santos, por serem minha força e inspiração.  
À minha namorada, Ruany Martins, pelo carinho, amor e apoio incondicional.  
DEDICO.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me concedido o dom da vida, tranquilidade e paciência nos momentos difíceis, e por me iluminar em todas as minhas indecisões.

À Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba, em particular, aos professores da Pós-Graduação em Agronomia, os quais me incentivaram e contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal.

À CAPES pela bolsa concedida durante a realização do curso, CNPq e Fapemig pelo auxílio financeiro na condução dos trabalhos.

Ao IPACER – Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado, nas pessoas de Rosiane Aquino, Leonardo Aquino e Marcelo Reis, pela concessão da área experimental e infraestrutura de pesquisa.

Aos meus familiares pelo apoio, carinho e pelas bênçãos que derramam em mim todos os dias, independente da distância que estamos. Com vocês compartilho esta conquista.

Ao professor/orientador Leonardo Angelo de Aquino pela oportunidade de poder ingressar em seu grupo de pesquisa, pela paciência, incentivo, compreensão e transmissão de conhecimentos que contribuíram para concretização deste trabalho e para minha vida profissional e pessoal. Seus puxões de orelha, conselhos e diretrizes ensinaram, moldaram e incentivaram a minha formação.

Aos professores, Roberto Ferreira de Novais e André Mundstock Xavier de Carvalho pela atenção e auxílio durante a condução e conclusão deste trabalho. São profissionais que com muita certeza fazem de seus alunos os melhores mestres.

À professora e amiga D. Sc. Junia Maria Clemente pela participação na banca de defesa, e sugestões que auxiliaram no aprimoramento deste trabalho, além das várias horas de laboratório.

À todos meus amigos, em especial ao Roque, John e Vítor. São pessoas fantásticas com as quais aprendi muito em todo o tempo de UFV. Foram várias conquistas juntos e comemoradas e muito trabalho realizado.

Aos membros do Grupo de Pesquisa SINP, que sempre me ajudaram na condução dos experimentos. São eles: Felipe Augusto, Paulo Otávio, Vítor, Luiz Dianin, Luiz Otávio, Guilherme, Talita, Thaisa, Iandra, Priscila Aquino, Natália Assunção, Marcelo Senoski e a todos os demais parceiros nessa conquista.

A todos que contribuíram de alguma forma para conclusão deste trabalho.

Meus Sinceros Agradecimentos!

## SUMÁRIO

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	3
<b>CAPÍTULO I - MODELAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PARA A CULTURA DA BATATA – FERTICALC BATATA .....</b>	<b>5</b>
RESUMO .....	5
1. INTRODUÇÃO .....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	7
2.1. Desenvolvimento da Modelagem do FERTICALC Batata .....	7
2.2. Modelo Requerimento – REQ .....	7
2.2.1. Obtenção de dados para Modelagem da Demanda Nutricional .....	7
2.2.2. Modelagem do Requerimento Nutricional .....	8
2.3. Modelo Suprimento – SUP .....	10
2.4. Recomendação de N, P e K para a cultura da batata .....	11
2.5. Análise de sensibilidade .....	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	12
4. CONCLUSÕES .....	14
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14
<b>CAPÍTULO II - MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO PARA O CULTIVO DE BATATA .....</b>	<b>20</b>
RESUMO .....	20
1. INTRODUÇÃO .....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
4. CONCLUSÕES .....	28
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28
<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>36</b>

## RESUMO

SANTOS, Luiz Paulo Dornelas, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2016. **Modelagem da recomendação de nitrogênio, fósforo e potássio e métodos de aplicação de fósforo para a cultura da batata.** Orientador: Leonardo Angelo de Aquino. Co-orientadores: Roberto Ferreira Novais e André Mundstock Xavier de Carvalho.

As recomendações oficiais para fertilização da cultura da batata necessitam de melhorias no manejo da adubação, como a inclusão das influências de variedades e da produtividade esperada sobre a demanda de nutrientes. Além disso, a fosfatagem tem sido amplamente utilizada em olerícolas no Brasil. No entanto, há carência de informações quanto à eficácia da fosfatagem *versus* a adubação localizada nesse grupo de plantas. Assim, um experimento foi realizado com o objetivo de estimar dados de extração e de partição de nutrientes visando propor um sistema de recomendação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) para a cultura da batata (FERTICALC Batata). Para as variedades Ágata, Atlantic, FL2215, FL2027, FL1867, FL2221, Asterix, BRSIPR Bel, Cupido, Nicolet, Acumulator, Verdi e Taurus foram determinados o teor de matéria seca, o coeficiente de utilização biológica dos nutrientes (CUB) e o índice de colheita (IC). As taxas de recuperação de nutrientes pela planta e para modelagem de suprimento de nutrientes pelo solo foram obtidos a partir de dados da literatura. Outros dois experimentos foram propostos para avaliar aspectos produtivos e nutricionais da batateira submetida a doses e métodos de aplicação de P. Nesses os tratamentos consistiram de duas doses de P (300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) combinadas com cinco métodos de aplicação de P, os quais consistiram de frações da dose de P aplicadas à lanço ou localizadas no sulco de plantio. Os métodos de aplicação foram: 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100 (percentagem da dose distribuída a lanço / percentagem da dose localizada aplicada no sulco de plantio) e um tratamento controle sem P. Foi adotado o esquema fatorial (2 x 5) + 1 (duas doses x cinco métodos de aplicação, mais um tratamento sem P), no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. O FERTICALC Batata mostrou-se eficiente para recomendar nutrientes para a cultura e as simulações demonstraram que a produtividade, a finalidade de uso e as variedades influenciam as doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O recomendadas. A aplicação do fertilizante fosfatado localizado no sulco de plantio aumenta a produtividade, o acúmulo de P e as eficiências agrônômica e de recuperação do nutriente pela cultura.

## ABSTRACT

SANTOS, Luiz Paulo Dornelas, M. Sc., Federal University of Viçosa, July 2016. **Modeling of nitrogen recommendation, phosphorus and potassium and phosphorus application methods for the potato crop.** Advisor: Leonardo Angelo de Aquino. Co-advisors: Roberto Ferreira Novais and André Mundstock Xavier de Carvalho.

Official recommendations for potato crop fertilization need to be improved as the inclusion of the influences of varieties and the desired productivity on the demand for nutrients. In addition, the broadcast fertilization with phosphorus (P) has been widely used in Brazil in vegetable crops. However, there is lack of information about the broadcast fertilization versus localized in this group of plants. Thus, an experiment was conducted in order to obtain data extraction and nutrient partitioning to propose a nitrogen recommendation system (N), phosphorus (P) and potassium (K) for the potato (FERTICALC Potato). For Ágata varieties Atlantic, FL2215, FL2027, FL1867, FL2221, Asterix, BRSIPR Bel, Cupido, Nicolet, Acumulator, Verdi and Taurus were determined the dry matter content, the coefficient of biological utilization of nutrients (CUB) and the index collection (IC). Information amounts of nutrients by the plant recovery rates and to supply nutrients by soil modeling were obtained from the literature. Two other experiments were proposed to assess production and nutritional aspects of potato subjected to doses and P. methods of applying these treatments consisted of two doses of P (300 and 600 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) combined with five application methods P, which consisted of P dose fractions applied to stretch or located in the planting furrow. The application methods were: 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100 (percentage of the dose distributed to haul / percentage of the applied dose located in the furrow), and a control treatment without P. was adopted factorial (2 x 5) + 1 (two doses x five application methods, plus a treatment without P), in a randomized block design with four replications. The FERTICALC Potato was efficient to recommend nutrients for culture and demonstrated simulations that productivity, the purpose of use and varieties influence doses of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O recommended. The application of phosphate fertilizer located in the planting furrow increases productivity, the accumulation of P and agronomic efficiency and nutrient recovery by the potato.

## INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum*) é mundialmente uma das olerícolas de maior importância econômica, pois é produzida e consumida em diversos países. No Brasil em 2015 a área plantada foi de 125 mil hectares e a produção 3,5 milhões de toneladas, com produtividade média de 28,0 t ha<sup>-1</sup> (IBGE 2016).

As olerícolas, dentre elas a batateira, de forma geral apresentam alta demanda de nutrientes. O fósforo (P) é um dos que mais influenciam a produtividade e qualidade da batata (Sandaña & Kalazich, 2015; Fernandes et al., 2015). Esse nutriente participa de vários processos metabólicos, como fotossíntese, respiração, síntese de ácidos nucleicos, amido, síntese e estabilidade de membranas, ativação e desativação de enzimas, metabolismo de carboidratos e outros que envolvam transferência de energia (Silva et al., 2010).

Na batateira, o P aumenta o crescimento inicial, estimula a tuberização e o tamanho dos tubérculos (Hopkins et al., 2010). Apesar da importância desse nutriente para a cultura, seu aproveitamento muitas vezes é baixo. Isso se deve às características da batateira que a tornam pouco eficiente no aproveitamento do P. Dentre essas destacam-se o sistema radicular superficial, a reduzida relação raiz/parte aérea, a baixa eficiência em absorver o P em solos com baixa disponibilidade do nutriente, elevado potencial de produção e ciclo curto (Fernandes et al., 2015).

Ainda sim, muitas recomendações de nutrientes são feitas com base em informações disponíveis em tabelas de recomendação estaduais. No entanto, algumas insuficiências podem ser notadas no que diz respeito a este método de recomendação. Regionalização das recomendações, falta de atualização em relação à novas variedades que surgem no mercado, bem como, a não representatividade dos níveis de rendimentos dessas, que de forma geral, são maiores que os obtidos a partir das recomendações e materiais antigos, são alguns pontos negativos desse sistema de recomendação (Oliveira et al., 2007; Santos et al., 2008; Silva et al., 2009).

Para resolver esses problemas e avançar na cadeia produtiva de forma geral, partindo de um uso mais racional da recomendação de fertilizantes bem como da manutenção e aumento das produtividades das olerícolas, algumas recomendações estão sendo feitas a partir do método de balanço de nutrientes (Haefele et al., 2003; Silva et al., 2009). Este sistema de recomendação permite a estimativa de demanda de nutrientes pela cultura de acordo com o rendimento esperado e o fornecimento de nutrientes pelo solo e resíduos culturais otimizando o uso dos fertilizantes nos cultivos.

Outra questão com relação à otimização do uso de fertilizantes é a forma como eles serão aplicados. A técnica de fosfatagem, por exemplo, tem sido largamente utilizada no Brasil. Porém há poucos trabalhos que comparam sua eficiência em relação à adubação localizada, principalmente com enfoque da adubação em olerícolas. No entanto, a adubação a lanço pode ser menos eficiente, uma vez que favorece o contato do fertilizante fosfatado com o solo. Isso favorece a fixação do P, e assim, reduz a disponibilidade desse para as plantas (Ceretta et al., 2007).

