

HEIDER RODRIGO FERREIRA SILVA

**ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE NITROGÊNIO DA
PLANTA, CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO,
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE TUBÉRCULOS DE
BATATA INFLUENCIADOS POR DOSES DE POTÁSSIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

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

T

S586i
2015
Silva, Heider Rodrigo Ferreira, 1991-
Índices de avaliação do estado de nitrogênio da planta,
características químicas do solo, produtividade e qualidade de
tubérculos de batata influenciados por doses de potássio / Heider
Rodrigo Ferreira Silva. – Viçosa, MG, 2015.
ix, 74f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Solanum tuberosum*. 2. Nutrição Mineral. 3. Plantas -
Efeito do potássio. 4. Plantas - Índice de nitrogênio. 5. Solos -
Teor de potássio. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.21


**ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE NITROGÊNIO DA
PLANTA, CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO,
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE TUBÉRCULOS DE
BATATA INFLUENCIADOS POR DOSES DE POTÁSSIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

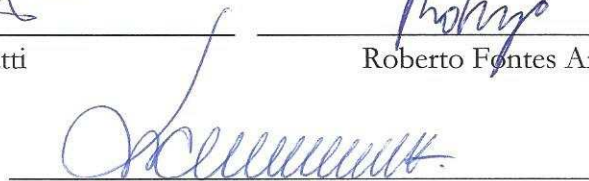
APROVADA: 24 de Fevereiro de 2015.



Mário Pujatti



Roberto Fontes Araújo



Carlos Nick Gomes



Paulo Cezar Rezende Fontes
(Orientador)

A Deus pela força concedida durante essa etapa.

Aos meus pais,

João Gonçalves da Silva e Ana da Solidade Ferreira da Silva, pela força, apoio, amor e incentivo.

As minhas irmãs,

Daiane e Ana Cláudia pela amizade e companheirismo.

A todos os familiares e amigos que participaram dessa conquista.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Arquiteto do Universo, pelo dom gratuito da vida.

A Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Fitotecnia e do programa de pós-graduação em Fitotecnia, pela oportunidade concedida para a realização do curso de mestrado.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico), pela concessão da bolsa e pelo auxílio financeiro.

Ao professor Paulo Cezar Rezende Fontes, pelos oportunidade, ensinamentos, compreensão e confiança durante o mestrado.

Aos professores membros da banca examinadora Mário Puiatti, Carlos Nick e Roberto Araújo pelas grandiosas considerações apresentadas com o objetivo de valorizar o trabalho realizado.

Aos professores da Universidade Federal de Viçosa, pelo ensinamento durante as disciplinas cursadas.

Ao Rodrigo Leon Castro pela grande ajuda durante as coleta de dados.

Ao grande amigo Jaime Barros pela constante força prestada durante todo esse período.

Aos funcionários da Horta Nova de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia, em especial ao Paulo Márcio, Beto, Reginaldo, Roberto e demais funcionários, pela grande força e auxílio na condução dos experimentos no campo e pelos momentos de grande descontração.

Aos colegas da república de pós-graduação Eduardo, Fernando, Ítalo, Ivan, Jeferson, Júlio, Kleber, Luciano, Rafael e Vinícius, e a nossa grande secretária do lar, Adelina, pelos bons momentos, agradável convívio e pela tolerância durante o convívio.

Aos grandes amigos Fernando e Vinícius pela amizade, momentos de descontração, excelente convívio e ajuda incondicional.

A todos os meus apoiadores.

Obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
1. Introdução Geral.....	1
2. Referências bibliográficas.....	2
CAPÍTULO I.....	7
Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em resposta à fertilização potássica.....	7
1. Introdução.....	7
2. Material e Métodos	8
2.1 Localização e caracterização da área experimental	8
2.2 Tratamentos e delineamento.....	10
2.3 Instalação e condução do experimento.....	11
2.4 Características avaliadas	11
2.4.1 Índice de velocidade de emergência das plantas.....	11
2.4.2 Número e matéria fresca de tubérculos comerciais e não comerciais	12
2.4.3 Teor e massa da matéria seca de tubérculos.....	12
2.4.4 Gravidade específica do tubérculo.....	12
2.4.5 Análise estatística.....	12
3. Resultados	13
4. Discussão.....	20
4.1 Índice de velocidade de emergência.....	20
4.2 Número de tubérculos	20
4.3 Produtividade de tubérculos	21
4.4 Massa de matéria seca de tubérculos	23
4.5 Teor de massa da matéria seca e gravidade específica dos tubérculos.....	25
5. Conclusões	25
6. Referências bibliográficas.....	26
CAPÍTULO II.....	31
Índices de avaliação do estado de nitrogênio das plantas influenciados por doses de potássio	31
1. Introdução.....	31
2. Material e Métodos	32
2.1 Localização, caracterização da área da experimental, tratamentos, delineamento, instalação e condução.....	32

2.2 Índices avaliados na quarta folha os 21 DAE	32
2.2.1 Índice SPAD	32
2.2.2 Índices de clorofila, flavonóis e balanço de nitrogênio.....	33
2.2.3 Aspecto da folha.....	33
2.2.4 Intensidade do verde da folha – tabela de cor	33
2.2.5 Comprimento, largura da folha e número de folíolos.....	33
2.2.6 Massa da matéria fresca e seca.....	33
2.2.7 Área foliar e específica.....	34
2.2.8 Teor e conteúdo de nitrogênio (N).....	34
2.2.9 Teor e conteúdo de potássio (K)	34
2.3 Análise estatística	34
3. Resultados	34
4. Discussão.....	42
4.1 Índices Fisiológicos	42
4.2 Índices Nitrogenados	44
5. Conclusão.....	47
6. Referências Bibliográficas	48
CAPÍTULO III	58
Alterações de características químicas do solo em resposta à fertilização potássica e ao residual e relação com a produtividade de tubérculos	58
1. Introdução.....	58
2. Material e Métodos	59
2.1 Localização, caracterização da área da experimental, tratamentos, delineamento, instalação e condução.....	59
2.2 Características avaliadas	60
2.3 Análise estatística	60
3. Resultados	61
4. Discussão.....	67
4.1 Características químicas do solo aos 21 DAE.....	67
4.2 Características químicas do solo na colheita.....	69
4.3 Relação entre a produtividade relativa e o teor de K no solo	70
5. Conclusão.....	71
6. Referências Bibliográficas	71

RESUMO

SILVA, Heider Rodrigo Ferreira, M. Sc. Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2015 **Índices de avaliação do estado de nitrogênio da planta, características químicas do solo, produtividade e qualidade de tubérculos de batata influenciados por doses de potássio.** Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes. Coorientador: Paulo Roberto Cecon

Os objetivos do trabalho foram determinar: 1) o efeito das doses de K e do residual sobre a velocidade de emergência das plantas e a produtividade e qualidade de tubérculos de batata; 2) a dose ótima de K para a máxima produtividade de tubérculos comerciais; 3) o efeito de doses de K e o seu residual sobre os valores dos índices usados para avaliação do estado de N na planta; 4) a influência de doses de potássio e do residual potássico sobre alterações de características químicas do solo. Para atender os objetivos, foram instalados dois experimentos na UFV de campo, em solo com baixo teor de K (38 mg dm^{-3}), utilizando-se o delineamento experimental em blocos casualizações, com quatro repetições. No experimento 1, os tratamentos constituíram-se de cinco doses de potássio (0, 110, 220, 440 e 880 kg ha^{-1} de K_2O), na forma de KCl, aplicado em pré-plantio no sulco. O experimento 2 foi instalado no ano seguinte no mesmo local do experimento 1 obedecendo-se o sorteio das parcelas que continham as cinco doses de potássio. Os tratamentos corresponderam as doses aplicadas no experimento anterior. Os índices avaliados foram determinados na quarta folha completamente expandida (QF), aos 21 dias após a emergência (DAE). Os índices avaliados foram denominados de fisiológicos (área foliar e área foliar específica; massa de massa da matéria fresca e seca; largura e comprimento) e nitrogenados (teor de N na massa da matéria seca; índices de clorofila e balanço de nitrogênio determinados pelo Dualex; SPAD; intensidade do verde determinado por tabela de cor e por meio de atribuição de nota). Adicionalmente foi determinado o teor de K na QF. No solo, foram avaliados o pH, teor de K, Ca e Mg; a relação $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})^{1/2}$ e a condutividade elétrica da solução do solo (CE), aos 21 DAE e após a colheita. Foi avaliado o índice de velocidade de emergência (IVE) das plantas, número, produtividade e massa da matéria seca dos tubérculos das classes II, III, V, comercial e não comercial. Também foram determinados o teor de massa da matéria seca e a gravidade específica dos tubérculos. Os valores dos índices de avaliação do estado de nitrogênio da batata, fisiológicos e nitrogenados, foram influenciados distintamente pelo aumento das doses de K e pelo residual. As produtividades de tubérculos das classes II, III e IV foram significativamente influenciadas pela fertilização potássica. A dose de máxima eficiência econômica foi $393,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O que propiciou a máxima produtividade de tubérculos

comerciais, 36,2 t ha⁻¹. O incremento na produtividade comercial foi associado com o aumento na proporção de tubérculos da classe II. As características químicas do solo avaliadas aos 21 DAE e após a colheita foram influenciadas pelo aumento da dose de K e pelo efeito residual, exceto o pH. Interação entre dose de K e os cátions Ca e Mg trocáveis não foi evidenciada com clareza no solo. O efeito positivo da fertilização potássica sobre a condutividade elétrica do solo é restrito ao curto tempo, até 21 DAE, não tendo efeito na colheita e no cultivo seguinte.

ABSTRACT

SILVA, Heider Rodrigo Ferreira, M. Sc. Universidade Federal de Viçosa, February, 2015. **Evaluation indexes of plant nitrogen status, soil chemical properties, productivity and quality of potato tubers influenced by potassium doses.** Advisor: Paulo Cezar Rezende Fontes. Co-advisor: Paulo Roberto Cecon

The objectives were to determine: 1) the effect of doses of K and residual on the speed of emergence of plants and the productivity and quality of potato tubers; 2) the optimal dose of K for maximum yield of commercial tubers; 3) the effect of K doses and their residual values on the indices used to assess the state of N in the plant; 4) the influence of doses of potassium and potassium residual about changes in soil chemical properties. Two experiments were installed in the field UFV, in soil with low-K (38 mg dm^{-3}), using the experimental design in randomized blocks with four replications. In experiment 1, the treatments consisted of five doses of potassium (0, 110, 220, 440 and 880 kg ha^{-1} of K_2O), as KCl, applied pre-planting in the furrow. The experiment 2 was installed in the following year in the same location as the experiment 1 obeying the draw of plots containing five doses of potassium. The treatments were the doses applied in the previous experiment. The emergence speed index was assessed (IVE) of plants. The indices evaluated were determined in the fourth fully expanded leaf (QF), at 21 days after emergence (DAE). The indices evaluated were called physiological (leaf area and specific leaf area, mass fresh weight and dry; width and length) and nitrogen (N content in the dry matter, chlorophyll index and nitrogen balance determined by Dualex; SPAD; determined by the intensity of the green color table and through note assignment). Additionally it was determined the K content in QF. In soil were evaluated pH, K content, Ca and Mg; the relationship $\text{K} / (\text{Ca} + \text{Mg})^{1/2}$ and the electrical conductivity of the soil solution (CE), at 21 DAE and after harvest, number, productivity and dry matter of tubers of classes II, III, V, commercial and non-commercial. In tubers were estimate the mass of the dry matter content and the specific gravity. The values of the evaluation indexes potato nitrogen status, physiological and nitrogen were distinctly influenced by increased doses of K and the residual. Yields of tubers in class II, III and IV were significantly influenced by potassium fertilization. The dose of maximum economic efficiency was $393,5 \text{ kg ha}^{-1}$ of K_2O that gave the maximum yield of commercial tubers, $36,2 \text{ t ha}^{-1}$. The increase in commercial yield was associated with the increase in the ratio of class II tubers. The soil chemical properties evaluated at 21 DAE and after harvest were influenced by increasing the dose of K and the residual effect except pH. Interaction between dose and K cations Ca and Mg was not clearly evidenced

in the soil. The positive effect of potassium fertilization on soil electrical conductivity is restricted to the short time until 21 DAE, having no effect on the harvest and the next crops.