Estudos que comparam a adubação fosfatada em área total e a localizada têm sido frequentes em culturas extensivas (Resende et al., 2006; Carneiro et al., 2008; Oliveira Júnior, 2008; Santos et al., 2008; Franzini et. al., 2009) e escassos em culturas olerícolas. A adubação fosfatada requer, em função da fixação do P no solo, em especial nos argilosos, a localização em profundidade explorável pelo sistema radicular da cultura. Aumentar a eficiência nas adubações fosfatadas é importante para reduzir as grandes quantidades de P aplicadas no solo (Miyazawa et al., 2011) e os custos de produção, uma vez que o Brasil importa cerca de 50% dos fertilizantes fosfatados que utiliza (Saab & Paula, 2008).

Assim, no capítulo I, buscou-se modelar a demanda e o requerimento de N, P e K da cultura da batata e desenvolver um modelo de recomendação desses nutrientes para a cultura com base no princípio do balanço nutricional. No capítulo II, objetivou-se estudar métodos de aplicação de fosforo (à lanço e/ou localizado) sobre a produtividade e índices de eficiência de adubação fosfatada na cultura da batata.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carneiro LF, Furtini Neto AE, Resende AVD, Curi N, Santos JZL, Lago FJD. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. *Ciênc Agrotec.* 2008;32:1133-41.
- Ceretta CA, Silva LS, Pavinato A. Manejo da adubação. In Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL. *Fertilidade do Solo.* Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. 1017p.
- Fernandes AM, Soratto RP, Pilon C. Soil phosphorus increases dry matter and nutrient accumulation and allocation in potato cultivars. *Am J Potato Res.* 2015;92:117-127.
- Franzini VI, Muraoka T, Coraspe-León HM, Mendes FL. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. *Pesq Agropec Bras.* 2009;44:1092-1099.
- Haefele SM, Wopereis MCS, Ndiaye MK, Barro SE, Ouldisselmou M. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. *Field Crop Res.* 2003;80:19-32.
- Hopkins BG, Ellsworth JW, Shiffler AK, Bowen TR, Cook AG. Pre-plant versus in-season application of phosphorus fertilizer for Russet Burbank potato grown in calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 2010;33:1026–1039.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola. IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>. Acesso em: 18 julho de 2016.
- Miyazawa K, Takeda M, Murayama T, Watanabe K. Combining pre-transplanting phosphorus application and green manure incorporation: a trial for reducing fertilizer input. *Soil Sci Plant Nutr.* 2011;57:128-37.
- Oliveira FHT, Novais RF, Alvarez VVH, Souza AP, Neves JCL, Medeiros JS. Doses de nitrogênio, fósforo e potássio recomendadas pelo Ferticalc<sup>®</sup> Bananeira e por tabelas de recomendação de adubação. *R Bras Ci Solo.* 2007;2:111-6.
- Oliveira Júnior A, Prochnow LI, Klepker D. Eficiência agrônômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. *Pesq Agropec Bras.* 2008;43:623-31.
- Resende AV, Neto AEF, Alves VMC, Muniz JA, Curi N, Faquin V, Kimpara DI, Santos JZL, Carneiro LF. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. *R. Bras. Ci. Solo.* 2006;30:453-466.

- Saab AA, Paula RDA. O mercado de fertilizantes no Brasil: diagnósticos e propostas de políticas. R Polit Agric. 2008;17;5-24.
- Sandaña P, Kalazich J. Attainable CO<sub>2</sub> Emission of ware potatoes under high yield conditions in Southern Chile. Am J Potato Res. 2015;92:318-325.
- Santos FC, Neves JCL, Novais RF, Alvarez VH, Sedyama CS. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. R Bras Ci Solo. 2008;32:1661-74.
- Silva AP, Alvarez V VH, Souza AP, Neves JCL, Novais RF, Dantas JP. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi – FERTICALC-Abacaxi. R Bras Ci Solo. 2009;33:1269-80.
- Silva L, Marchiori PER, Maciel CP, Machado EC, Ribeiro RV. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. Pesq. Agropec. Bras. 2010;45:965-972.

# **CAPÍTULO I - MODELAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PARA A CULTURA DA BATATA – FERTICALC BATATA**

## **RESUMO**

As recomendações oficiais para fertilização da cultura da batata carecem de melhorias como a inclusão das influências de variedades e da produtividade desejada sobre a demanda de nutrientes. A estimativa da demanda de nutrientes via balanço nutricional visa otimizar o uso dos fertilizantes nos cultivos. Assim, objetivou-se propor um sistema de recomendação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) para a cultura da batata (FERTICALC Batata) que englobe o suprimento de nutrientes pelos resíduos culturais, a produtividade esperada, os atributos químicos do solo e a finalidade de produção dos tubérculos (indústria ou mesa). Os dados necessários à modelagem do requerimento nutricional foram obtidos realizando um experimento em área de cultivo de batata em Serra do Salitre - MG, para determinar o teor de matéria seca, o coeficiente de utilização biológica dos nutrientes (CUB) e o índice de colheita (IC) das cultivares, Ágata, Atlantic, FL2215, FL2027, FL1867, FL2221, Asterix, BRSIPR Bel, Cupido, Nicolet, Acumulator, Verdi e Taurus. As taxas de recuperação de nutrientes pela planta e para modelagem de suprimento de nutrientes pelo solo foram obtidos a partir de dados da literatura. As simulações demonstraram que a produtividade, a finalidade de uso e as variedades influenciam as doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O recomendadas. O FERTICALC Batata mostrou-se eficiente para recomendar nutrientes para a cultura. A recomendação com variação contínua das doses em função dos atributos químicos do solo e da produtividade esperada de tubérculos é a principal vantagem desse modelo.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L.; balanço nutricional; produtividade

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os fatores de maior importância para obtenção de elevada produtividade da batateira destaca-se a nutrição mineral (Luz et al., 2014; Kawakami, 2015; Fernandes et al., 2015). A baixa produtividade da cultura da batata frequentemente está relacionada à limitações nutricionais (Queiroz et al., 2013). Para a evolução dos programas de adubação é fundamental conhecer a extração e a partição de nutrientes de acordo com a produtividade de tubérculos, bem como, a eficiência da planta em recuperar nutrientes aplicados via fertilizações (Fernandes et al., 2011; Dezordi et al., 2015). No Brasil, as recomendações de fertilizantes para a cultura da batata não estão convenientemente atualizadas, frente à inovação de variedades e níveis de produtividades alcançados. Com isso, os agricultores frequentemente utilizam doses fixas de nutrientes, sem considerar a produtividade esperada, a disponibilidade e a capacidade tampão de nutrientes no solo e a eficiência da planta em absorvê-los (Santos et al., 2008; Silva et al., 2009; Singh et al., 2012).

A recomendação de nutrientes via balanço nutricional visa otimizar o uso de fertilizantes nos cultivos. Essa recomendação consiste em suprir a diferença entre a demanda da planta e a capacidade de suprimento de nutrientes pelo solo e resíduos culturais. A recomendação de nutrientes via balanço nutricional apresenta base teórica mais consistente, que permite recomendações mais abrangentes, sem restrições regionais e passíveis de contínuo aperfeiçoamento, diferente das tabelas de recomendação (Oliveira et al., 2007; Santos et al., 2008). Em sistemas de balanço de nutrientes, o elo entre as quantidades a serem aplicadas e a quantidade de nutrientes requeridos pela cultura é feito com base na taxa de recuperação de nutrientes pela cultura (Santos et al., 2008).

Na elaboração do sistema de balanço nutricional o conhecimento sobre a demanda de nutrientes da cultura torna-se fundamental. Informações de matéria seca ( $tMS$ ), coeficiente de utilização biológica ( $CUB$ ), índice de colheita ( $IC$ ) e taxa de recuperação pela planta dos nutrientes aplicados no solo ( $TRpl$ ) são importantes para o cálculo da demanda nutricional. O  $CUB$  pode ser definido como a quantidade de matéria seca produzida por unidade do nutriente que a planta acumula (Fageria, 1998). O  $IC$  representa a fração de matéria seca ou nutriente no órgão comercial da cultura (tubérculos, no caso da cultura da batata) em relação a toda matéria seca da planta. A  $TRpl$  indica a porcentagem do nutriente aplicado ao solo que a planta recupera (Fageria, 1998; Dezordi et al., 2015; Deus et al., 2015).

Informações necessárias para calcular o suprimento nutricional representam o ponto crítico para utilização do modelo de balanço nutricional devido à carência de dados, os quais podem ser obtidos com base em trabalhos disponíveis na literatura. Dentre esses, destacam-se a eficiência de recuperação dos extratores utilizados nas análises de solo e o acúmulo e a dinâmica de mineralização e liberação de nutrientes pelos resíduos culturais (Gama-Rodrigues et al., 2007; Marcelo et al., 2012a,b).

Diante do exposto, objetivou-se modelar a demanda e o requerimento de N, P e K pela cultura da batata e desenvolver um modelo de recomendação desses nutrientes para a cultura (FERTICALC Batata) com base no princípio do balanço nutricional.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Desenvolvimento da Modelagem do FERTICALC Batata**

A modelagem para recomendação de nutrientes para a cultura da Batata (FERTICALC Batata) foi dividida em dois modelos: requerimento nutricional (REQ) e suprimento de nutrientes pelo solo (SUP). Para estimar o requerimento nutricional levou-se em consideração a demanda da cultura e a taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ( $TR_{pl}$ ). Para calcular a demanda da cultura, o modelo REQ considerou a produtividade esperada de tubérculos ( $prod_{Tub}$ ), o teor de matéria seca ( $tMS_{Tub}$ ), o CUB dos nutrientes nos tubérculos ( $cubNu_i_{Tub}$ ), e o IC ( $icNu_i$ ). O modelo SUP considerou o fornecimento de nutrientes pelo solo e, pelos resíduos culturais.

### **2.2. Modelo Requerimento – REQ**

#### **2.2.1. Obtenção de dados para Modelagem da Demanda Nutricional**

As informações relativas aos  $tMS$ , CUB e IC dos nutrientes foram obtidas por meio de experimento realizado em área de cultivo de batata em Serra do Salitre - MG. O experimento foi realizado entre junho e outubro de 2014, em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa. No experimento determinaram-se os  $tMS$ , CUBs e

ICs de N, P e K para treze cultivares. Essas foram agrupadas em relação à finalidade de produção: consumo *in natura* (mesa) ou processamento industrial (indústria) de acordo com o teor de matéria seca. As cultivares Ágata e Cupido, com menos de 20% de matéria seca são apropriadas para mesa. Atlantic, FL2215, FL2027, FL1867, FL2221, Asterix, BRSIPR Bel, Nicolet, Accumulator, Verdi e Taurus, apresentaram *tMS\_Tub* acima de 20%, o que é requerido pelas indústrias de processamento. Tubérculos que apresentam altos teores de matéria seca melhoram o rendimento industrial e reduzem a absorção de gordura durante o processo de fritura (Lulai & Orr, 1979; Pereira et al., 2007).