1. Introdução Geral

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a terceira cultura de maior importância mundial para alimentação, após o arroz e trigo (FAOSTAT, 2013). Em vários países é a principal fonte de energia na dieta da população, o que torna a cultura importante no papel na segurança alimentar mundial (Birch et al, 2012). No Brasil, a batata é uma das principais hortaliças, cultivadas principalmente na região Sul e Sudeste (IBGE, 2013).

No cultivo da batata, os fertilizantes são importantes fatores para produção de tubérculos, especialmente no fornecimento de nutriente como potássio (K) e nitrogênio (N) (Fontes et al., 1996; Imas e Bansal, 1999; Gil et al., 2002; Rodrigues et al., 2005; Silva et al., 2009; Coelho et al., 2010). O K é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, alta produtividade e qualidade dos tubérculos da batata (Perrenoud, 1993; Westermann et al. 1994b; Panique et al. 1997; Kavvadias, 2012). O K atua no metabolismo da planta, principalmente no transporte, ativação enzimática (Amtmann and Armengaud, 2009), alocação de açúcares, síntese de vários compostos (Westermann et al., 1994a; Talbott e Zeiger, 1996; Mengel, 2007) e assimilação de nitrogênio (Helal e Mengel, 1979).

A avaliação dos efeitos da adubação potássica sobre a cultura da batata em condições de campo foi o objetivo de diversos autores (Maier, 1986; Westermann et al., 1994ab; Fontes et al., 1996; Panique et al., 1997; Alisson et al., 2001; Davenport e Bentley, 2001; Singh e Lal, 2012; Mohr e Tomasiewicz, 2012). Entretanto, em nenhum dos trabalhos verificou o efeito da variação das doses de K sobre os principais índices de avaliação do estado de nitrogênio das plantas. É sabido que o N e K interagem na planta interferindo a absorção, transporte e o metabolismo dos mesmos, como indicado por Szczerba et al. (2006).

Assim como o K, o N também é absorvido em grande quantidade pela batateira, o que o torna elemento modulador para alcance de alta produtividade de tubérculos (Coelho et al. 2010; Braun et al. 2013). A dinâmica do N no solo é complexa, governada por processos químicos e biológicos, o que dificulta a avaliação da sua disponibilidade no solo. Essa dificuldade de avaliação do N no solo leva à recomendação imprecisa do nutriente e quando associada a excessiva aplicação de fertilizantes nitrogenados com falta de sincronia com a demanda da cultura promove perdas, principalmente por lixiviação (Zebarth et al., 2009; Busato et al. 2010). Diante das limitações de determinação de N no solo, métodos alternativos têm sido propostos para avaliação do estado de N das plantas por meio de ferramentas de análises diretas ou indiretas (Goffart et al., 2008; Muñoz-Huerta et al., 2013; Fontes, 2011), cujos resultados são positivamente correlacionados com o teor de N na

massa da matéria seca da planta e com a produtividade (Minotti et al., 2004; Fontes et al., 2010). Ademais, as fontes de N aplicada e suprimento de K alteram a concentração citosólica de K, o que evidencia a interdependência dos nutrientes (Szczerba et al. 2006).

Portanto, assume-se por hipótese que o fornecimento em doses diferenciadas de K influencie o valor do índice usado para avaliação do estado de N na planta e que há uma dose ótima de K para a máxima produtividade de tubérculos comerciais. Assim, os objetivos do trabalho foram:

- 1) Avaliar o efeito de doses de K e do residual potássico sobre a velocidade de emergência das plantas e a produtividade e qualidade de tubérculos de batata;
- 2) Determinar a dose ótima de K para a máxima produtividade de tubérculos comerciais;
- 3) Avaliar o efeito de doses de K e o seu residual sobre os valores dos índices usados para avaliação do estado de N na planta;
- 4) Avaliar a influência de doses de potássio e do residual potássico sobre os valores de pH, teores de K, Ca e Mg, relação $K/(Ca + Mg)^{1/2}$, condutividade elétrica (CE) no solo;
- 5) Estabelecer o nível crítico de K no solo e avaliar a relação entre o teor de K no solo e a produtividade de tubérculos.

Para atingir os objetivos, foram realizados dois experimentos em campo e os resultados são apresentados em três capítulos:

Capítulo 1: Produção e qualidade de tubérculos de batata em resposta à fertilização potássica.

Capítulo 2: Índices de avaliação do estado de nitrogênio das plantas influenciados por doses de potássio.

Capítulo 3: Alterações de características químicas do solo em resposta à fertilização potássica e ao residual e relação com a produtividade de tubérculos.

2. Referências bibliográficas

ALLISON, M.F.; FOWLER, J.H.; ALLEN, V.E.J. Responses of potato (*Solanum tuberosum*) to potassium fertilizers. **The Journal of Agricultural Science**. v.136, n.4, p.407-426. 2001.

AMTMANN, A.; ARMENGAUD, P. Effects of N, P, K and S on metabolism: new knowledge gained from multi-level analysis. **Current Opinion in Plant Biology**, v.12, n.1, p. 275–283, 2009.

BIRCH, P. R. J.; BRYAN, G.; FENTON, B.; GILROY, E. M.; HEIN, I.; JONES, J. T.; PRASHAR, A.; TAYLOR, M. A.; TORRANCE, L.; TOTH, I. K. Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable?. **Food Security**, v. 4, n. 1, p. 477–508, 2012.

BRAUN, H.; COELHO, F. S.; SILVA, M. C. de C.; FONTES, P. C. R.; CECOM, P. R.; BUSATO, C. Absorção, metabolismo e diagnóstico do estado de nitrogênio em plantas de batata. **Revista Ciências Agrárias**, v. 56, n. 3, p. 185-195, 2013.

BUSATO, C. FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; CECOM, P.R. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 14, 2148-2156, 2010.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L.; SILVA, M.C.C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, p.1175-1183, 2010.

DAVENPORT, J.R.; BENTLEY, E.M. Does potassium fertilizer form, source and time of application influence potato yield and quality in the Columbia Basin. **American Potato Journal**, v.78, n.4, p.311-318. 2001.

FAOSTAT - **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**, 2013. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 08 jul de 2013.

FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa: 2011. 296p.

FONTES, P.C.R., BRAUN, H., BUSATO, C., CECOM, P.R. Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars. **Potato Research**, v. 53, n. 3, p. 167-179, 2010.

FONTES, P.C.R.; REIS JR, R.A.; PEREIRA, P.R.G. Critical potassium concentration and potassium/calcium plus magnesium ratio in potato petioles associated with maximum tuber yields. **Journal of Plant Nutrition**, v. 19, n. 3-4, p. 657-667, 1996.

GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECOM, P.R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20. n. 4. p. 611-615. 2002.

GOFFART, J. P.; OLIVIER, M.; FRANKINET, M. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: past-present-future. **Potato Research**, v. 51, n. 3/4, p. 355-383, 2008.

HELAL, H.M.; K. MENGEL. Nitrogen metabolism of young barley plants as affected by NaCl salinity and potassium. **Plant Soil**, v. 51, n. 4, p. 457-462, 1979.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2013. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201309.pdf. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

IMAS, P.; BANSAL, S. K. **Integrated nutrition management in potato**. Proc. Symp. Global Potato Meet, Central Plant. Res. Inst., December, New Delhi, 1999.

KAVVADIAS, V.; PASCHALIDIS, C.; AKRIVOS, G.; PETROPOULOS, D. Nitrogen and Potassium Fertilization Responses of Potato (*Solanum tuberosum*) cv. Spunta. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, n.1, p.176–189, 2012.

MAIER, N.A. Potassium nutrition of irrigated potatoes in South Australia: 2. Effect on chemical composition and the prediction of tuber yield response by plant analysis. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 26, p. 727-736, 1986.

MENGEL, K. Potassium. In. Barker, A.V.; Pilbeam, D. J. (Eds). **Handbook of Plant Nutrition**. p.91-120. 2007.

MINOTTI, P.L.; HALSETH, D.E.; SIECZHA, J.B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. **Horscience**, v.29, n.12, p. 1497-1500. 1994.

MOHR, R. M.; TOMASIEWICZ, D. J. Effect of rate and timing of potassium chloride application on the yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L. ‘Russet Burbank’). **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, n. 4, p. 783-794, 2012.

MUÑOZ-HUERTA, R. F.; GUEVARA-GONZALEZ, R. G.; CONTRERAS-MEDINA, L. M.; TORRES-PACHECO, I.; PRADO-OLIVAREZ, J.; OCAMPO-VELAZQUEZ, R. V. Review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. **Sensors**, v. 13, n. 8 , p.10823–10843, 2013.

PANIQUE, E.; KELLING, K. A.; SCHULTE, E. E.; HERO, D. E.; STEVENSON, W. R.; JAMES, R. V. Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction. **American Potato Journal**, v. 74, n. 6, p. 379-398, 1997.

PERRENOUD, S. **Potato: fertilizers for yield and quality**. Bern: International Potash Institute, 1993. 94 p.

REIS JR, R.A. **Produção, qualidade de tubérculos e teores de potássio no solo e no pecíolo de batateira em resposta à adubação potássica**. 1995. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia (Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa.

REIS JR, R.A.; MONNERAT, P.H. Exportação de nutrientes nos tubérculos de batata em função de doses de sulfato de potássio. **Horticultura Brasileira**, v.19, n.3, p.360-364. 2001.

RODRIGUES, M.A.; COUTINHO, J.; MARTINS, F.; ARROBAS, M. Quantitative sidedress nitrogen recommendations for potatoes based upon crop nutritional indices. **European Journal Agronomy**. v. 23, p.79–88, 2005.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**. v. 27. p. 17-22. 2009.

SINGH, S.K.; LAL, S.S. Effect of potassium nutrition on potato yield, quality and nutrient use efficiency under varied levels of nitrogen application. **Potato Journal**, v.39, n.2, p.155-165. 2012.