Para determinar o CUB e o IC de N, P e K foram coletadas amostras de parte aérea e de tubérculos, em quatro metros de linha, que foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C por 72 h. Após secagem, determinaram-se a matéria seca de tubérculos e de parte aérea e a produtividade de tubérculos. Uma amostra de tubérculos foi retirada para determinação do *tMS* e dos nutrientes acumulados. O acúmulo de nutrientes foi determinado pelo produto da matéria seca e teores de N, P e K em cada parte da planta (parte aérea e tubérculos). Os teores foram determinados de acordo com métodos descritos em Malavolta et al. (1997).

O CUB foi calculado pela razão entre a MS produzida e a quantidade do nutriente acumulado no tubérculo. O IC dos nutrientes foi calculado pela razão entre o acúmulo de nutrientes nos tubérculos e a extração de nutrientes pela cultura. A *TRpl* para N, P e K foi obtida a partir de dados disponíveis na literatura por meio de estudos com resposta da batateira a doses de N, P e K.

### **2.2.2. Modelagem do Requerimento Nutricional**

Para estimar o requerimento nutricional, o modelo levou em consideração a demanda da cultura que foi calculada em função da produtividade desejada (*prodTub*), do teor de MS no tubérculo (*tMS\_Tub*) e da taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo (*TRpl*), conforme utilizado por Dezordi et al. (2015) para cultura de cenoura.

Para as *TRpl* os valores de N podem variar entre 50 e 70% (Júnior & Monnerat, 2001; Braun et al., 2011; Gao et al., 2015), porém nas simulações da modelagem proposta adotou-se o valor de 60%. Para o P, em ambos os tipos de finalidade da batateira, foi considerado o valor de 7% (Júnior & Monnerat, 2001; Fernandes, 2013).

Para o K, os valores de  $TRpl$  também podem variar de 50 a 70% (Fernandes e Soratto, 2012), contudo foi considerado o valor de 70%.

Esses valores de  $TRpl$  permitem aos usuários do FERTICALC Batata a escolha de um determinado valor a depender das suas condições de cultivo. Para o N e K, por exemplo, altas doses, fontes mais propensas a perdas e aplicações em menor número de vezes reduzem a  $TRpl$  (Gao et al., 2015; Mota et al., 2015). No caso do P, a  $TRpl$  pode variar com o tipo de solo, no qual os maiores valores são encontrados em solos arenosos, devido à menor fixação aos colóides minerais em comparação aos argilosos (Santos et al., 2008; Muner et al., 2011; Teixeira et al., 2015).

A demanda nutricional ( $demNu_i$ ) foi calculada pela razão entre a exportação e o índice de colheita ( $icNu_i$ ) de cada nutriente. A exportação do nutriente ( $expNu_i$ ), por sua vez, foi calculada pelo produto entre produtividade desejada, teor de matéria seca nos tubérculos ( $tMS\_Tub$ ) e o inverso do CUB de cada nutriente nos tubérculos ( $cubNu_i\_Tub$ ). O requerimento de nutrientes ( $reqNu_i$ ) foi calculado pela razão entre a DEM e a  $TRpl$ . Assim, a  $expNu_i$ , a  $demNu_i$  e o  $reqNu_i$  foram estimados de acordo com as seguintes equações abaixo utilizadas por Dezordi et al. (2015) para estimar a demanda nutricional da cultura da cenoura.

$$expNu_i = 10 \cdot \frac{prodTub \cdot tMS\_Tub}{cubNu_i\_Tub}$$

$$demNu_i = \frac{(100 \cdot expNu_i)}{icNu_i}$$

$$reqNu_i = \frac{demNu_i}{TRpl}$$

Em que:

$expNu_i$ : exportação do nutriente ( $kg\ ha^{-1}$ );

$prodTub$ : produtividade desejada de tubérculos ( $Mg\ ha^{-1}$ );

$tMS\_Tub$ : teor de matéria seca nos tubérculos (%);

$cubNu_i\_Tub$ : coeficiente de utilização biológica do nutriente no tubérculo ( $kg\ kg^{-1}$ );

$demNu_i$ : demanda do nutriente ( $kg\ ha^{-1}$ );

$icNu_i$ : índice de colheita do nutriente (%);

$reqNu_i$ : requerimento do nutriente ( $kg\ ha^{-1}$ );

$TRpl$ : taxa de recuperação do nutriente aplicado pela planta (%).

### 2.3. Modelo Suprimento – SUP

O modelo SUP foi desenvolvido somente para N, P e K. Para estimar o suprimento de nutriente ( $supNu_i$ ) o modelo considerou os nutrientes disponíveis no solo e nos resíduos culturais.

Para estimar o suprimento de nutrientes pelo solo, levaram-se em consideração os resultados da análise química do solo utilizado no experimento, cujos atributos químicos foram: pH(água) = 5,2; matéria orgânica = 3,5 dag kg<sup>-1</sup>; P-rem = 15 mg L<sup>-1</sup>; fósforo (P) = 16,4 mg dm<sup>-3</sup>; potássio (K) = 57 mg dm<sup>-3</sup>, a eficiência de recuperação dos nutrientes pelos extratores utilizados nas análises e a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura da batata, conforme a seguinte equação:

$$supNu_i = \frac{X_{análise} \cdot PER}{erNu_i\_Ext \cdot 10}$$

Em que:

$supNu_i$ : suprimento do nutriente X pelo solo (kg ha<sup>-1</sup>);

$X_{análise}$ : teor do nutriente X na análise química (mg dm<sup>-3</sup>);

PER: profundidade efetiva do sistema radicular (cm);

$erNu_i\_Ext$ : eficiência de recuperação do nutriente pelo extrator (mg dm<sup>-3</sup>/mg dm<sup>-3</sup>)

(Quadro 2).

Para estimar o suprimento de N pelo solo foi empregada a equação de cinética de mineralização da matéria orgânica dos solos brasileiros descrita por Carvalho et al. (2006), desenvolvidas segundo o modelo proposto por Stanford & Smith (1972).

$$supN\_Solo = (0,5 \cdot PER \cdot dSolo \cdot tMO\_Solo \cdot 1,48)e^{0,006t}$$

Em que:

$supN\_Solo$ : suprimento de N pelo solo (kg ha<sup>-1</sup>);

PER: profundidade efetiva das raízes (cm);

$dSolo$ : densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>);

$tMO\_Solo$ : teor de matéria orgânica no solo (dag kg<sup>-1</sup>);

t: tempo transcorrido entre o final do ciclo da cultura anterior e o final do ciclo da batateira (dias).

O suprimento de nutrientes pelos resíduos culturais ( $supNu_i\_Res$ ) foi estimado pelo modelo proposto por Wieder & Lang (1982), que descreve a variação do conteúdo

de nutrientes ou matéria seca (*mMS*) no material em decomposição em função do tempo decorrido ou ciclo da cultura.

$$frNu_i = contNu_i\_Res \cdot e^{-k_{0x} \cdot t}$$
$$supNu_i\_Res = contNu_i\_Res - frNu_i$$

Em que:

*frNu<sub>i</sub>*: fração remanescente do nutriente no material em decomposição depois de transcorrido o tempo *t* (kg ha<sup>-1</sup>);

*contNu<sub>i</sub>\_Res*: conteúdo do nutriente nos resíduos culturais (kg ha<sup>-1</sup>);

*k<sub>0x</sub>*: constante de decomposição do nutriente;

*t*: ciclo da cultura (dias);

*supNu<sub>i</sub>\_Res*: suprimento do nutriente X pelos resíduos culturais (kg ha<sup>-1</sup>).

O conteúdo de nutriente nos resíduos culturais no momento de implantação da cultura (*contNu<sub>i</sub>\_Res*) foi estimado pelo produto entre a quantidade de matéria seca de resíduos vegetais na área e o teor dos nutrientes nesses resíduos. As constantes de decomposição das principais culturas antecessoras para matéria seca, N, P e K estão descritas no quadro 3.

#### **2.4. Recomendação de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O para a cultura da batata**

A recomendação de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O foi gerada de acordo com o sistema de balanço nutricional. Assim, a recomendação consistiu da diferença entre o requerimento nutricional da cultura (*reqNu<sub>i</sub>*) e o suprimento de nutrientes do solo (*supNu<sub>i</sub>*). Contudo, para manter a sustentabilidade do solo a recomendação foi gerada de forma que a dose a ser aplicada não fosse inferior à quantidade exportada pela cultura.

#### **2.5. Análise de sensibilidade**

Para comparar a sensibilidade da modelagem com as recomendações de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O pela literatura, simulações foram geradas para as produtividades de 30, 40 e 50 Mg ha<sup>-1</sup> de tubérculos (Figura 1). Foram utilizadas médias das recomendações das cultivares com a finalidade de produção, para mesa e para a indústria, e as simulações foram realizadas em função do teor de MO do solo, P-Mehlich-1, K-Mehlich-1 e resíduos culturais. Para fins de cálculo, considerou-se que a batata cultivada apresentava 100 dias de ciclo e adotaram-se 20 cm como a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura.

Foi considerado na área de cultivo, para recomendação de P e K, a existência de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais de milho (matéria seca vegetativa - folhas e colmos) com 4,6; 0,2; 5,9 g kg<sup>-1</sup> de N, P, K na matéria seca, respectivamente (Marcelo et al., 2012a) e para recomendação de N, a existência de 5 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais de soja com 27,0; 2,9; 19,3 g kg<sup>-1</sup> de N, P e K, respectivamente (Kurihara et al., 2013).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As recomendações de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O geradas pelo sistema, em função da produtividade esperada, consistiram da diferença entre o requerimento da cultura (REQ) e o suprimento pelo solo (SUP) (Quadro 4). Deve-se ressaltar que, em muitas ocasiões, os solos cultivados podem possuir fertilidade elevada, podendo o suprimento de nutrientes pelo solo ser superior ao requerimento da cultura. Nestas condições, a recomendação de nutrientes deve ser gerada de modo a evitar o empobrecimento do solo ao longo dos cultivos, com base na aplicação da exportação dos nutrientes pela cultura (Deus et al., 2015; Dezordi et al., 2015). Isto possibilita a manutenção da fertilidade dos solos, devido à aplicação de, no mínimo, a quantidade de nutrientes exportada pela cultura corrigida pela taxa de recuperação da planta. Para a produtividade de 30 Mg ha<sup>-1</sup> a simulação de recomendação das doses de K<sub>2</sub>O evidencia que o suprimento via solo foi capaz de suprir a demanda da cultura (Quadro 4).

As simulações demonstraram que a produtividade, a finalidade de uso e as variedades influenciam as doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O recomendadas. Por exemplo, a cultivar Ágata apresentou as menores doses de recomendação de N para todas as produtividades avaliadas (Quadro 4). Isto pode ser explicado pelo fato desta apresentar alto valor de CUB, e assim ser mais eficiente na utilização do N. Os altos valores de CUB podem ser influenciados por fatores como, duração do ciclo e capacidade de translocação de fotoassimilados para os tubérculos para um mesmo acúmulo de nutrientes (Oliveira et al., 2016). Também o menor teor de matéria seca dessa cultivar pode explicar a menor demanda de nutrientes (Quadro 1) (Oliveira et al., 2016). Resultados semelhantes também demonstram que a cultivar Ágata foi a mais eficiente na utilização de nutrientes para produção de tubérculos (Fernandes & Soratto, 2013).