SZCZERBA, M.W.; BRITTO, D.T.; KRONZUCKER, H. Rapid, futile K⁺ cycling and pool-size dynamics define low-affinity potassium transport in barley. **Plant Physiology**, v.141, p.1494-1507. 2006.

TALBOTT, L. T.; ZEIGER, E. Central roles for potassium and sucrose in guard-cell osmoregulation. **Plant Physiology**, v.111, p. 1051-1057. 1996.

WESTERMANN, D. T.; JAMES, D. W.; TINDALL, T. A.; HURST, T. R. L. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: sugars and starch. **American Potato Journal**, v. 71, p. 433-454, 1994b.

WESTERMANN, D.T.; TINDALL, T.A.; JAMES, D.W.; HURST, T.R.L. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: yield and specific gravity. **American Potato Journal**, v. 71, p. 417-432, 1994a.

ZEBARTH, B. J.; DURY, C. F.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A. N. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. **Canadian Journal of Soil science**, v. 89, n. 2, p. 113-132, 2009.

CAPÍTULO I

Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em resposta à fertilização potássica

1. Introdução

A batata é importante cultura alimentícia no cenário mundial, rica em carboidratos e proteínas (Birch et al, 2012; Wibowo et al. 2014). A produção e qualidade dos tubérculos de batata requerem adequada fertilização (Tein et al. 2014), especialmente de potássio (K), nutriente absorvido em grande quantidade pela planta (Imas e Bansal, 1999; Reis Júnior e Monnerat, 2001; Nunes et al. 2006). A maioria dos solos não supre a necessidade de K pela planta, havendo necessidade de aplicação de fertilizante. Desta forma, o adequado manejo da fertilização potássica é fundamental para produção sustentável de batata (Alva et al. 2011).

A fertilização potássica afeta a produtividade e a qualidade de tubérculos de batata principalmente em solos com baixa reserva de K disponível (Perrenoud, 1993; Westermann et al. 1994; Panique et al. 1997; Kavvadias, 2012). Entretanto, muitas pesquisas reportam ausência de efeito do K sobre a produtividade em solos de baixo e alta disponibilidade do nutriente (Allison et al. 2001; Mohr e Tomasiewicz, 2012). A adição de K, muitas vezes, aumenta a massa da matéria fresca dos tubérculos sem, no entanto, reduzir a massa da matéria seca (Reis e Monnerat, 1997; Allison et al. 2001). Tal fato ocorre devido a maior absorção de água. A adição de K além de aumentar a produção de tubérculos, aumentou a massa da matéria seca da parte área (El-Sirafy et al., 2008). Adicionalmente, Fontes et al. (1996) obtiveram com doses de K, aumento na produtividade de total de tubérculos, teor de K na massa da matéria seca do pecíolo das folhas e redução dos teores de Ca e Mg.

A aplicação de K, além de aumentar a produtividade, aumenta o número e o tamanho dos tubérculos (Sing e Lal, 2012; Mohr e Tomasiewicz, 2012). Geralmente, com o aumento da dose de K há aumento no tamanho médio dos tubérculos, permitindo aumento na proporção de tubérculos grandes (Perrenoud, 1993), e da proporção de tubérculos comerciais e totais (Westermann et al., 1994). A produção e o número dos tubérculos não comerciais são significativamente reduzidos com aumento das doses de K (Sing e Lal, 2012), efeito desejável, pois incrementa o índice de colheita comercial.

O teor de matéria seca e a gravidade específica dos tubérculos são importantes aspectos de qualidade influenciados pelo K (Perrenoud, 1993; Braun et al. 2010). O teor de

matériaseca dos tubérculos é reduzido com o aumento da fertilização potássica, principalmente com aplicação de KCl (Allison et al. 2001; Kavvadias, 2012). Também, a aplicação excessiva de K reduz a gravidade específica dos tubérculos, com maior efeito quando aplicado o KCl comparado à outra fonte (Panique et al. 1997; Mohr e Tomasiewicz, 2012). Contrariamente, autores afirmam que há redução na gravidade específica com aplicação de K, sem no entanto, diferir entre as fontes aplicadas (Davenport e Bentley, 2001; Westermann et al. 1994).

O K é o nutriente extraído em maior quantidade pelos tubérculos de batata, sendo necessário adequada reposição por meio de fertilização para apropriado crescimento e desenvolvimento das plantas (Reis e Monnerat, 1997) e, também, para evitar o esgotamento das reservas do solo. Entretanto, o modelo de fertilização praticado pelos produtores baseia-se na aplicação de dose excessiva de K para eliminar o risco de comprometimento da produtividade. Porém, alta dose de K eleva o custo de produção e impacta negativamente o ambiente, contaminando os recursos hídricos (Kavvadias et al. 2012).

Muitos estudos avaliaram a resposta da batata à fertilização potássica, contudo é importante estudar o efeito do K sobre a batata com especificidade genótipo-ambiente, haja vista que são raros os estudos com a cultivar Ágata. Espera-se com isso, evitar recomendações padronizadas e consumo de luxo de K pelas plantas, e assim otimizar a produtividade e o uso do fertilizante potássico pela planta.

Portanto, os objetivos deste capítulo foram:

- 1) Avaliar o efeito de doses de K e do residual sobre a velocidade de emergência das plantas e a produtividade e qualidade de tubérculos de batata;
- 2) Avaliar dois modelos estatísticos para a descrição da relação entre as doses de K e a produtividade comercial de tubérculos;
- 3) Determinar a dose ótima de K para a máxima produtividade de tubérculos comerciais.

2. Material e Métodos

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Foram instalados dois experimentos. O experimento 1 foi realizado no período de Junho a Setembro de 2013 e o segundo no período de Março a Julho de 2014, na Horta Nova, Unidade de Pesquisa e Extensão do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG. O município de Viçosa situa-se a altitude de 694 m, latitude de 20°45'14" sul e longitude de 42°52'55" oeste, com

classificação de Koeppen (1948) do tipo Cwa, definido pelo clima tropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno.

Foram coletados diariamente dados climáticos em estação meteorológica próxima ao local do experimento. Os dados coletados estão apresentados na Figura 1 e 2.

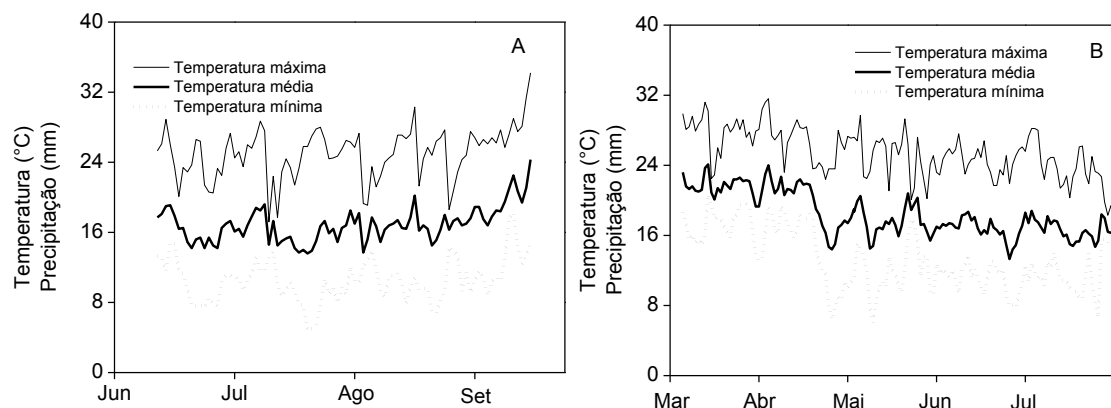


Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima durante a condução do experimento 1 [Junho a Setembro de 2013] (A) e experimento 2 [Março a Julho de 2014] (B).

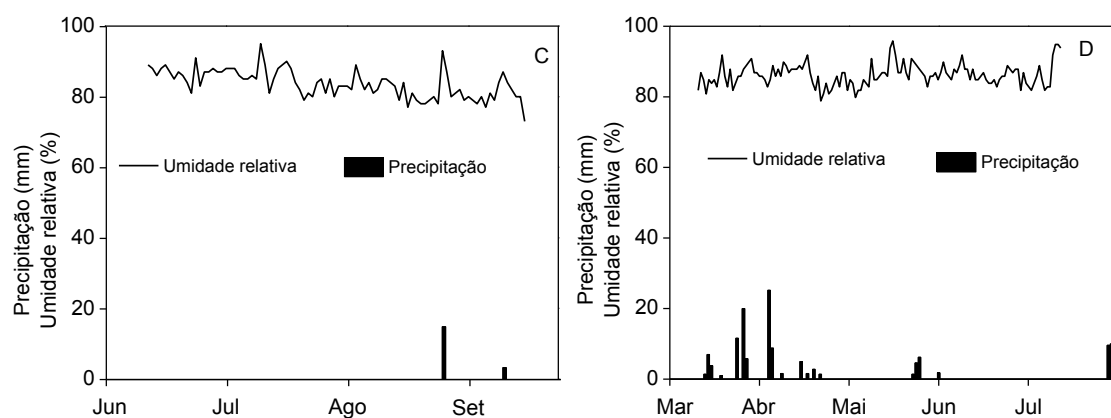


Figura 2 Umidade relativa e precipitação durante a condução do experimento 1 [Junho a Setembro de 2013] (A) e experimento 2 [Março a Julho de 2014] (B).

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico (Embrapa, 1999). Anteriormente à instalação do experimento, foram coletadas amostras de solos da camada de 0-20 cm de profundidade para caracterização física e química (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e físicas da camada do solo de 0-20 cm de profundidade da área experimental antes da instalação do experimento.

Característica químicas	Valor
pH (H ₂ O) ¹	5,30
P (mg dm ⁻³) ²	13,6
K (mg dm ⁻³) ²	38
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³) ³	2,6
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³) ³	0,70
Acidez trocável (Al ³⁺) (cmolc dm ⁻³) ³	0,0
Acidez potencial (H ⁺ + Al ³⁺) (cmolc dm ⁻³) ⁴	2,97
Soma de bases (SB) (cmolc dm ⁻³)	3,40
CTC efetiva (t) (cmolc dm ⁻³)	3,40
CTC a pH 7,0 (I) (cmolc dm ⁻³)	6,37
Saturação por bases (V) (%)	53
P-remanescente (mg dm ⁻³)	33,6
Característica físicas	
Areia (%)	33
Silte (%)	15
Argila (%)	52

¹pH (1:2,5); ²Extrator Mehlich 1; ³Extrator KCl 1 mol L⁻¹; ⁴Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0.

2.2 Tratamentos e delineamento

No experimento 1, os tratamentos foram constituídos de cinco doses de potássio (0, 110, 220, 440 e 880 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de KCl (58%), aplicado em pré-plantio no sulco. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela foi composta de quatro fileiras de oito plantas, no espaçamento de 0,75 x 0,25 m. Como fileiras úteis foram utilizadas apenas as duas centrais.

O experimento 2 foi instalado no mesmo local do experimento 1 obedecendo-se o mesmo sorteio para a localização das parcelas que continham as cinco doses de potássio. Os tratamentos foram os residuais das doses aplicadas no experimento anterior.

2.3 Instalação e condução do experimento

Para instalação do experimento 1, o solo da área foi preparado com aração, utilizando arado de aiveca, e nivelado com grade niveladora, com posterior sulcamento. Posteriormente, realizou-se a adubação pré-plantio. A adubação, realizada no sulco, consistiu da aplicação de 500 kg ha⁻¹ de uréia (45%); 1800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅); 220 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio (9% de Mg); 10 kg ha⁻¹ de bórax (11% de B); 10 kg ha⁻¹ sulfato de zinco (22% de Zn); 10 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre (24% de Cu) e 0,5 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio (39% de Mo). O fertilizante nitrogenado foi parcelado, metade da dose aplicada em pré-plantio e o restante em cobertura, na época da amontoa (21 dias após a emergência das plantas - DAE).

O plantio dos tubérculos foi realizado no dia 17/06/13, utilizando-se como material propagativo batata-semente certificada da cultivar Ágata, devido predominância e expressiva área de cultivo no país. No sulco de plantio, também realizou-se a aplicação do inseticida Carbofuran. A amontoa foi realizada aos 21 DAE (19/07/13). O experimento foi irrigado por aspersão convencional, de acordo com o procedimento adotado por Nunes (2004). A cultura foi conduzida no campo segundo recomendações de Fontes (2005), sendo o controle de pragas e doenças realizado com a aplicação de defensivos químicos com os ingredientes ativos Carbofuran, Mancozeb, Oxidloreto de Cobre e Deltametrin.

O experimento 2 foi instalado em 14/03/14 e conduzido de maneira semelhante ao experimento 1, exceto quanto a adição de K. Como material propagativo batata-semente utilizou-se os tubérculos colhidos no experimento 1, os quais foram armazenados em câmara fria. A completa emergência das plantas ocorreu no dia 05/04/14 e a amontou foi realizada aos 21 DAE (26/04/14).

2.4 Características avaliadas

2.4.1 Índice de velocidade de emergência das plantas

Após o plantio até a completa emergência das plantas, foram contabilizados diariamente o número de plantas emergidas com pelo menos uma haste acima do solo em cada parcela. Com os valores obtidos estimou-se o índice de velocidade de emergência das plantas conforme metodologia proposta por Maguire (1962).

2.4.2 Número e matéria fresca de tubérculos comerciais e não comerciais

Aos 88 DAE (23/09/13) e aos 84 DAE (28/07/14) no experimento 1 e 2, respectivamente, os tubérculos da área útil foram colhidos. Após a colheita, os tubérculos foram levados para um galpão, onde foram classificados, quantificados e pesados. Os tubérculos foram classificados de acordo com o diâmetro transversal (PORTARIA Nº 69, de 21/02/1995 do MARA) em: classe 1 (diâmetro maior ou igual a 8,5 cm); classe 2 (maior que 4,5 e menor que 8,5 cm); classe 3 (maior que 3,3 e menor que 4,5 cm) e classe 4 (menor ou igual a 3,3 cm). A produção comercial foi obtida com a soma das classes 2 e 3, sem a classe 1 de tubérculos que não foi produzida. Os tubérculos não comerciais foram considerados aqueles pertencentes à classe 4, além dos podres, atacados por pragas e doenças, com defeitos de esverdeamento, embonecamento ou rachaduras.

2.4.3 Teor e massa da matéria seca de tubérculos

Após a colheita, em uma amostra de seis tubérculos comerciais por parcela, foi determinada a massa da matéria seca dos tubérculos. Os tubérculos foram cortadas, mantido em placas de Petri para a secagem parcial. Posteriormente, foram secos em estufa de circulação forçada de ar, a 70°C até massa constante. Com os valores de massa da matéria seca, posteriormente, determinou-se o teor de massa da matéria seca nos tubérculos.

2.4.4 Gravidade específica do tubérculo

A gravidade específica foi determinada em amostra de seis tubérculos comerciais por parcela, seguindo-se o método da flutuação em solução salina descrito em Reis Jr. (1995).

2.4.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão utilizando-se o software estatístico SAEG, versão 9.1, (SAEG, 2007). Como critério para seleção dos modelos, adotou-se o significado biológico, a significância dos coeficientes de regressão, admitindo-se para o teste “t” o nível de teste até 10 % de probabilidade, e o coeficiente de determinação ($R^2 = SQ_{regressão}/SQ_{tratamento}$).

Para obtenção da dose de K_2O para a produção de máxima eficiência física (MEF) igualou-se a zero a primeira derivada da equação ajustada da produção comercial de tubérculos. A dose de K_2O para a máxima eficiência econômica (MEE) foi obtida igualando-se a primeira derivada da equação à relação entre o preço médio do K_2O contido no KCl e o preço da batata durante o período de cinco anos (setembro de 2008 a setembro 2013). Os preços foram obtidos no Instituto de Economia Agrícola de São Paulo (IEA, 2014). A relação média de preço (kg de KCl:kg de batata) foi 2,29 referente ao preço da batata de R\$ 0,79 kg^{-1} e o preço do K na forma de cloreto de potássio de R\$ 1,81 kg^{-1} ou 3,23 kg^{-1} de K_2O .

Para a produtividade comercial (PC) de tubérculos de batata foram ajustados dois modelos estatísticos (quadrático e raiz quadrático) para descrever a relação com as doses de K_2O . Para seleção do melhor modelo foram utilizados os critérios descritos anteriormente, além do critério do menor quadrado médio independente da regressão. A partir das equações ajustadas para PC e da dose de MME foi calculado a produtividade comercial estimada (PCE) para os dois modelos.

3. Resultados

Os valores mínimos, máximos, médio e o coeficiente de variação observados para as variáveis índice de velocidade de emergência; número de tubérculos classe II, III, IV, comerciais e totais; produtividade de tubérculos classe II, III, IV, comerciais e total; massa de matéria seca de tubérculos classe II, III, IV, comerciais e total; teor de massa matéria seca e gravidade específica no experimento 1 e 2 estão apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

No experimento 1, houve efeito de doses de K sobre todas as variáveis avaliadas, sendo a relação entre a dose de K e cada variável apresentada na Tabela 4.

No experimento 2, houve efeito do residual de K apenas sobre número de tubérculos da classe II e comercial, produtividade e massa de matéria seca de tubérculos classe II, IV, comercial e total. A relação descrita entre a dose de K e cada variável está apresentada na Tabela 4.

Tabela 2. Valor mínimo, máximo, média e coeficiente de variação (CV%) observado para cada variável dependente no experimento 1 (n=20).

Variável dependente	Abreviação	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	CV(%)
Emergência das plantas						
Índice de velocidade de emergência	IVE	-	1,300	1,409	1,36	1,37
Número de tubérculos classificados						
Número de tubérculos classe II	NTC2	un/planta	2,30	5,30	3,86	12,24
Número de tubérculos classe III	NTC3	un/planta	3,0	7,40	5,32	14,51
Número de tubérculos classe IV	NTC4	un/planta	3,40	8,70	6,25	20,33
Número de tubérculos comerciais	NTC	un/planta	7,30	10,90	9,19	5,64
Número de tubérculos totais	NTT	un/planta	11,70	18,60	15,44	9,17
Produtividade de tubérculos classificados						
Produtividade classe II	PC2	t ha ⁻¹	12,32	25,60	20,12	9,79
Produtividade classe III	PC3	t ha ⁻¹	8,20	14,98	11,67	8,63
Produtividade classe IV	PC4	t ha ⁻¹	1,91	6,15	3,31	21,56
Produtividade Comercial	PC	t ha ⁻¹	21,31	38,01	32,43	4,20
Produtividade Total	PTT	t ha ⁻¹	24,13	42,42	35,11	6,87
Massa de matéria seca de tubérculos classificados						
Massa de matéria seca tubérculos classe II	MSTC2	t ha ⁻¹	2,25	3,83	3,07	9,04
Massa de matéria seca tubérculos classe III	MSTC3	t ha ⁻¹	1,20	2,25	1,85	6,62
Massa de matéria seca tubérculos classe IV	MSTC4	t ha ⁻¹	0,37	0,73	0,50	15,85
Massa de matéria seca tubérculos comerciais	MSTC	t ha ⁻¹	3,89	5,76	4,94	5,07
Massa de matéria seca tubérculos totais	MSTT	t ha ⁻¹	4,41	6,21	5,40	6,16
Características pós-colheita dos tubérculos						
Teor de massa de matéria seca	TMST	%	13,87	18,73	15,86	3,0
Gravidade específica	GE	-	1,0596	1,0782	1,0672	0,28

Tabela 3. Valor mínimo, máximo, média e coeficiente de variação (CV%) observado para cada variável dependente no experimento 2 (n=20).

Variável dependente	Abreviação	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	CV(%)
Emergência das plantas						
Índice de velocidade de emergência	IVE	-	0,918	1,012	0,96	3,43
Número de tubérculos classificados						
Número de tubérculos classe II	NTC2	un/planta	0,50	5,25	2,19	40,24
Número de tubérculos classe III	NTC3	un/planta	1,50	5,50	3,41	37,60
Número de tubérculos classe IV	NTC4	un/planta	1,00	9,75	4,75	43,14
Número de tubérculos comerciais	NTC	un/planta	2,50	7,75	5,60	22,16
Número de tubérculos totais	NTT	un/planta	7,50	15,00	10,35	17,1
Produtividade de tubérculos classificados						
Produtividade classe II	PC2	t ha ⁻¹	3,87	23,01	10,68	18,66
Produtividade classe III	PC3	t ha ⁻¹	3,12	11,97	7,79	35,71
Produtividade classe IV	PC4	t ha ⁻¹	1,15	6,64	3,07	30,48
Produtividade Comercial	PC	t ha ⁻¹	7,00	29,39	18,47	17,07
Produtividade Total	PTT	t ha ⁻¹	13,63	31,09	21,54	13,53
Massa de matéria seca de tubérculos classificados						
Massa de matéria seca tubérculos classe II	MSTC2	t ha ⁻¹	0,68	4,42	2,03	20,8
Massa de matéria seca tubérculos classe III	MSTC3	t ha ⁻¹	0,55	2,21	1,47	35,27
Massa de matéria seca tubérculos classe IV	MSTC4	t ha ⁻¹	0,19	1,17	0,57	29,19
Massa de matéria seca tubérculos comerciais	MSTC	t ha ⁻¹	1,23	5,63	3,50	18,96
Massa de matéria seca tubérculos totais	MSTT	t ha ⁻¹	2,32	6,05	4,07	16,22
Características pós-colheita dos tubérculos						
Teor de massa de matéria seca	TMST	%	16,6	20,5	18,96	3,0
Gravidade específica	GE	-	1,0633	1,0782	1,074275	0,33

Tabela 4. Equações ajustadas para índice de velocidade de emergência (IVE), número de tubérculos classe II (NTC2), classe III (NTC3), classe IV (NTC4), comercial (NTC) e totais (NTT); produtividade de tubérculos classe II (PTC2), classe III (PTC3), classe IV (PTC4), total (PT) e comercial (PC); massa de matéria seca tubérculos classe II (MSTC2), classe III (MSTC3) e classe IV (MSTC4), tubérculos comerciais (MSTC) e tubérculos totais (MSTT); teor de massa de matéria seca (TMST, %) e gravidade específica (GE) dos tubérculos em resposta à doses de potássio.