Plantas que apresentam maior eficiência na utilização de nutrientes são capazes de manter os processos de divisão e expansão celular, mesmo com baixos teores nos tecidos (Kavanova et al., 2006). Em cultivos de olerícolas, as diferenças de CUB entre variedades podem influenciar a demanda dos nutrientes e assim deve ser

considerado para melhor estimar a demanda dos nutrientes a serem aplicados (Fernandes & Soratto, 2013; Aquino et al., 2015). As simulações geradas pelo FERTICALC Batata consideram a variedade e a finalidade de uso e geram recomendações de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O variáveis com a produtividade desejada.

As doses de nutrientes recomendadas pela literatura são diferentes das geradas pelo FERTICALC Batata. Para fertilizações na cultura da batata, Fontes (1999) considera apenas a faixa de disponibilidade dos nutrientes no solo, sem julgar a produtividade esperada ou efeito da cultura anterior. Em relação ao N, a dose recomendada pela CFSEMG (1999), de 190 kg ha<sup>-1</sup>, não considera a variedade utilizada, o teor de matéria orgânica do solo ou a contribuição dos resíduos culturais. Em relação às recomendações de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, as doses recomendadas de 120 e 220 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, foram inferiores às geradas pelo FERTICALC Batata. Deve haver cuidado especial na reposição do K, devido a este ser extraído e exportado em grandes quantidades.

As diferenças encontradas entre as recomendações da literatura e as geradas pela simulação do FERTICALC Batata podem ser explicadas pela falta de atualização das tabelas de recomendação, as quais não consideram os fatores variedade, finalidade de uso, cultivo anterior e teor de MOS como já comentado (Oliveira et al., 2007; Santos et al., 2008; Silva et al., 2009).

Para ambas as finalidades (indústria e mesa), as doses recomendadas de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O pelo FERTICALC foram maiores que os sugeridos na recomendação de Fontes (1999), exceto para N, quando considerada a produtividade de 30 Mg ha<sup>-1</sup>. A recomendação de Fontes (1999) para esse nutriente é constante e não sofre variação em função de fontes de variação consideradas no FERTICALC como produtividade esperada e teor de matéria orgânica no solo, proveniente de resíduos de cultivos anteriores.

A modelagem de recomendação de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O proposta (FERTICALC Batata) tem a vantagem de poder ser aperfeiçoada com novos resultados de pesquisa, em especial no que diz respeito à taxa de recuperação pela planta dos nutrientes aplicados ao solo. Além disso, fornece recomendações de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O para as finalidades de produção indústria e mesa de acordo com a produtividade esperada.

#### 4. CONCLUSÃO

O FERTICALC Batata permite recomendar N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O para a cultura com variação contínua das doses em função dos atributos químicos do solo, da produtividade esperada de tubérculos e finalidade de uso da variedade.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquino RFBA, Assunção NS, Aquino LA, Aquino PM, Oliveira GA, Carvalho AMX. Nutrient demand by the carrot crop is influenced by the cultivar. R Bras Ci Solo. 2015;39:541-52.
- Braun H, Fontes PCR, Busato C, Cecon PR. Teor e exportação de macro e micronutrientes nos tubérculos de cultivares de batata em função do nitrogênio. Bragantia. 2011;70:50-7.
- Carvalho FT, Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Cantarutti RB, Bahia Filho AFC. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de NPK para a cultura do milho. R Ceres. 2006;53:211-23.
- Dezordi LR, Aquino LA, Novais RF, Aquino PM, Santos LPD. Nutrient recommendation model for carrot crop – Fertilcalc Carrot. R Bras Ci Solo. 2015;39:1714:22
- Deus JAL, Soares I, Neves JCL, Medeiros JF, Miranda FR. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. R Bras Ci Solo. 2015;39:498-511.
- Fageria NF. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. R Bras Eng Agríc e Amb. 1998;2:6-16.
- Fernandes AM, Soratto RP, Moreno LA, Evangelista RM. Qualidade de tubérculos frescos de cultivares de batata em função da nutrição fosfatada. Bragantia. 2015;74:102-109.
- Fernandes AM, Soratto RP, Silva BL. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - macronutrientes. R Bras Ci Solo. 2011;35:2039-2056.
- Fernandes AM, Soratto RP. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de batata. B Journal. 2013;29:91-100.
- Fernandes AM. Adubação fosfatada em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.) [tese]. Botucatu: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências Agrônômicas; 2013.

- Fernandes AM, Soratto RP. Nutrição mineral, calagem e adubação da batateira. Editora FEPAF; Itapetininga: ABBA, 2012. 121p.
- Fontes PCR. Sugestões de Adubação para hortaliças. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez V VH. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5nd ed. Viçosa: UFV; 1999. p.171-205.
- Gama-Rodrigues AC, Gama-Rodrigues EF, Brito EC. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região Noroeste Fluminense (RJ). R Bras Ci Solo. 2007;31:1421-8.
- Gao X, Li C, Zhang M, Wang R, Chen B. Controlled release urea improved the nitrogen use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) on silt loamy soil. Field Crops Research. 2015;181:60-8.
- Júnior RAR, Monnerat PH. Exportação de nutrientes nos tubérculos de batata em função de doses de sulfato de potássio. Hort Bras. 2001;19:227-31.
- Kavanova AHA. Phosphorus deficiency decreases cell division and elongation in grass leaves. Plant Physiol. 2006;141:766-75.
- Kurihara CH, Venegas VHA, Neves JCL, Novais RF. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. Ver. Ceres. 2013;60:690-698.
- Kawakami J. Redução da adubação, doses e parcelamento de nitrogênio no crescimento e produtividade de batata. Hort Bras. 2015;33:168-73.
- Lulai, EC, Orr PH. Influence of potato specific gravity on yield and oil content of chips. Am J Potato Res. 1979;56:379-90.
- Luz JMQ, Queiroz AA, Oliveira RC. Teor crítico foliar de nitrogênio na batata 'Asterix' em função de doses de nitrogênio. Hort Bras. 2014;32:225-9.
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba, POTAFOS; 1997.
- Marcelo AV, Corá JE, Fernandes C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. I – Produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes. R Bras Ci Solo. 2012a;36:1553-67.
- Marcelo AV, Corá JE, Fernandes C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. II – Decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. R Bras Ci Solo. 2012b;36:1568-82.

- Mota MR, Sangoi L, Schenatto DE, Giordani W, Boniatti CM, Dall'Igna L. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. R Bras Ci Solo. 2015;39:512-22.
- Muner LH, Ruiz HA, Venegas VHA, Neves JCL, Freire FJ, Freire MBGS. Disponibilidade de zinco para milho em reposta à localização de fósforo no solo. R. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental. 2011;15:29-36.
- Oliveira FHT, Novais RF, Alvarez VVH, Souza AP, Neves JCL, Medeiros JS. Doses de nitrogênio, fósforo e potássio recomendadas pelo Ferticalc<sup>®</sup> Bananeira e por tabelas de recomendação de adubação. R Bras Ci Solo. 2007;2:111-6.
- Oliveira TF; Aquino LA; Gentil TG; Clemente JM; Reis, MR; Fernandes FL; Fernandes, MES. Nitrogen demand, phosphorus and potassium potato influenced by farming. Journal of Plant Nutrition. 2016 (aceito).
- Pereira, AS, Silva RS, Bender CI, Ferri ML, Vendruscolo JL. Genótipos de batata com baixo teor de açúcares redutores. Hort Bras. 2007;25:220-3.
- Queiroz LR, Kawakami MJ, Muller ML, Oliari ICR, Umburanas RC, Eschemback V. Adubação NPK e tamanho da batata-semente no crescimento, produtividade e rentabilidade de plantas de batata. Hort Bras. 2013;31:119-27.
- Santos DR, Gatiboni LC, Kaminski J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema de plantio direto. Cienc. Rural. 2008;38:576-586.
- Santos FC, Neves JCL, Novais RF, Alvarez VH, Sedyama CS. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. R Bras Ci Solo. 2008;32:1661-74.
- Silva AP, Alvarez V VH, Souza AP, Neves JCL, Novais RF, Dantas JP. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi – FERTICALC-Abacaxi. R Bras Ci Solo. 2009;33:1269-80.
- Singh DP, Beloy J, Mcinerney JK, Day L. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota* L.). Food Chem. 2012;132:1161-70.
- Stanford GS, Smith SJ. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci Soc Am J. 1972;36:465-72.
- Teixeira PC, Mesquita IL, Macedo ST, Teixeira WG, Lima WAA. Resposta de vetiver à aplicação de calcário e fósforo em três classes de solo. 2015;19:99-105.

Wieder RK, Lang GE. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*. 1982;63:1636-42.

**Quadro 1.** Teor de matéria seca (TMS), coeficiente de utilização biológica (CUB) e índice de colheita (IC) para as cultivares de batata. Serra do Salitre - MG, 2015.

Cultivares	TMS (%)	CUB (kg kg <sup>-1</sup> )			IC (%)		
		N	P	K	N	P	K
<b>Indústria</b>							
Ásterix	19,9	79,9	428,4	51,4	78,4	90,1	71,7
BRSIPR Bel	22,1	88,6	398,8	52,4	81,1	92,0	82,1
Nicolet	20,0	72,6	487,7	47,6	80,6	89,0	77,1
FL2215	23,5	65,1	440,9	52,3	79,6	87,8	71,1
FL2027	20,7	74,4	394,8	47,1	81,7	90,7	80,0
FL1867	24,6	77,5	469,8	56,4	76,6	87,3	69,0
FL2221	24,3	72,9	435,5	55,1	84,2	91,1	79,3
Atlantic	23,7	92,4	429,9	44,8	80,6	90,4	77,7
Acumulator	23,7	83,8	490,5	48,8	81,3	88,0	78,1
Verdi	27,3	81,4	394,9	46,6	83,8	92,0	73,0
Taurus	23,7	77,6	491,1	46,4	82,5	90,4	75,5
<b>Média</b>	23,1	78,7	442,0	49,9	80,9	89,9	75,9
<b>Mesa</b>							
Ágata	16,9	80,2	356,1	41,9	79,4	92,7	77,0
Cupido	18,5	84,2	377,4	43,9	76,5	90,8	79,3
<b>Média</b>	17,7	82,2	366,8	42,9	78,0	91,8	78,2

**Quadro 2.** Eficiência de recuperação de P e K do solo pelo extrator (mg dm<sup>-3</sup> / mg dm<sup>-3</sup>) em função, ou não, do fósforo remanescente (P-rem).