Variável	Equação Ajustada	R ²
Índice de velocidade de emergência das plantas		
IVE	$\hat{Y} = 1,30887 + 0,00862^{**}\sqrt{K} - 0,00024598^{**}K$	0,9948
Número de tubérculos classificados (un planta⁻¹)		
NTC2	$\hat{Y} = 3,19750 + 0,00203^{**}K$	0,9742
NTC3	$\hat{Y} = 4,83754 + 0,00779^{**}K - 0,00001053^{**}K^2$	0,9974
NTC4	$\hat{Y} = 7,37500 - 0,00341^{*}K$	0,8352
NTC	$\hat{Y} = 7,96043 + 0,24024^{*}\sqrt{K} - 0,00733^{*}K$	0,9552
NTT	$\hat{Y} = 15,37923 + 0,00817^{*}K - 0,00001280^{*}K^2$	0,9806
Produtividade de tubérculos classificados (t ha⁻¹)		
PTC2	$\hat{Y} = 16,27725 + 0,01166^{*}K$	0,7934
PTC3	$\hat{Y} = 10,75646 + 0,01497^{**}K - 0,00001956^{**}K^2$	0,9952
PTC4	$\hat{Y} = 2,54831 + 0,00772^{*}K - 0,00000868^{*}K^2$	0,9502
PT	$\hat{Y} = 27,58585 + 0,05374^{*}K - 0,00004963^{*}K^2$	0,9488
Massa de matéria seca de tubérculos classificados (t ha⁻¹)		
MSTC2	$\hat{Y} = 2,48954 + 0,00295^{**}K - 0,00000188^{*}K^2$	0,9963
MSTC3	$\hat{Y} = 1,94154 + 0,00088394^{0}K - 0,00000186^{*}K^2$	0,9879
MSTC4	$\hat{Y} = 0,44231 + 0,01770^{*}\sqrt{K} - 0,00062787^{*}K$	0,9749
MSTC	$\hat{Y} = 4,42323 + 0,00407^{***}K - 0,00000399^{***}K^2$	0,9998
MSTT	$\hat{Y} = 4,90292 + 0,00410^{*}K - 0,00000417^{*}K^2$	0,9757
Características pós-colheita dos tubérculos		
TMST	$\hat{Y} = 18,24584 - 0,20824^{***}\sqrt{K} + 0,00235^{**}K$	0,9996
GE	$\hat{Y} = 1,07118 - 0,00001204^{*}K$	0,8730

NS, ***, **, * e ⁰: Não-significativo, significativo ao nível de 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Tabela 5. Equações ajustadas índice de velocidade de emergência (IVE), número de tubérculos classe II (NTC2), classe III (NTC3), classe IV (NTC4), comercial (NTC) e totais (NTT); produtividade de tubérculos classe II (PTC2), classe III (PTC3), classe IV (PTC4), total (PT) e comercial (PC); massa de matéria seca tubérculos classe II (MSTC2), classe III (MSTC3) e classe IV (MSTC4), tubérculos comerciais (MSTC) e tubérculos totais (MSTT); teor de massa de matéria seca (TMST, %) e gravidade específica (GE) dos tubérculos em resposta ao residual de doses de potássico.

Variável	Equação Ajustada	R ²
Índice de velocidade de emergência das plantas		
IVE	$\hat{Y} = 0,97437 - 0,00002918^*K$	0,7370
Número de tubérculos classificados (un planta⁻¹)		
NTC2	$\hat{Y} = 1,18800 + 0,00304^{**}K$	0,9689
NTC3	$\hat{Y} = 3,41$	-
NTC4	$\hat{Y} = 4,75$	-
NTC	$\hat{Y} = 4,77100 + 0,00254^*K$	0,8814
NTT	$\hat{Y} = 10,35$	-
Produtividade de tubérculos classificados (t ha⁻¹)		
PTC2	$\hat{Y} = 4,08450 + 0,01999^{**}K$	0,9807
PTC3	$\hat{Y} = 7,78$	-
PTC4	$\hat{Y} = 3,89025 - 0,00248^{**}K$	0,9368
PTC	$\hat{Y} = 12,49200 + 0,01811^{**}K$	0,9903
PT	$\hat{Y} = 16,37675 + 0,01563^{***}K$	0,9900
Massa de matéria seca de tubérculos classificados (t ha⁻¹)		
MSTC2	$\hat{Y} = 0,76800 + 0,00382^{***}K$	0,9873
MSTC3	$\hat{Y} = 1,47$	-
MSTC4	$\hat{Y} = 0,72250 - 0,00043182^{**}K$	0,9266
MSTC	$\hat{Y} = 2,32975 + 0,00353^{***}K$	0,9842
MSTT	$\hat{Y} = 3,05255 + 0,00310^{**}K$	0,9797
Características pós-colheita dos tubérculos		
TMST	$\hat{Y} = 18,97$	-
GE	$\hat{Y} = 1,0743$	-

***, ** e *: Significativo ao nível de 0,1; 1 e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Os parâmetros estimados das equações ajustadas para a relação entre a produtividade comercial de tubérculos (PC) e as doses de K, utilizando-se os modelos quadrático e raiz quadrático, além da dose associada à produção de máxima eficiência física (DOK_{MEF}) e econômica (DOK_{MME}) estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros estimados das equações ajustadas para a relação entre a produtividade comercial de tubérculos no experimento 1 em função das doses potássio utilizando os modelos quadrático e raiz quadrático.

Parâmetros estimados	Modelos	
	Quadrático	Raiz Quadrático
Intercepto (β_0)	25,37708**	23,67764**
Termo linear (β_1)	0,050145*	-0,02701*
Termo quadrático/Raiz (β_2)	-0,00004615 ⁰	1,16309*
R ²	0,9279	0,9811
QME ¹	1,9301	0,9903
DOK_{MEF} (kg ha ⁻¹) ²	543,33	463,57
DOK_{MEE} (kg ha ⁻¹) ³	518,36	392,56
PCE (t ha ⁻¹) ⁴	38,9	36,1

¹Quadrado médio do erro.²Dose de K₂O para a produção de máxima eficiência física

³Dose ótima de dose de K₂O para a produção de máxima eficiência econômica.

⁴Produtividade comercial estimada com DOK_{MME} . **, * e ⁰: Significativo ao nível de 1; 5 e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

O efeito das doses de K e do seu residual sobre o índice de velocidade de emergência das plantas está apresentado na Figura 2.

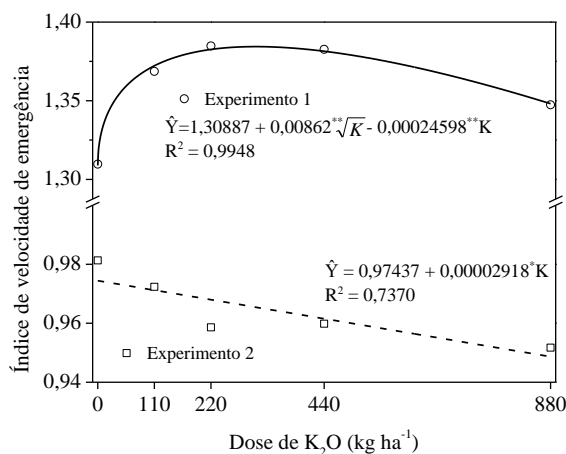


Figura 2. Índice de velocidade de emergência das plantas em função de doses de potássio e do residual.

O efeito das doses de K e do residual sobre a produtividade comercial e total de tubérculos de batata está apresentado na Figura 3.

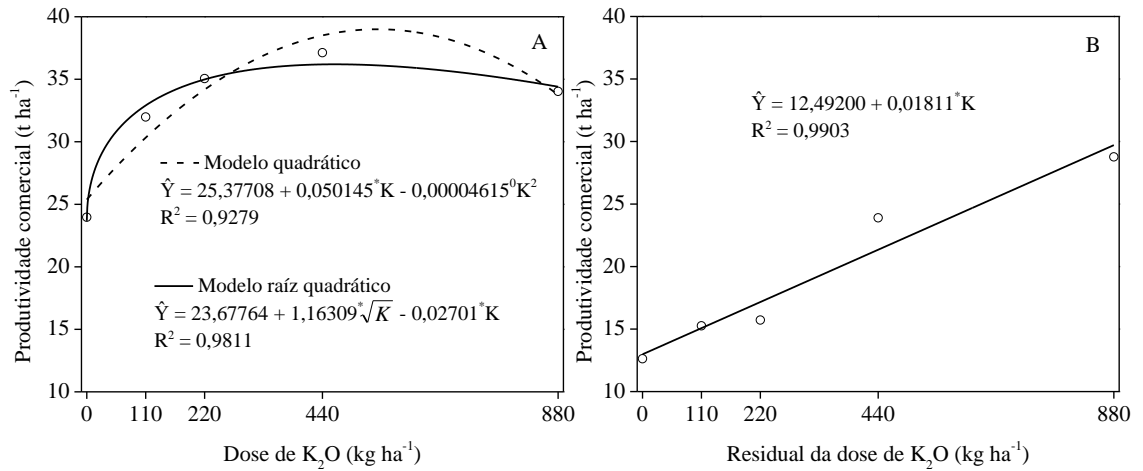


Figura 3. Relação entre doses de potássio e a produtividade comercial de tubérculos de batata e representada pelo modelo quadrático e raiz quadrada no experimento 1 (A) e experimento 2 (B).

O efeito das doses de K sobre o teor de massa de matéria seca e gravidade específica dos tubérculos de batata está apresentado na Figura 4.

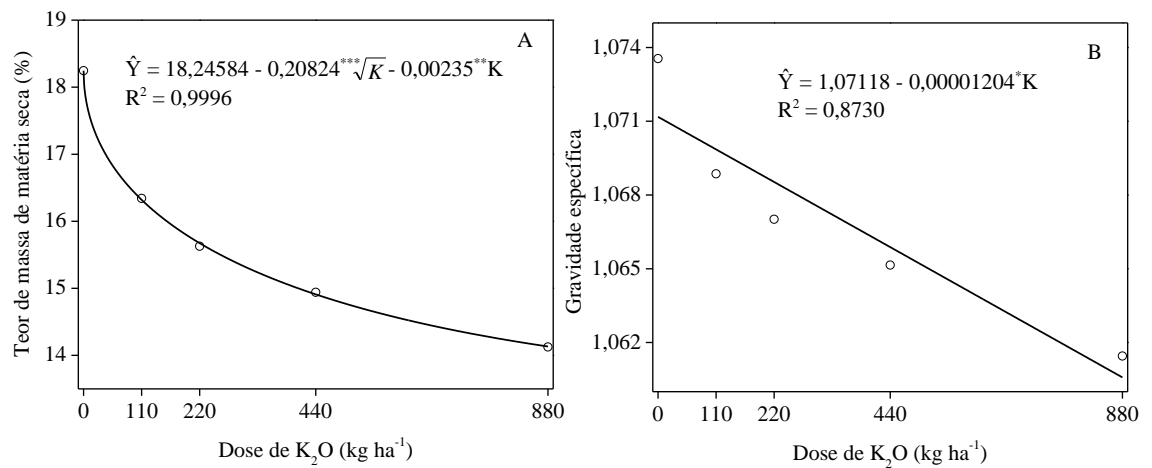


Figura 4. Teor de massa de matéria seca (A) e gravidade específica dos tubérculos (B) em função de doses de potássio no experimento 1. ***, ** e *: Significativo ao nível de 0,1, 1 e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

4. Discussão

4.1 Índice de velocidade de emergência

Houve efeito do aumento das dose de K sobre o índice de velocidade de emergência (IVE). No experimento 1, tanto o ausência quanto o excesso de K reduzem o IVE, atingindo valor ótimo com aplicação de K 307 kg ha⁻¹ de K₂O. A redução do IVE indica atraso na emergência das plantas, provavelmente pela inibição da divisão celular e alongação dos tecidos meristemáticos (Levy et al. 1993). No experimento com residual potássico, o IVE foi reduzido linearmente com o aumento do resíduo da adubação.

Os valores do IVE no experimento residual foram aparentemente menores quando comparados aos do experimento 1. Esse resultado possivelmente seja devido à alta temperatura ocorrida no período inicial do segundo plantio (Figura 1b) ou pela possível diferença quanto aos aspectos fisiológicos existente entre os tubérculos semente utilizados nos dois experimentos.

A rápida emergência da batata-semente é desejada, pois reduz a exposição das plantas ao ataque de pragas e doenças (Nunes, 2004). Além disso, maior IVE pode favorecer rápida formação da parte área (Mustonen, 2004), resultando maior interceptação de radiação para produção de tubérculos (Tekalign e Hammes, 2005b). Desta forma, evidencia-se que a aplicação de K pode aumentar o IVE das plantas, todavia, aplicação excessiva de K reduz o IVE.

4.2 Número de tubérculos

Houve efeito distinto da fertilização potássica e do residual sobre o número de tubérculos classificados. Tubérculos da classe I (>85mm) não foram produzidos nos dois experimentos, resultado também observado por Fontes et al. (2012). A produção de tubérculos da classe I é mais influenciada pela adubação orgânica, devido à alta disponibilidade de N (Haase et al. 2007).

O aumento das doses de K elevou linearmente número de tubérculos da classe II (NTC2), entre 45 – 85 mm, nos dois experimentos. Aumento linear no número de tubérculos grandes com aplicação de K também foi observada por Sing e Lal (2012). Todavia esses autores observaram menor porcentagem de incremento (12%) no número de tubérculos do que o encontrado no experimento 1. O efeito da fertilização potássica sobre o número de tubérculos por planta é variável, sendo muitas vezes derivado de interações entre das condições de fertilidade do solo e a cultivares (Perrenoud, 1993; Fernandes et al. 2010).

O número de tubérculos da classe III (NTC3), entre 33 e 45 mm, incrementou de forma quadrática com a fertilização potássica. Entretanto, o resíduo de K não afetou o NTC3. Recentemente, Sing e Lal (2012) mostraram que o número de tubérculos médios é aumentado com aplicação de até 150 kg ha⁻¹ de K, dose inferior a estimada como ótima no presente experimento (379 kg ha⁻¹). Essa variação da resposta da batata à fertilização potássica é devido principalmente ao nível do nutriente no solo, geralmente a maior resposta ocorre em solos pobres em K (Allison et al. 2001).

O número de tubérculos da classe IV (NTC4), <33 mm, não comerciais, foi linearmente reduzido com aumento da dose de K no experimento 1. Diferentemente, o residual de K não afetou o NTC4. Na produção de tubérculos, a redução do número de tubérculos não comerciais é desejável, porquanto o aumento do percentual de tubérculos comerciais reflete retorno econômico da cultura. A preferência do produtor em relação ao tamanho dos tubérculos para plantio depende do aspecto econômico (Fonte et al. 2012). O plantio de tubérculos menores pode reduzir os custos, todavia os tubérculos maiores possuem maior reserva e número de gemas, o que garante maior número de hastes e desenvolvimento inicial de planta com mais vigor.

No geral, o número de tubérculos comerciais (NTC) e totais (NTT) foram influenciados positivamente pela fertilização potássica, com o aumento representado pelos modelos raiz quadrático e quadrático, respectivamente. Todavia, o efeito residual de K aumentou apenas o NTC, composto principalmente pela classe NT2. Esses resultados são contrários aos de Trehan et al. (2001) que mostram ausência de efeito do K sobre número de tubérculos por planta. A fertilização potássica, com até 250 kg ha⁻¹ de KCl, pouco influenciou o NTT de acordo com Mohr e Tomaszewicz (2012), enquanto Kavvadias et al. (2012) reportam significativo aumento com aplicação de 450 kg ha⁻¹ de K₂O. No solo do presente experimento, os resultados evidenciam aumento no NTC e NTT com a fertilização potássica, todavia com pouco efeito residual.

4.3 Produtividade de tubérculos

A produtividade de tubérculos das classes II, III e IV foi influenciada pela fertilização potássica. O residual potássico aumentou linearmente a produtividade de tubérculo da classes II e reduziu a da classe IV. A maior proporção da produtividade comercial foi composta pela classe de tubérculos grande (Classe II), em concordância com Panique et al. (1997). A distribuição dos tubérculos em classe é de interesse da indústria e do comércio e a produção nas classes desejada pode ser importante comercialmente (Haase et al. 2007; Fontes et al. 2012). O aumento da produtividade de tubérculos grandes e

médios com a aplicação de K também foi observado por Sing e Lal (2012), embora tenham constatado redução linear para os tubérculos pequenos. Resultados semelhantes ao deste experimento nem sempre são constatados na literatura. A aplicação de fertilizantes potássicos não influenciou a produtividade de tubérculos (Kavvadias et al. 2012; Mohr e Tomasiewicz, 2012), mesmo em solos com média disponibilidade de K.

A produtividade de tubérculos comerciais (PC) aumentou com a fertilização potássica e com o residual. O aumento das doses de K elevou de forma quadrática e raiz quadrática a PC, sendo a dose ótima para a obtenção de máxima produtividade de 543,33 e 463,57 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente, em cada modelo. Com os modelos quadrático e raiz quadrático e o preço de batata de R\$ 0,79 kg⁻¹ e do KCl (58%) de R\$ 1,81 kg⁻¹, a produtividade comercial seria de 39,0 e 36,1 t ha⁻¹ e os gastos com o fertilizante de R\$ 1.756,12 ha⁻¹ e R\$ 1.498,32 ha⁻¹, respectivamente.

Conservadoramente utilizou-se o modelo raiz quadrático para os cálculos futuros. O melhor ajuste da PC foi obtido com modelo raiz quadrático, com maior valor de R² (98,11%) e menor quadrado médio do erro (0,9903) em comparação ao modelo quadrático. Com o modelo raiz quadrático, a dose de 392,5 kg ha⁻¹ de K₂O, de máxima eficiência econômica (MME), propiciou a máxima PC de 36,1 t ha⁻¹, dose pouco superior à recomendada para a batata em Minas Gerais (Fontes et al. 1999). A dose de MEE permitiu aumento em 53,0 % na PC em relação à testemunha, sem aplicação de K.

Resposta positiva em produtividade de tubérculos com a aplicação de K depende de outros fatores (Fontes et al. 1996). Em regiões do Canadá, em solo com o teor de K superior a 200 mg dm⁻³ não é recomendada aplicação de K (Mohr e Tomasiewicz, 2012). Da mesma forma, Allison et al. (2001) sugerem, para solos com teor de K menor que 120 mg dm⁻³, que a aplicação não exceda 210 kg ha⁻¹ de K. Esses mesmos autores avaliando a resposta da batata aplicação de K em 33 experimentos, observaram aumento significativo na produção em apenas sete experimentos.

Estudo realizado na mesma região deste experimento, utilizando-se sulfato de potássio e a cultivar Baraka, foram alcançadas as produtividades totais e comerciais máximas de 30,5 e 27,5 t ha⁻¹ com aplicação de 353,4 e 383,7 kg ha⁻¹ de K₂O (Fontes et al. 1996). Os resultados do presente experimento e os relatados por Fontes et al. (1996) foram obtidos em solo com teor baixo e médio de K, respectivamente. O solo do presente experimento apresentou originalmente 38 mg dm⁻³ de K, valor interpretado como baixo (Alvarez et al. 1999).

No experimento 2, a produtividade comercial e total aumentou de forma linear com o aumento no residual potássico. O residual da aplicação de 393,5 kg ha⁻¹ de K₂O, dose de MEE aplicada no experimento 1, proporcionou a produtividade comercial de 19,6 t ha⁻¹. O

residual de K pode aumentar a produtividade da batata, entretanto esse efeito positivo está associado à capacidade trocável de K do solo (Allison et al. 2001). De acordo com esses autores, o aumento da produtividade de tubérculo com residual de K é obtido em solo mais argiloso com baixa reserva de K, que permitem aumentar a capacidade trocável de K no solo, sem ocorrência de perdas por lixiviação como pode ocorrer em solos arenosos.

As doses de 392,5 e de 880 kg ha⁻¹ de K₂O aplicadas no experimento 1 propiciaram as maiores produtividades comercial de tubérculos no experimento 1 e 2, 36,1 e 28,4 t ha⁻¹, respectivamente. Aplicando-se 880 kg ha⁻¹ apenas no primeiro plantio, as produtividades seriam de 34,4 e 28,4 t ha⁻¹, ou seja, no conjunto dos dois experimentos seriam obtidos 62,8 t ha⁻¹, isto é 71 kg de tubérculos por kg de K₂O.

4.4 Massa de matéria seca de tubérculos

A aplicação de K e o residual aumentaram a produção de massa da matéria seca dos tubérculos da classe II (MSTC2), seguindo o mesmo padrão de resposta da produtividade comercial. Do mesmo modo, houve efeito positivo do aumento das doses de K sobre a massa da matéria seca dos tubérculos da classe III (MSTC3), com resposta seguindo o modelo quadrático e o padrão de resposta similar ao observado para o número e produção de tubérculos. Todavia, o efeito residual da adubação potássica não afetou a produção de massa da matéria seca dessa classe de tubérculos.

Embora, a aplicação de K tenha reduzido o número de tubérculos não comerciais, a massa da matéria seca produzida pelos tubérculos não comerciais aumentou levemente até atingir um ponto de máximo e decrescendo posteriormente. Contrariamente, a MSTC4 reduziu linearmente com o aumento do residual de K. A massa da matéria seca, geralmente, é a medida líquida da resposta da batata à fertilização (Allison et al. 2001). Esses resultados sugerem que a adição de K resultou não somente em maior acúmulo de água, mas também em aumento na síntese e transporte de fotoassimilados para os tubérculos (Imas e Bansal, 1999).