Nutriente	Extrator	Equação	R <sup>2</sup>
P	Mehlich-1	TR <sub>P</sub> = 0,0672821 + 0,012165**P-rem	0,681
P	Resina	TR <sub>P</sub> = 0,419***P-rem <sup>0,128099</sup>	0,694
K	Mehlich-1	TR <sub>K</sub> = 0,8020	-
K	Resina	TR <sub>K</sub> = 0,7559	-

\*\*\*Significativo pelo teste *t* a 0,1 %; \*\*Significativo pelo teste *t* a 1 %; \*Significativo pelo teste *t* a 5 %; ° Significativo pelo teste *t* a 10 %. Adaptado de Morais (1999), Souza (1999) e Melo (2000). P-rem: Fósforo remanescente (mg L<sup>-1</sup>).

**Quadro 3.** Constante de decomposição (k<sub>0</sub>) de matéria seca (MS) e de N, P e K das principais culturas antecessoras ao cultivo.

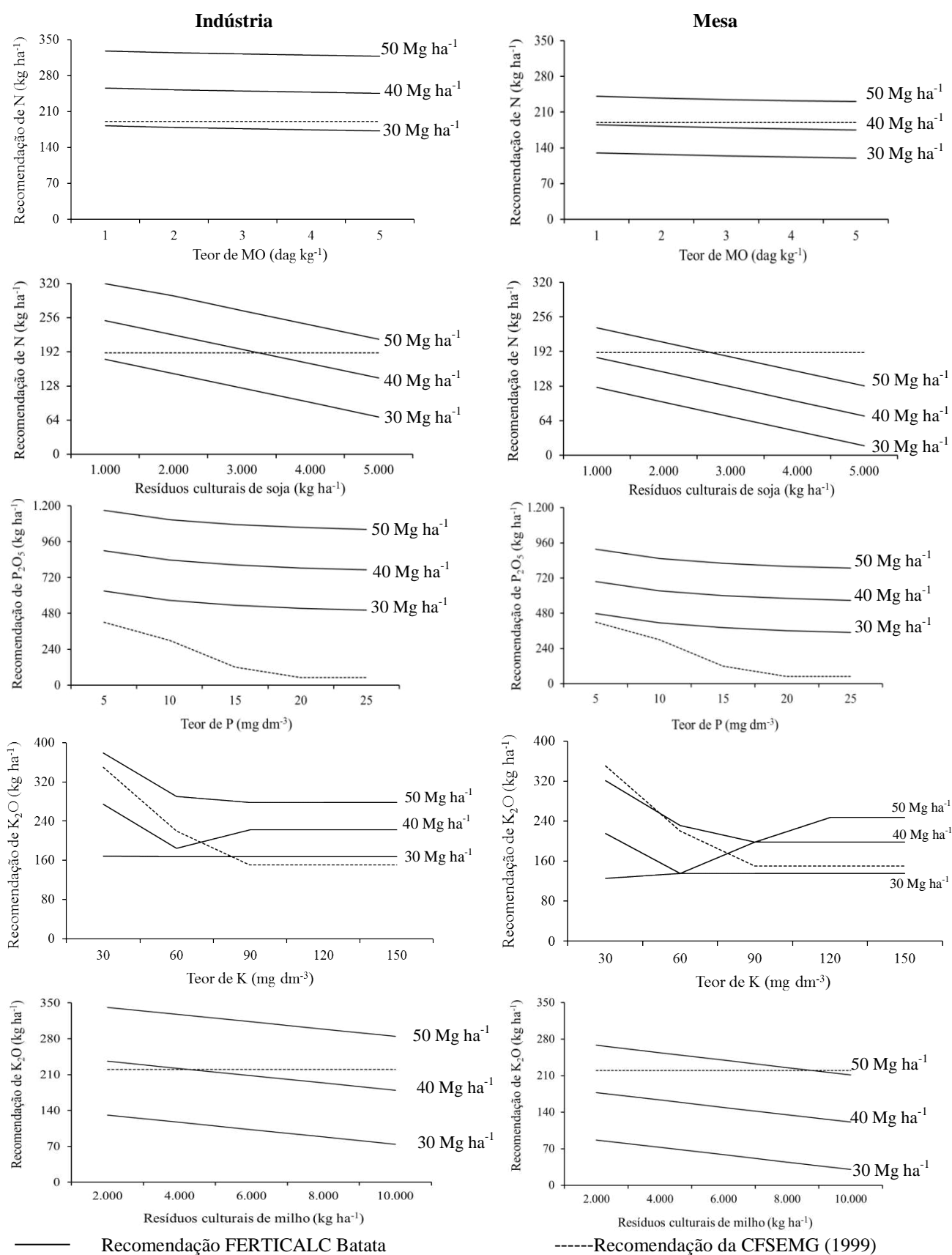
Cultura	k <sub>0</sub>			
	MS	N	P	K
Braquiária	0,006	0,005	0,003	0,050
<i>Crotalaria spectabilis</i> <sup>1</sup>	0,004	0,020	0,015	0,030
Nabo Forrageiro <sup>1</sup>	0,008	0,015	0,015	0,030
Milheto <sup>1</sup>	0,006	0,010	0,020	0,050
Milho e sorgo <sup>2</sup>	0,005	0,010	0,010	0,030
Soja <sup>2</sup>	0,015	0,027	0,027	0,063
Fabaceae	0,010	0,025	0,020	0,045
Poaceae	0,006	0,010	0,010	0,040
Geral	0,008	0,015	0,015	0,040

<sup>1</sup>Constantes obtidas com o manejo realizado durante o florescimento da cultura. <sup>2</sup>Constantes obtidas com os resíduos vegetais após a colheita dos grãos. Adaptado de Padovan et al. (2006), Gama-Rodrigues et al. (2007) e Marcelo et al. (2012b).

**Quadro 4.** Doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>) estimadas pelo FERTICALC Batata para 30, 40 e 50 Mg ha<sup>-1</sup> de tubérculos.

Cultivares	Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )								
	30			40			50		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	<b>Indústria</b>								
Asterix	118	225	66	171	395	159	225	564	251
BRSIPR Bel	113	309	51	164	505	139	215	702	227
Nicolet	130	171	68	187	321	161	244	472	255
FL2215	186	314	112	261	513	221	337	711	329
FL2027	129	284	69	186	473	163	242	662	257
FL1867	166	307	112	235	503	221	305	700	329
FL2221	157	320	73	223	520	169	289	721	264
Atlantic	118	315	137	171	515	253	224	714	370
Acumulator	133	256	106	190	435	213	248	614	319
Verdi	159	454	199	225	699	336	292	945	474
Taurus	144	243	136	206	418	252	268	593	368
<b>Média</b>	141	291	103	202	482	208	263	673	313
	<b>Mesa</b>								
Ágata	92	222	57	136	390	147	181	558	237
Cupido	102	248	60	150	424	151	198	601	242
<b>Média</b>	98	235	59	143	407	149	189	579	240

Doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O consideram: pH(água) = 5,2; matéria orgânica = 3,5 dag kg<sup>-1</sup>; P-rem = 15 mg L<sup>-1</sup>; fósforo (P) = 16,4 mg dm<sup>-3</sup>; potássio (K) = 57 mg dm<sup>-3</sup>, e para recomendação de P e K, a existência de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais de milho com 4,6; 0,2; 5,9 g kg<sup>-1</sup> de N, P, K na matéria seca, respectivamente. Quando o SUP é menor que a demanda, a recomendação é igual a diferença corrigida pela taxa de recuperação. Quando SUP – DEM é maior ou igual a zero, a recomendação foi igual a exportação.



**Figura 1.** Análise de sensibilidade do FERTICALC Batata para recomendação de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  em função do teor de matéria orgânica, resíduos culturais de soja (para N) e de milho (para K), P Mehlich-1, K Mehlich-1, expectativa de produtividade e finalidade de cultivo (indústria ou mesa).

## CAPÍTULO II - MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO PARA O CULTIVO DE BATATA

### RESUMO

A adubação a lanço com fósforo (P) tem sido amplamente utilizada em olerícolas no Brasil. No entanto, há carência de informações quanto à eficácia da adubação a lanço para a cultura da batata. Objetivou-se avaliar a produtividade, classificação comercial, teor de P na folha índice, conteúdo de P no tubérculo e total, eficiência agrônômica, de recuperação e teores de P no solo cultivado com batateira submetida a doses e métodos de aplicação de P. Dois experimentos foram conduzidos em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa. Os tratamentos consistiram de duas doses de P (300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) combinadas com cinco métodos de aplicação de P, os quais consistiram de frações da dose de P aplicadas à lanço ou localizadas no sulco de plantio. Os métodos de aplicação foram: 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100 (percentagem da dose distribuída a lanço / percentagem da dose aplicada localizada no sulco de plantio) e um tratamento controle sem P. Foi adotado o esquema fatorial (2 x 5) + 1 (duas doses x cinco métodos de aplicação, mais um tratamento sem P), sob delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. A aplicação do fertilizante fosfatado localizado no sulco de plantio aumenta a produtividade, o acúmulo de P e as eficiências agrônômica e de recuperação do nutriente pela cultura da batata. O P aplicado localizado aumenta de forma mais expressiva a disponibilidade de P na linha e essa tem maior relação com a produtividade que o P da entrelinha.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L.; fosfatagem; localização de P; eficiência agrônômica.

## 1. INTRODUÇÃO

As olerícolas, dentre elas a batateira, de forma geral apresentam alta demanda de nutrientes. O fósforo (P) é um dos que mais influenciam a produtividade e qualidade da batata (Sandaña & Kalazich, 2015; Fernandes et al., 2015). Esse nutriente participa de vários processos metabólicos, como fotossíntese, respiração, síntese de ácidos nucleicos, amido, síntese e estabilidade de membranas, ativação e desativação de enzimas, reações redox, metabolismo de carboidratos e outros que envolvem transferência de energia (Silva et al., 2010).

Muitos dos solos brasileiros, principalmente os de Cerrado, são pobres em P, consequência do material de origem aliado a uma intensa ação do intemperismo, bem como da forte fixação do nutriente pelo solo (Novais et al., 2007). Isso acarreta baixa disponibilidade do P às plantas e, por conseguinte, limitação à produtividade. Dessa forma, para manter adequado suprimento de P à planta, são aplicadas altas doses de fertilizantes fosfatados solúveis, que visam garantir maiores concentrações de P na solução do solo (Novais & Smyth 1999; Hopkins et al., 2010).

Na batateira, o P aumenta o crescimento inicial, estimula a tuberização e o tamanho dos tubérculos (Hopkins et al., 2010). Apesar da importância desse nutriente para a cultura, seu aproveitamento muitas vezes é baixo. É justificado por características da batateira como sistema radicular superficial, reduzida relação raiz/parte aérea, baixa eficiência de absorção de P em solos com baixa disponibilidade do nutriente, elevado potencial de produção e ciclo curto como responsáveis por esse baixo aproveitamento do nutriente (Fernandes et al., 2015).

A adubação a lanço com P (fosfatagem) tem sido utilizada no Brasil. Porém há poucos trabalhos que comparam sua eficiência em relação a outras técnicas de adubação, principalmente com enfoque em olerícolas (Büll et al., 2004). No entanto, esse método de aplicação pode ser menos eficiente, uma vez que favorece o contato do fertilizante fosfatado aplicado com o solo. Isso aumenta a fixação do P, e assim, reduz a disponibilidade desse para as plantas (Ceretta et al., 2007; Büll et al., 2004) o que diminui a eficiência da adubação fosfatada (Sousa et al., 2010).

Apesar de o P ser apenas o quarto nutriente mais extraído pela batateira ele é o aplicado em maiores doses para a cultura no Brasil (Fernandes et al., 2011). As altas doses devem-se, em grande parte, ao de fixação de P dos solos tropicais, que condicionam baixo teor de P-disponível. Para alcançar produtividades satisfatórias são necessárias doses altas de P ou redução do volume de solo adubado

(localização) para reduzir o contato (e a perda) do fertilizante fosfatado aplicado (Büll et al., 2004; Fernandes et al., 2011).

Pesquisas apontam respostas positivas à adubação fosfatada com até 700 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em solos de textura argilosa, com teor de P de 25 mg dm<sup>-3</sup> (Luz et al., 2013) e de até 920 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em solos argilosos com baixa disponibilidade de P (Nava et al., 2007). Em soja houve redução na produtividade de grãos de soja quando o P foi aplicado à lanço em comparação à aplicação localizada (Kurihara e Hernani, 2013; Barbosa et al., 2015). Porém, em comparação semelhante, Sousa et al. (2010) e Nunes et al. (2011) relataram não encontrar diferenças entre a aplicação a lanço e no sulco de semeadura em solos com alta disponibilidade em P, condição em que se espera menor resposta a adubação fosfatada. Estudos que comparam a adubação fosfatada em área total e a localizada têm sido frequentes em culturas extensivas (Resende et al., 2006; Carneiro et al., 2008; Oliveira Júnior, 2008; Santos et al., 2008; Franzini et al., 2009) e escassos em culturas olerícolas.

A adubação fosfatada requer, em função da fixação do P no solo, em especial nos argilosos, a localização em profundidade explorável pelo sistema radicular da cultura. Aumentar a eficiência nas adubações fosfatadas é importante para reduzir as grandes doses de P aplicadas no solo (Miyazawa et al., 2011) e os custos de produção, uma vez que o Brasil importa cerca de 50% dos fertilizantes fosfatados que utiliza (Saab & Paula, 2008).

Informações como método de aplicação, a lanço ou localizado e, a eficiência desses pode contribuir para uso mais eficiente dos fertilizantes fosfatados na bataticultura. A escassez dessas informações pode refletir em adubações com doses elevadas de P na cultura da batata, sem o devido respaldo técnico-científico a respeito da necessidade e eficiência das mesmas (Queiroz et al., 2013). Assim, objetivou-se avaliar a produtividade, classificação comercial, teor de P na folha índice, conteúdo de P no tubérculo e total, eficiência agrônômica, de recuperação e teores de P no solo em função de métodos de aplicação e doses de P na cultura da batata.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos em área localizada em Rio Paranaíba - MG, cujas coordenadas geográficas são 19°11'22"S e 46° 7'24.39" O, com 1.100 m de altitude. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, textura muito argilosa e tem baixa disponibilidade de P. O experimento 1 foi instalado no verão 2014/2015, com plantio em 18/12/2014 e colheita em 09/04/2015. O experimento 2 (repetição do experimento 1), foi implantado em 20/04/2015 e colhido em 15/08/2015. O solo encontrava-se em pousio com predominância de capim Brachiaria, cujo preparo consistiu de dessecação da vegetação, aração, subsolagem, gradagem e posterior abertura dos sulcos no espaçamento de 87 cm. Os atributos químicos do solo utilizado estão descritos no Quadro 1.

Utilizou-se no experimento 1, conduzido no verão, a variedade Ágata, com quatro tubérculos-semente tipo II distribuídos por metro de sulco e, no experimento 2, conduzido no inverno, a Asterix na mesma densidade de plantio. A adubação de plantio consistiu de 140 kg ha<sup>-1</sup> de N (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) e 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (KCl). Parte do K (140 kg ha<sup>-1</sup>) foi aplicada juntamente com o N no sulco de plantio. O restante (160 kg ha<sup>-1</sup>) foi distribuído a lanço em área total. A adubação de cobertura foi realizada com aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por ocasião da operação de amontoa. O manejo fitossanitário e de irrigação foram realizados de acordo com o monitoramento e necessidade da cultura.

Os tratamentos consistiram de duas doses de P (300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) combinadas com cinco métodos de aplicação da fonte de P (a lanço ou localizado) mais um tratamento sem P (controle). A fonte utilizada foi o superfosfato triplo (00-46-00). Os métodos de aplicação consistiram da combinação de frações das doses de P aplicadas a lanço ou no sulco de plantio: 100 + 0; 75 + 25; 50 + 50; 25 + 75 e 0 + 100 (percentagem da dose aplicada a lanço + percentagem da dose aplicada no sulco de plantio). Foi adotado o esquema fatorial (2 x 5) + 1 (duas doses x cinco métodos de aplicação, mais um tratamento sem P), sob delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. As unidades experimentais foram compostas de quatro fileiras de oito metros e consideradas úteis às duas linhas centrais menos um metro em cada extremidade.

Aos 45 dias após o plantio foram coletadas quinze folhas índice (terceira folha a partir do ápice) em cada unidade experimental. Após a coleta, as impurezas das

amostras foram retiradas utilizando-se algodão embebido em água destilada e em seguida colocadas para secar em estufa com ventilação forçada de ar a 70°C por 72 h. Posteriormente, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey equipado com peneira de 1,27 mm para quantificação do teor foliar de P (Silva, 2009).

Anteriormente à colheita, foi quantificado o número de hastes/m, número de plantas/m (ambos com contagem em seis metros/parcela), e coletado aleatoriamente dez hastes em cada unidade experimental para a determinação da matéria seca e do teor de P (Silva, 2009). Com o teor de P, massa e número de hastes, calculou-se o P acumulado na parte aérea. Na ocasião da colheita, o número e a massa de tubérculos foram determinados para posterior cálculo da produtividade. A classificação comercial foi feita com base no diâmetro equatorial em milímetros, classe I >70, II >42 até 70, III >33 até 42, IV 28 até 33 e V até 28 (Ceagesp, 2001). A junção das subclasses I e II e III e IV formaram as classes graúda e miúda, respectivamente.

Uma amostra de tubérculos de cada parcela foi retirada e, em seguida lavada, cortada e seca em estufa. Posteriormente, determinado o teor de matéria seca (%) e essas trituradas em moinho tipo Willey para determinação do teor de P, conforme Silva (2009). A extração de P pela cultura foi obtida pelo somatório do produto da matéria seca pelo teor de nutrientes da parte aérea e tubérculos e a exportação consistiu do conteúdo de P nos tubérculos.

A eficiência agronômica, que mede a produção econômica por unidade de nutriente aplicado, foi calculada pela equação (Fageria, 1998):

$$eaP = \frac{(PTB_{Ad} - PTB_{SAd})}{P_{Ap}}$$

Em que:

$eaP$  = Eficiência Agronômica do P ( $\text{kg kg}^{-1}$ );

$PTB_{Ad}$  = Produção de tubérculos de batata com adubação fosfatada ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

$PTB_{SAd}$  = Produção de tubérculos de batata sem adubação fosfatada ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

$P_{Ap}$  = P aplicado na parcela adubada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

A eficiência de recuperação do P aplicado via fertilizantes foi obtida pela utilização da equação (Fageria, 1998):

$$erP = \frac{(PA_{Ad} - PA_{SAd})}{P_{Ap}} \times 100$$

Em que:

$erP$  = Eficiência de recuperação do P aplicado via fertilizante pela planta (%);  
 $PA_{Ad}$  = P acumulado pela planta com adubação fosfatada ( $kg\ ha^{-1}$ );  
 $PA_{SAd}$  = P acumulado pela planta sem adubação fosfatada ( $kg\ ha^{-1}$ );  
 $P_{Ap}$  = P aplicado na parcela adubada ( $kg\ ha^{-1}$ ).

Foram coletadas amostras de solo na linha e entrelinha da cultura antes da colheita para quantificação do fósforo disponível. Utilizou-se um trado tipo sonda, coletando dez amostras simples por unidade experimental na linha e dez na entre linha, em profundidade de 0-0,20m, as quais compunham a amostra composta de cada parcela. Nessas, determinaram-se os teores de P por meio do extrator Mehlich-1 (Silva, 2009).

Após a verificação da normalidade e da homogeneidade de variâncias, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Os graus de liberdade dos fatores estudados foram desdobrados e as médias de doses e métodos de aplicação de P comparadas pelo teste de Scott Knott a 5%. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software Assistat (Silva & Azevedo, 2009).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito dos fatores doses e métodos de aplicação de P, sem interação desses, na produtividade total e das classes graúda e miúda de ambos os experimentos (Quadro 2). A maior produtividade das variedades Ágata e Asterix foi obtida na dose de  $600\ kg\ ha^{-1}$ . A aplicação de pelo menos metade das doses no sulco de plantio não difere da aplicação total no sulco e há perda expressiva de produtividade quando à aplicação é integralmente a lanço. Esses resultados corroboram com encontrados por Kurihara & Hernani (2013) e Barbosa et al. (2015), que obtiveram melhores resultados de produtividade das culturas estudadas com a localização do fertilizante na linha de semeadura.

A localização foi mais eficaz para garantir maior concentração de P em profundidade explorável pelo sistema radicular da cultura na fase inicial. Nessa fase em que a demanda é alta frente ao reduzido sistema radicular a localização ameniza a perda por fixação e permite maior P-disponível à cultura (Hopkins et al., 2010; Fernandes et al., 2015). A alta resposta da batata ao P pode ser verificada pelo incremento de produtividade com a adubação. Em relação aos controles (sem P), por exemplo, a adubação fosfatada auferiu aumento de 45,1 e 55,6% (média dos métodos de aplicação)

nas doses de 300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na variedade Ágata e de 72,5 e 76,3% na Asterix, respectivamente.

A produtividade de batata tanto graúda quanto miúda não diferiu em função dos métodos de aplicação de P (Quadro 2). Foi maior na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em ambas as variedades na classe graúda. Essa resposta à dose deve-se ao fato de que além de favorecer o crescimento inicial e estimular a tuberização, o P influencia o tamanho dos tubérculos (Hopkins et al., 2010). Na classe miúda, não houve diferença estatística para o fator dose de P.

Os teores de P na folha índice não sofreram influência dos métodos de aplicação e das doses em ambas as variedades, exceto na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na variedade Ágata, em que esses foram menores quando a adubação foi realizada em sua maior parte ou totalmente a lanço (Quadro 3). Esses resultados corroboram com os encontrados por Barbosa et al. (2015). Isso pode ser explicado pelo fato de a cultura da batata apresentar um alto índice de colheita para o nutriente em questão, o que faz com que o aumento de P aumente a produtividade (Quadro 2), mas com alta partição para tubérculos, o que pode não alterar os teores de P na folha índice (Oliveira et al., 2016).