A quantidade de massa da matéria seca dos tubérculos comerciais (MSTC) e dos tubérculos totais (MSTT), também foram influenciadas positivamente pela fertilização potássica e o residual. A aplicação de 393,5 kg ha⁻¹ de K₂O, dose de MEE, permitiu o aumento em 22% na MSTC em relação a testemunha não adubada. Já o efeito residual dessa dose de K permitiu aumento de 60,0% na produção de massa da matéria seca da classe comercial, em relação a testemunha não adubada. Embora os resultados sugiram aumento na produção de massa da matéria seca de tubérculos, os valores são inferiores aos relatados por Allison et al (2001). No trabalho do autor, mesmo com aplicação de 500 kg

ha⁻¹ de KCl em solos com ampla variação textural, verificou-se pouco efeito sobre a produção de massa da matéria seca. De maneira geral, as variações na produção de massa da matéria seca pode ser explicada pelas distintas condições de fertilidade do solo, climática e genotípica.

Além da ineficiência do efeito residual da aplicação de K sobre a produtividade obtida no experimento 2 pode ter havido efeito adicional sinérgico negativo de altas temperaturas observadas no segundo plantio. Não é comum pesquisa sobre o efeito da combinação de diferentes temperaturas e necessidades de potássio pelas plantas, especialmente a batata. Entretanto, é sabido que o estresse por alta temperatura tem uma ampla gama de efeitos sobre as plantas em termos de rotas fisiológicas, bioquímicas e de regulação gênica (Bita & Gerats, 2013). Segundo esses autores, as plantas expostas ao excesso de calor, pelo menos 5° C acima da temperatura considerada ótima, exibem um conjunto característico de respostas, a níveis celular e metabólico, necessárias para sobreviverem sob as condições de alta temperatura.

As principais respostas da planta ao excesso de temperatura envolvem alterações na organização de estruturas celulares, incluindo organelas e citoesqueleto, e nas funções das membranas que são o principal local de percepção da planta às alterações de temperatura (Wang et al., 2013). O estresse por calor aumenta a fluidez das mesmas (Los & Murata, 2004), entendida como a extensão da desordem e do movimento dentro da camada lipídica da molécula. Uma diminuição na fluidez da membrana poderá afetar negativamente o transporte de íons, metabolitos e água na planta.

Adicionalmente, fatores abióticos prejudicam tanto a absorção de K do solo nas células das raízes quanto a translocação do mesmo da raiz para a parte aérea ou da fonte para o dreno, processos que são mediados por várias classes de transportadores e canais nas membranas (Dreyer & Uozumi 2011, Wang & Wu 2013). Também, alta temperatura provoca a diminuição na síntese de proteínas normais e acelerada transcrição e tradução de proteínas de choque térmico além da produção de fitohormônios como o ácido abscísico (ABA), antioxidantes e outras moléculas protetoras (Bita & Gerats, 2013). Com isso, alta temperatura decresce o crescimento da planta influencia a taxa assimilatória líquida e provocando decréscimo na produção de massa da matéria seca pela planta (Wahid et al., 2007).

Há evidências crescentes de que o estado nutricional ótimo de potássio pode reduzir os efeitos de estresses abióticos, como a seca, calor, alta intensidade de luz ou salinidade (Cakmak 2005; Romheld & Kirkby, 2010; Oosterhuis et al., 2013). Assim, é necessário pesquisar sobre o efeito da combinação de diferentes temperaturas e necessidades de potássio pela batata.

4.5 Teor de massa da matéria seca e gravidade específica dos tubérculos

A fertilização potássica reduziu o teor de massa da matéria seca dos tubérculos (TMST). A aplicação de 0 e 880 kg ha⁻¹ de K₂O reduziu o TMST de 18,2 para 14,1%, redução maior que os relatados por Perrenoud (1993), todavia dentro dos valores adequados para a cultivar (Braun et al. 2010). Com a dose de 392,5 ha⁻¹ de K₂O, dose de MEE, o teor de massa da matéria seca dos tubérculos foi de 15,04%. Não houve efeito do residual da adubação sobre o TMST. No experimento 2, o TMST foi aparentemente maior que o observado no experimento 1. Efeito negativo do K sobre o TMST foram relatados em outros trabalhos (Westermann et al. 1994; Haase et al. 2007), com maior efeito quando aplicado o K na forma de cloreto de potássio que o sulfato de potássio (Allison et al. 2001).

O teor de massa da matéria seca é importante característica indicativa de qualidade dos tubérculos, especialmente para a indústria de processamento (Haase et al. 2007; Braun et al. 2010). Além do efeito do fertilizante potássico, o TMST pode ser afetada por outros fatores como adubação nitrogenada, condições de manejo, características varietais e climáticas (Kavvadias et al 2012).

A gravidade específica (GE) dos tubérculos foi reduzida com a aplicação de K, de 1,073 na ausência de fertilização potássica, para 1,061 com a aplicação de 880 kg ha⁻¹ de K₂O. O efeito residual de K não influenciou a GE, que atingiu o valor de 1,0747. Aumento na GE com o aproveitamento da adubação residual de K foi observado por Reis Jr (1995). Em geral, o aumento da dose de K reduz a gravidade específica dos tubérculos (Davenport, 2000), embora com efeito distinto quanto à fonte aplicada (Panique et al. 1997, Davenport, 2001). Mohr e Tomaszewicz (2012) reportam pequena redução na gravidade específica e ausência de efeito sobre a produtividade com aplicação de KCl. A redução na gravidade específica com aplicação de K, principalmente na forma de cloreto, decorre do maior índice salino do fertilizante e maior absorção de K, que aumenta a absorção de água nos tubérculos (Laboski e Kelling, 2007). Essa característica dos tubérculos é relacionada com o teor de massa da matéria seca sendo importante atributo de qualidade (Perrenoud, 1993; Tekaling e Hammes, 2005b).

5. Conclusões

Dose excessiva ou reduzida de potássio aplicada antes do plantio reduz a velocidade de emergência das plantas;

A fertilização potássica e o residual de K influenciou distintamente o número, a produtividade e a produção de massa da matéria seca dos tubérculos classificados.

O modelo estatístico raiz quadrático é o modelo mais adequado para descrever a relação entre as doses de K e a produtividade comercial de tubérculos.

Para a máxima eficiência econômica é necessário aplicar 393,5 kg ha⁻¹ de K₂O que propicia a obtenção da produtividade de tubérculos de 36,1 t ha⁻¹.

O aumento das doses de potássio reduz a qualidade pós-colheita dos tubérculos (teor de massa da matéria seca e gravidade específica).

6. Referências bibliográficas

ALLISON, M.F.; FOWLER, J.H.; ALLEN, V.E.J. Responses of potato (*Solanum tuberosum*) to potassium fertilizers. **The Journal of Agricultural Science**. v.136, n.4, p.407-426. 2001.

ALVA, A.; FAN, M.; QING, C.; ROSEN, C.; REN, H. Improving nutrient-use efficiency in Chinese potato production: experiences from the United States. **Journal of Crop Improvement**, v. 25, n. 1, p. 46–85, 2011.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em MG: 5. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de MG, 1999. p.25-32.

BIRCH, P. R. J.; BRYAN, G.; FENTON, B.; GILROY, E. M.; HEIN, I.; JONES, J. T.; PRASHAR, A.; TAYLOR, M. A.; TORRANCE, L.; TOTH, I. K. Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable?. **Food Security**, v. 4, n. 1, p. 477–508, 2012.

BITA, C. E.; GERATS, T. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. **Frontiers in plant science**, v. 4, 2013.

BRAUN, H., FONTES, P. C. R., FINGER, F. L., BUSATO, C., CECON, P. R. Carboidratos e massa da matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 285-293, 2010.

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.521–530. 2005.

DAVENPORT, J. R. Potassium and specific gravity of potato tubers. **Better Crops with Plant Food**, v. 84, n. 4, p. 14-15, 2000.

DAVENPORT, J. R.; BENTLEY, E. M. Does potassium fertilizer form, source, and time of application influence potato yield and quality in the Columbia basin?. **American Journal of Potato Research**, v. 78, n. 4, p. 311-318, 2001.

DREYER, I.; UOZUMI, N. Potassium channels in plant cells. **FEBS Journal**, v. 278, n. 22, p. 4293-4303, 2011.

EL-SIRAFY, Z.M.; ABBADY, K.A.; EL-GHAMRY, A.M.; EL-DISSOKY, R. A. Potato yield quality, quantity and profitability as affected by soil and foliar potassium application. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v.4, n.6, p.912-922. 2008.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412p.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L.; SOUZA-SCHLICK, G. D. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 826-835, 2010.

FONTES, P. C. R.; NUNES, J. C. S.; MOREIRA, M. A. Produção classificada de batata em resposta ao espaçamento e critério de recomendação da adubação. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 404-412, 2012.

FONTES, P.C.R. Cultura da batata. In: FONTES, P.C.R. (Ed). **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa: UFV, p.323-343, 2005.

FONTES, P.C.R.; REIS JR, R.A.; PEREIRA, P.R.G. Critical potassium concentration and potassium/calcium plus magnesium ratio in potato petioles associated with maximum tuber yields. **Journal of Plant Nutrition**, v. 19, n. 3-4, p. 657-667, 1996.

HAASE, T.; SCHÜLER, C.; HEBß, J. The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for processing. **European Journal of Agronomy**, v. 26, n. 3, p. 187-197, 2007.

IMAS, PATRICIA; BANSAL, S. K. Potassium and integrated nutrient management in potato. In: **Global Conference on Potato**. 1999. p. 6-11.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2014. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em: 14 de maio de 2014.

KAVVADIAS, V.; PASCHALIDIS, C.; AKRIVOS, G.; PETROPOULOS, D. Nitrogen and Potassium Fertilization Responses of Potato (*Solanum tuberosum*) cv. Spunta. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, n.1, p.176–189, 2012.

KHURANA, S. C.; MCLAREN, J. S. The influence of leaf area, light interception and season on potato growth and yield. **Potato Research**, v. 25, n. 4, p. 329-342, 1982.

KOPPEN, W. **Climatologia**. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Gráfica Panamericana, 1948, 478p.

LABOSKI, C. A. M.; KELLING, K. A. Influence of fertilizer management and soil fertility on tuber specific gravity: a review. **American Journal of Potato Research**, v. 84, n. 4, p. 283-290, 2007.

LEVY, D.; FOGELMAN, Edna; YITZHAK, Y. Influence of water and soil salinity on emergence and early development of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and effect of physiological age of seed tubers. **Potato Research**, v. 36, n. 4, p. 335-340, 1993.

LIU, H.; SHI, C.; ZHANG, H.; WANG, Z.; CHAI, S. Effects of potassium on yield, photosynthate distribution, enzymes' activity and aba content in storage roots of sweet potato (*Ipomoea batatas*' Lam.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 6, p. 735, 2013.