A aplicação do P localizado favorece o acúmulo desse nutriente tanto no tubérculo quanto na planta inteira (tubérculo + parte aérea) (Quadro 3). Em ambas as épocas de cultivo os maiores acúmulos foram obtidos com a maior dose do fertilizante, em especial quando aplicada na linha de cultivo. A adequada disponibilidade de P, gerada pela alta concentração do nutriente na linha de plantio forneceu condições satisfatórias para que a cultura pudesse crescer, desenvolver e extrair o P em maiores proporções. Esse nutriente participa de alguns processos metabólicos como fotossíntese, respiração, síntese de amido entre outros, os quais concorrem para altas produtividades da batateira (Silva et al., 2010).

A eficiência agrônômica de P diminuiu substancialmente com a aplicação a lanço do fertilizante em ambas as variedades na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Quadro 4). Isso acontece em função de menor disponibilidade do nutriente, uma vez que esse se encontra distante da área explorável pelo sistema radicular. Esse problema é solucionado com a localização do fertilizante fosfatado em ambas as variedades. As maiores eficiências foram encontradas na variedade Asterix, cultivada com 75 ou 100% da menor dose de fertilizante localizada na linha de plantio. Na variedade Ágata, apesar de apresentar-se menos eficiente, a eficiência agrônômica aumentou quando 100% do fertilizante é aplicado na linha de plantio. A produtividade de tubérculos foi aumentada com incremento da dose de P, porém, esse incremento não foi proporcional na

eficiência agronômica. Em ambas as variedades, quando a dose de fertilizante foi aumentada a eficiência agronômica foi reduzida.

A eficiência de recuperação aumentou com a adubação localizada na linha de plantio em ambas as variedades na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Quadro 4). Como na eficiência agronômica, o aumento da dose de fertilizante aplicado diminui a capacidade de a planta assimilar o nutriente, com efeito negativo da dose sobre a eficiência de recuperação. Na variedade Ágata, a partir de 50% da dose do fertilizante fosfatado aplicado na linha de plantio tem-se aumento na eficiência de recuperação. Em condições de cultivo de inverno, a diferença na localização foi ainda mais evidente, o que implica na localização na linha de plantio de no mínimo 75% do fertilizante para se obter as maiores eficiências de recuperação. Dessa forma, apenas a localização representa aumento de 185% na eficiência de recuperação do P, quando se compara adubação a lanço x localizada. Houve redução da eficiência da adubação fosfatada quando essa foi realizada a lanço, provavelmente atribuída ao aumento do contato do P com o solo, o que aumenta a fixação do nutriente e reduz a recuperação pela planta (Sousa et al., 2010).

Os teores de P no solo sofrem influência dos métodos de aplicação e das doses aplicadas em ambas as variedades (Quadro 5). Houve menor influência dos métodos de aplicação na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em que os teores não diferem na variedade Ágata e apresentam diferenças significativas apenas a partir de 75% do fertilizante localizado no caso de Asterix. Na maior dose, a localização favoreceu o incremento dos teores de P na linha de cultivo, uma vez que a maior quantidade de fertilizante na linha de plantio garante elevada disponibilidade de P à batateira.

Na entrelinha, os teores de P diferem apenas quando a adubação é feita 100% a lanço em ambas as doses e variedades. Houve elevação da disponibilidade de P com a aplicação à lanço, no entanto, o incremento é discreto e os teores alcançados ainda mantem o solo classificado como de baixa disponibilidade de P (Mesquita et al., 2011). Os altos teores encontrados na linha de plantio devem-se à localização do fertilizante combinado com a profundidade de amostragem, o que configura o solo nessa região como de alta fertilidade e favorece o incremento de produtividade de ambas as variedades (Quadro 5). Resultados semelhantes são encontrados por Barbosa et al. (2015), quando avaliaram teores de P no solo em linha e entrelinha da cultura de soja e milho.

#### **4. CONCLUSÕES**

A produtividade da cultura da batata aumenta com a localização do fertilizante fosfatado.

A localização aumenta o conteúdo de P, as eficiências agrônômica e de recuperação e a fertilidade do solo na linha de cultivo.

A adubação a lanço aumenta os teores de P na entrelinha sem alterar a classe de fertilidade do solo.

#### **5. REFERNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Barbosa NC, Arruda EM, Brod E, Pereira HS. Distribuição vertical do Fósforo no solo em função dos modos de aplicação. *Biosc J.* 2015;31:87-95.
- Büll LT, Costa MCG, Novello A, Fernandes DM, Bôas V, Lyra R. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. *Sci Agric.* 2004;61:516-21.
- Carneiro LF, Furtini Neto AE, Resende AVD, Curi N, Santos JZL, Lago FJD. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. *Ciênc Agrotec.* 2008;32:1133-41.
- Ceagesp. Classificação da batata in natura. Ceagesp, São Paulo: jun. 2001. (Folder).
- Ceretta CA, Silva LS, Pavinato A. Manejo da adubação. In Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL. *Fertilidade do Solo.* Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. 1017p.
- Fageria NK. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 1998;2:6-16.
- Fernandes AM, Soratto RP, Silva BL, Souza-Schlick GD. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. *Pesq Agropec Bras.* 2011;45:826-835.
- Fernandes AM, Soratto RP, Pilon C. Soil phosphorus increases dry matter and nutrient accumulation and allocation in potato cultivars. *Am J Potato Res.* 2015;92:117-127.
- Franzini VI, Muraoka T, Coraspe-León HM, Mendes FL. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. *Pesq Agropec Bras.* 2009;44:1092-1099.

- Hopkins BG, Ellsworth JW, Shiffler AK, Bowen TR, Cook AG. Pre-plant versus in-season application of phosphorus fertilizer for Russet Burbank potato grown in calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 2010;33:1026–1039.
- Kurihara CH, Hernani LC. Adubação antecipada da soja em plantio direto requer observação de alguns critérios. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2011. Disponível em: [www.diadecampo.com.br](http://www.diadecampo.com.br). Acesso em: 25 fevereiro de 2015.
- Luz JMQ, Queiroz AA, Borges M, Oliveira RC, Leite SS, Cardoso RR. Influence of phosphate fertilization on phosphorus levels in foliage and tuber yield of the potato cv. Ágata. *Semin Cienc Agrar.* 2013;34:649-656.
- Mesquita HA; Paula MB; Venturin RP; Pádua JG; Yuri JE. Fertilização da cultura da batata. In: Zambolim, L. *Produção Integrada da batata*. Viçosa: UFV; 2011. p.351-380.
- Miyazawa K, Takeda M, Murayama T, Watanabe K. Combining pre-transplanting phosphorus application and green manure incorporation: a trial for reducing fertilizer input. *Soil Sci Plant Nutr.* 2011;57:128-37.
- Nava G, Dechen AR, Iuchi VL. Produção de tubérculos de batata-semente em função das adubações nitrogenada, fosfatada e potássica. *Hort. Bras.* 2007;25:365-370.
- Novais RF, Smyth TJ. Fósforo em solo e planta sob condições tropicais. Viçosa: UFV; 1999.
- Novais RF, Smyth TJ, Nunes FN. Fósforo. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. p.471-550.
- Nunes RS, Sousa DMG, Goedert WJ, Vivaldi L. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. *R. Bras. Ci. Solo.* 2011;35:877-888.
- Oliveira Júnior A, Prochnow LI, Klepker D. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. *Pesq Agropec Bras.* 2008;43:623-31.
- Oliveira TF; Aquino LA; Gentil TG; Clemente JM; Reis, MR; Fernandes FL; Fernandes, MES. Demanda de nitrogênio, fósforo e potássio da batata influenciada pela cultivar. *J. Plant Nutr.* 2016 (aceito).
- Queiroz LRM, Kawakami J, Muller MML, Oliari ICR, Umburanas RC, Eschemback V. Adubação NPK e tamanho da batata-semente no crescimento, produtividade e rentabilidade de plantas de batata. *Hort. Bras.* 2013;31:119-127.

- Resende AV, Neto AEF, Alves VMC, Muniz JA, Curi N, Faquin V, Kimpara DI, Santos JZL, Carneiro LF. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. R. Bras. Ci. Solo. 2006;30:453-466.
- Saab AA, Paula RDA. O mercado de fertilizantes no Brasil: diagnósticos e propostas de políticas. R Polit Agric. 2008;17;5-24.
- Sandaña P, Kalazich J. Attainable CO<sub>2</sub> Emission of ware potatoes under high yield conditions in Southern Chile. Am J Potato Res. 2015;92:318-325.
- Santos FC, Neves JCL, Novais RF, Alvarez VH, Sedyama CS. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. R. Bras. Ci. Solo. 2008;32:1661-74.
- Silva FAS, Azevedo CAV. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: World Congress On Computers In Agriculture,7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- Silva FC. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª edição. Brasília: Embrapa; 2009.
- Silva L, Marchiori PER, Maciel CP, Machado EC, Ribeiro RV. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. Pesq. agropec. Bras. 2010;45:965-972.
- Sousa DMG, Rein TA, Goedert WJ, Lobato E, Nunes RS. Fósforo. In: Prochnow LI, Casarin V, Stipp SR. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba, INPI; 2010. p.67-132.

**Quadro 1:** Análise química do solo, na camada de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, na área experimental. Rio Paranaíba, MG, 2015.

Atributo químico	Extrator	Profundidade	
		0-0,20m	0,20-0,40m
pH	H <sub>2</sub> O	5,30	5,20
P (mg dm <sup>-3</sup> )	Mehlich-1	1,70	1,60
P-rem (mg L <sup>-1</sup> )	Fosforo remanescente	14,80	14,80
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mehlich-1	1,35	1,50
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	KCl	39,00	26,00
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	KCl	9,00	6,00
Al <sup>3</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	KCl	2,80	3,10
H + Al <sup>3</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Acetato de Cálcio	63,00	68,00
S (mg dm <sup>-3</sup> )	Fosfato de Cálcio	11,00	10,00
B (mg dm <sup>-3</sup> )	Água Quente	0,42	0,71
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	Mehlich-1	1,40	1,30
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	Mehlich-1	39,00	50,00
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	Mehlich-1	9,10	8,80
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	Mehlich-1	0,60	0,70
M.O. (dag kg <sup>-1</sup> )	-	3,40	3,20
S.B. (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-	49,40	33,50
C.T.C. (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-	112,40	101,50
V (%)	-	44,00	33,00

P, K = (Mehlich-1); S-SO<sub>4</sub> (Fosfato monobásico de Ca 0,01 mol L<sup>-1</sup>); Ca, Mg, Al = (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); H + Al = (Acetato de Cálcio); M.O. = Walkley-Black; Cu, Fe, Mn, Zn = Mehlich-1; B = água quente.

**Quadro 2:** Produtividade e classificação de batata (classes graúda e miúda) submetida a métodos de aplicação e doses de P aplicados ao solo, em duas épocas de cultivo (verão e inverno). Rio Paranaíba, 2015.

Métodos de Aplicação de P <sup>1</sup>	Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )		Classe Graúda (Mg ha <sup>-1</sup> )		Classe Miúda (Mg ha <sup>-1</sup> )	
	300	600	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		300	600
Lanço/Localizado			Experimento 1 (Ágata)			
100 + 0	14,6 bB	17,3 bA	10,3 aB	13,5 aA	4,3 aA	3,7 bA
75 + 25	12,9 bB	18,6 bA	8,1 aB	13,3 aA	4,8 aA	5,2 bA
50 + 50	16,6 aB	19,4 bA	9,1 aB	13,3 aA	7,6 aA	6,1 aA
25 + 75	17,4 aB	21,2 aA	10,9 aB	14,4 aA	6,5 aA	6,7 aA
0 + 100	17,6 aB	21,4 aA	10,8 aA	13,0 aA	6,8 aA	8,5 aA
Controle	8,7 <sup>°</sup>		4,2 <sup>°</sup>		4,5	
F Métodos	13,4 <sup>**</sup>		1,6 <sup>ns</sup>		4,9 <sup>**</sup>	
F Doses	71,9 <sup>**</sup>		45,3 <sup>**</sup>		0,01 <sup>ns</sup>	
F Métodos x Doses	1,5 <sup>ns</sup>		0,9 <sup>ns</sup>		2,3 <sup>ns</sup>	
CV (%)	8,3		15,7		31,5	
Lanço/Localizado			Experimento 2 (Asterix)			
100 + 0	16,5 bB	20,9 cA	10,4 aA	12,9 bA	6,1 aA	7,9 aA
75 + 25	24,3 aA	25,6 bA	15,5 aA	15,6 bA	8,7 aA	9,9 aA
50 + 50	23,5 aB	28,7 aA	13,8 aB	20,9 aA	9,6 aA	7,8 aA
25 + 75	26,3 aA	29,5 aA	16,4 aA	19,1 aA	9,9 aA	10,4 aA
0 + 100	25,8 aB	30,3 aA	16,5 aA	20,6 aA	9,2 aA	9,7 aA
Controle	6,4 <sup>°</sup>		0,7 <sup>°</sup>		5,7 <sup>°</sup>	
F Métodos	14,8 <sup>**</sup>		5,8 <sup>**</sup>		1,8 <sup>ns</sup>	
F Doses	17,6 <sup>**</sup>		10,5 <sup>**</sup>		0,3 <sup>ns</sup>	
F Métodos x Doses	0,6 <sup>ns</sup>		1,2 <sup>ns</sup>		0,5 <sup>ns</sup>	
CV (%)	12,0		21,7		29,2	

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>°</sup> O controle difere estatisticamente do fatorial pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. <sup>1</sup> - percentagem de P aplicada a lanço e ao sulco de plantio, respectivamente. <sup>ns</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> - não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

**Quadro 3:** Teor de P na folha índice, conteúdo de P no tubérculo e total da batateira submetida a métodos de aplicação e doses de P aplicados ao solo, em duas épocas de cultivo (verão e inverno). Rio Paranaíba, 2015.

Métodos de Aplicação de P <sup>1</sup>	Teor de P (g kg <sup>-1</sup> )		Conteúdo de P (kg ha <sup>-1</sup> )			
			Tubérculo		Total	
	300	600	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		300	600
Lanço/Localizado	Experimento 1 (Ágata)					
100 + 0	2,5 aA	2,1 bA	5,0 bB	6,4 cA	5,8 bB	7,9 bA
75 + 25	2,4 aB	2,3 bA	4,9 bB	6,4 cA	5,9 bB	7,5 bA
50 + 50	2,5 aA	2,7 aA	6,3 aB	7,5 bA	7,2 aB	8,4 aA
25 + 75	2,1 aA	2,7 aA	6,7 aA	6,7 cA	7,4 aA	7,8 bA
0 + 100	1,9 aA	2,9 aA	6,6 aB	8,5 aA	7,4 aB	9,2 aA
Controle	1,8 <sup>o</sup>		2,7 <sup>o</sup>		3,2 <sup>o</sup>	
F Métodos	6,9 <sup>**</sup>		14,9 <sup>**</sup>		10,8 <sup>**</sup>	
F Doses	8,3 <sup>**</sup>		39,6 <sup>**</sup>		60,8 <sup>**</sup>	
F Métodos x Doses	0,8 <sup>ns</sup>		3,1 <sup>*</sup>		2,5 <sup>ns</sup>	
CV (%)	12,6		9,7		8,1	
Lanço/Localizado	Experimento 2 (Asterix)					
100 + 0	3,9 aB	4,8 aA	3,9 cB	6,6 cA	5,2 cB	8,7 bA
75 + 25	4,2 aA	4,3 aA	6,4 bB	8,1 bA	7,8 bB	9,7 bA
50 + 50	3,8 aB	4,5 aA	7,6 aB	9,8 aA	8,9 bB	11,9 aA
25 + 75	4,1 aA	4,2 aA	8,4 aB	10,4 aA	9,7 aA	12,5 aA
0 + 100	4,3 aA	4,3 aA	8,5 aB	9,6 aA	10,1 aB	11,5 aA
Controle	1,9 <sup>o</sup>		2,2 <sup>o</sup>		2,5 <sup>o</sup>	
F Métodos	0,63 <sup>ns</sup>		48,3 <sup>**</sup>		36,8 <sup>**</sup>	
F Doses	10,2 <sup>**</sup>		74,5 <sup>**</sup>		96,6 <sup>**</sup>	
F Métodos x Doses	2,3 <sup>ns</sup>		1,4 <sup>ns</sup>		2,2 <sup>ns</sup>	
CV (%)	9,2		9,4		9,0	

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade. <sup>o</sup> O controle difere estatisticamente do fatorial pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. <sup>1</sup> - percentagem de P aplicada a lanço e ao sulco de plantio, respectivamente. <sup>ns, \*, \*\*</sup> - não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

**Quadro 4:** Eficiência agronômica e de recuperação de P da batateira submetida a métodos de aplicação e doses de P aplicados ao solo, em duas épocas de cultivo (verão e inverno). Rio Paranaíba, 2015.

Métodos de Aplicação de P <sup>/1</sup>	Eficiências			
	Agronômica (kg kg <sup>-1</sup> )		Recuperação (%)	
	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )			
	300	600	300	600
<b>Lanço/Localizado</b>	<b>Experimento 1 (Ágata)</b>			
100 + 0	46,4 cA	34,5 bB	2,1 bA	1,8 aA
75 + 25	28,6 dB	37,5 bA	2,2 bA	1,7 aA
50 + 50	65,1 bA	40,5 bB	3,1 aA	2,1 aB
25 + 75	66,9 bA	47,7 aB	3,3 aA	1,8 aB
0 + 100	74,1 aA	48,4 aB	3,3 aA	2,3 aB
F Métodos	71,9 <sup>**</sup>		10,0 <sup>**</sup>	
F Doses	134,6 <sup>**</sup>		58,9 <sup>**</sup>	
F Métodos x Doses	25,8 <sup>**</sup>		3,8 <sup>*</sup>	
CV (%)	8,9		16,5	
<b>Lanço/Localizado</b>	<b>Experimento 2 (Asterix)</b>			
100 + 0	70,9 cA	55,2 bA	2,0 dA	2,3 bA
75 + 25	136,0 bA	73,0 aB	4,0 cA	2,7 bB
50 + 50	130,1 bA	85,1 aB	4,8 bA	3,5 aB
25 + 75	151,9 aA	82,9 aB	5,5 aA	3,8 aB
0 + 100	147,8 aA	84,2 aB	5,7 aA	3,4 aB
F Métodos	31,2 <sup>**</sup>		52,1 <sup>**</sup>	
F Doses	206,3 <sup>**</sup>		94,5 <sup>**</sup>	
F Métodos x Doses	7,5 <sup>**</sup>		11,9 <sup>**</sup>	
CV (%)	12,2		11,7	

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade. ° O controle difere estatisticamente do fatorial pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. /1 - percentagem de P aplicada a lanço e ao sulco de plantio, respectivamente. ns, \*, \*\* - não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

**Quadro 5:** Teor de P no solo na linha e entrelinha da batateira submetida a métodos de aplicação e doses de P aplicados ao solo, em duas épocas de cultivo (verão e inverno). Rio Paranaíba, 2015.

Métodos de Aplicação de P <sup>1</sup>	Teor de P no solo (mg dm <sup>-3</sup> )			
	Linha	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		Entrelinha
		300	600	
Experimento 1 (Ágata)				
Lanço/Localizado				
100 + 0	1,3 aA	2,6 dA	0,8 aB	1,1 aA
75 + 25	1,5 aB	8,9 cA	0,5 bB	1,0 aA
50 + 50	1,6 aB	11,4 cA	0,4 bA	0,5 bA
25 + 75	3,3 aB	17,7 bA	0,2 bA	0,4 bA
0 + 100	7,6 aB	23,9 aA	0,2 bB	0,5 bA
Controle		0,4 <sup>o</sup>		0,4
F Métodos		14,1 <sup>**</sup>		16,1 <sup>**</sup>
F Doses		60,6 <sup>**</sup>		36,5 <sup>**</sup>
F Métodos x Doses		4,4 <sup>**</sup>		8,3 <sup>**</sup>
CV (%)		54,7		28,7
Experimento 2 (Asterix)				
Lanço/Localizado				
100 + 0	0,4 bA	1,3 bA	0,5 aB	1,6 aA
75 + 25	2,1 bA	2,7 bA	0,4 aA	0,5 bA
50 + 50	5,2 bB	27,7 aA	0,3 aA	0,3 bA
25 + 75	10,1 aB	32,3 aA	0,2 aA	0,4 bA
0 + 100	15,8 aB	34,9 aA	0,3 aA	0,3 bA
Controle		0,3 <sup>o</sup>		0,2 <sup>o</sup>
F Métodos		23,7 <sup>**</sup>		27,9 <sup>**</sup>
F Doses		41,1 <sup>**</sup>		25,4 <sup>**</sup>
F Métodos x Doses		6,2 <sup>**</sup>		12,5 <sup>**</sup>
CV (%)		53,3		39,6

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade. <sup>o</sup> O controle difere estatisticamente do fatorial pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. <sup>1</sup> - percentagem de P aplicada a lanço e ao sulco de plantio, respectivamente. <sup>ns, \*, \*\*</sup> - não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

## CONCLUSÕES GERAIS

O FERTICALC Batata permite recomendar N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O para a cultura com variação contínua das doses em função dos atributos químicos do solo, da produtividade esperada de tubérculos e finalidade de uso da variedade.

A produtividade, o conteúdo de P, as eficiências agrônômica e de recuperação e a fertilidade do solo na linha de cultivo da cultura da batata aumenta com a localização do fertilizante fosfatado.

A adubação a lanço aumenta os teores de P na entrelinha sem alterar a classe de fertilidade do solo.