LOS, D. A.; MURATA, N. Membrane fluidity and its roles in the perception of environmental signals. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes**, v. 1666, n. 1, p. 142-157, 2004.

MAGUIRE, J.D. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p. 176-177, 1962.

MOHR, R. M.; TOMASIEWICZ, D. J. Effect of rate and timing of potassium chloride application on the yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L. 'Russet Burbank'). **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, n. 4, p. 783-794, 2012.

MUSTONEN, L. Yield formation and quality characteristics of early potatoes during a short growing period. **Agricultural and Food Science**, v. 13, n. 4, p. 390-398, 2008.

NUNES, J. C. S.; FONTES, P. C. R.; ARAÚJO, E. F.; SEDIYAMA, C. Crescimento da batateira e absorção de macronutrientes influenciados pelos sistemas de preparo de solo e irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12, p. 1787-1792, 2006.

OOSTERHUIS, D.M.; LOKA, D.A.; RAPER, T.B. Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.176, n.3, p.331-343. 2013.

PANIQUE, E.; KELLING, K. A.; SCHULTE, E. E.; HERO, D. E.; STEVENSON, W. R.; JAMES, R. V. Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction. **American Potato Journal**, v. 74, n. 6, p. 379-398, 1997.

PERRENOUD, S. **Potato: fertilizers for yield and quality**. Bern: International Potash Institute, 1993. 94 p.

REIS JR, R.A. **Produção, qualidade de tubérculos e teores de potássio no solo e no pecíolo de batateira em resposta à adubação potássica**. 1995. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia (Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa.

REIS JR, R.A.; MONNERAT, P.H. Exportação de nutrientes nos tubérculos de batata em função de doses de sulfato de potássio. **Horticultura Brasileira**, v.19, n.3, p.360-364. 2001.

ROMHELD, V.; KIRKBY, E.A. Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. **Plant Soil**. v.335, p155–180. 2010.

SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versao 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV– Vicoso/MG, 2007.

SINGH, S.K.; LAL, S.S. Effect of potassium nutrition on potato yield, quality and nutrient use efficiency under varied levels of nitrogen application. **Potato Journal**, v.39, n.2, p.155-165. 2012.

TEIN, B.; KAUER, K.; EREMEEV, V.; LUIK, A.; SELGE, A.; LOIT, E. Farming systems affect potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber and soil quality. **Field Crops Research**, v. 1, n. 156, p. 1-11, 2104.

TEKALIGN, T.; HAMMES, P. S. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth: I. Stomatal conductance, rate of transpiration, net

photosynthesis, and dry matter production and allocation. **Scientia Horticulturae**, v. 105, n. 1, p. 13-27, 2005.

WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. Heat tolerance in plants: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, v.61, p.199–223. 2007.

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, v.14, n.4, p.7370-7390. 2014.

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, n. 4, p. 7370-7390, 2013.

WANG, Y.; WU, W.H. Potassium transport and signaling in higher plants. **Annual Review Plant Biology**, v.64, p.451–476. 2013.

WESTERMANN, D.T.; TINDALL, T.A.; JAMES, D.W.; HURST, T.R.L. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: yield and specific gravity. **American Potato Journal**, v. 71, n. 7, p. 417-432, 1994.

WIBOWO, C.; WIJAYA, K.; SUMARTONO, G. H.; PAWELZIK, E. Effect of Potassium Level on Quality traits of Indonesian Potato Tubers. **Asia Pacific Journal of Sustainable Agriculture, Food and Energy**, v. 2, n. 1, p. 11-16, 2014.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture—status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.

CAPÍTULO II

Índices de avaliação do estado de nitrogênio das plantas influenciados por doses de potássio

1. Introdução

A expectativa de aumento populacional para 9 bilhões até 2050, intensifica a necessidade de garantia da segurança alimentar. Entretanto, para garantia de produção de alimentos, a produtividade agrícola deve ser dobrada até o período (Godfray et al., 2010; FAO, 2012; Ray et al., 2013). Nesse cenário, os fertilizantes têm papel fundamental, pois são responsáveis por cerca de 40 a 60 % da produção agrícola, o que requer melhoria nas práticas de manejo, visando o aumento da eficiência de uso e à sustentabilidade ambiental (Roberts, 2009; Phillips, 2014).

O nitrogênio (N) e o potássio (K) são importantes macronutrientes para o crescimento e desenvolvimento da cultura da batata sendo absorvidos em maior quantidade (Nunes et al., 2006; Zhang et al., 2010; Braun et al., 2011; Singh e Lal et al., 2012). O N é importante constituinte, principalmente, dos ácidos nucléicos, aminoácidos e clorofila (Mengel e Kirkby, 1980; Mokhele et al., 2012).

O K é elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Perrenoud, 1993; Westermann et al., 1994; Reis Jr e Monnerat, 2001; Nunes et al., 2006; Braun et al., 2011), e atua principalmente no transporte, ativação enzimática, alocação de açúcares, síntese de vários compostos (Westermann et al., 1994; Talbott e Zeiger, 1996; Mengel, 2007) e assimilação de nitrogênio (Helal e Mengel, 1979). O K e N são competidores na absorção iônica (K^+ e NH_4^+), no transporte a longa distância no floema e nos efeitos interativos sobre o metabolismo. No solo, esses íons competem pelos sítios das partículas (Bar tal et al., 2011). Todavia, a maior absorção de K permite rápida assimilação do NH_4^+ absorvido (Dibb e Welch, 1976). O K também desempenha importante papel de contra-íon do NO_3^- na absorção pelas raízes e translocação na parte aérea de NO_3^- e carregamento floemático (Maathuis, 2007; Zhang et al., 2010)

A fertilização nitrogenada é necessária para a maioria das culturas em razão da baixa capacidade de suprimento do nutriente pelo solo. Devido à dificuldade de diagnóstico via análise do solo, a recomendação de fertilização nitrogenada na batata é limitada a bases empíricas (eficiência de uso, expectativa de produtividade, teor de matéria orgânica e curva de resposta), o que pode interferir na resposta da cultura da batata (Goffart et al., 2008; Fontes, 2011; Tremblay et al., 2011; Coelho et al., 2012a; Van Evert et al., 2012).

Muitas ferramentas têm sido propostas para avaliação do estado do nitrogênio das plantas em tempo real (Zhu et al., 2008; Fontes, 2011). Essas ferramentas, de uso rápido e de forma não destrutiva (Goffart et al., 2008; Muñoz-Huerta et al., 2013), são baseadas em análises diretas e indiretas da folha ou do dossel (Fontes e Araújo, 2007), e produzem índices que possuem altas correlações com o teor de N da planta e com a produtividade de batata (Minotti et al., 2004; Gil et al., 2002; Gianquinto et al., 2003; Busato et al., 2010a; Fontes et al., 2010, Coelho et al., 2010; 2012ab). Os índices de N mais comuns são os relacionados ao teor de clorofila presente na folha, medido por clorofilômetro SPAD e Dualex; também são utilizadas o aspecto do verde da folha; tabela de cor; comprimento, largura e número de folíolos de folha indicadora; matéria fresca e seca da folha; área foliar e específica.

Entretanto, não há informação disponível quanto ao efeito de doses de K sobre o valor de determinado índice nitrogenado medido na folha.

O trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de doses de K e o seu residual sobre os valores dos índices usados para avaliação do estado de N na planta de batata.

2. Material e Métodos

2.1 Localização, caracterização da área da experimental, tratamentos, delineamento, instalação e condução

Item descrito no Capítulo I.

2.2 Índices avaliados na quarta folha os 21 DAE

2.2.1 Índice SPAD

O índice SPAD foi determinado com medidor portátil de clorofila SPAD-502 (*Soil Plant Analysis Development-502*). Efetuou-se a determinação no folíolo terminal da quarta folha completamente expandida, folha considerada indicadora para verificar o estado nutricional da batateira (Fontes, 2005), de três plantas amostradas aleatoriamente em cada parcela. A determinação foi realizada pela manhã, entre 8 e 11 horas, seguindo os procedimentos indicados em Fontes e Araújo (2007).

2.2.2 Índices de clorofila, flavonóis e balanço de nitrogênio

No mesmo folíolo terminal da quarta folha, utilizou-se o medidor Dualex[®] (Force A, Osay, France), entre 8 e 11 horas da manhã, para a obtenção dos índices de clorofila (Chl), flavonóis (Flv) e Índice de balanço do nitrogênio (IBN), esse último obtido pela relação entre os índices Chl e Flv (Fontes, 2011).

2.2.3 Aspecto da folha

A quarta folha foi observada e atribuída nota de 5 a 1 (5 = ótimo; 1 = péssimo), conforme estimativa empírica de seu aspecto. Antes das observações, o avaliador foi treinado para calibrar a visão, com base em cor, tamanho, brilho e inserção, em procedimento semelhante ao usado por Fontes e Araújo (2006).

2.2.4 Intensidade do verde da folha – tabela de cor

Determinou-se a intensidade do verde da folha da batateira por meio da tabela de cor da folha (TCF) desenvolvida por Balasubramanian et al. (1999) com nas cores das folhas do arroz e padronizada por Witt et al. (2005). A tabela é composta por seis tonalidades de verde, às quais são atribuídos valores variando de 1 (verde muito amarelado) a 6 (verde escuro).

2.2.5 Comprimento, largura da folha e número de folíolos

Em duas quartas folhas por parcela foram medidos o comprimento e a largura, com régua milimetrada e contados o número de folíolos. O comprimento foi determinado entre a distância da base do pecíolo até a extremidade do folíolo terminal. A largura foi determinada sendo a distância entre os dois folíolos adjacentes mais desenvolvidos.

2.2.6 Massa da matéria fresca e seca

A massa da matéria fresca foi determinada pela pesagem da folha em balança analítica. Posteriormente, foram levadas a estufa de circulação forçada de ar à 70°C até atingir massa constante, para determinação da massa da matéria seca.

2.2.7 Área foliar e específica

A área foliar da quarta folha foi determinada com integrador de área foliar LICOR 4100. A área foliar específica foi obtida entre a razão da área foliar e a massa da matéria seca da quarta folha, expressa em $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$.

2.2.8 Teor e conteúdo de nitrogênio (N)

Com a quarta folha seca e moída em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh, amostras foram submetidas a digestão sulfúrica para determinação do teor de N, utilizando-se o reagente Nessler (Jackson, 1958). O conteúdo de N, expresso em mg, foi obtido pela multiplicação da massa da matéria seca pelo teor obtido no órgão.

2.2.9 Teor e conteúdo de potássio (K)

Adicionalmente, o teor de potássio foi determinado em amostras da quarta folha secas e moídas por meio de fotometria de chama após digestão nitroperclórica de acordo com metodologias descritas por Malavolta et al. (1997). Pela multiplicação da massa da matéria seca da quarta folha pelo teor contido foi obtida a variável conteúdo na quarta folha, expressa em mg.

2.3 Análise estatística

A análise foi realizada conforme o item 2.4.7 do capítulo I.

Para cada variável dependente foi calculado o valor do nível crítico (NC) associado à dose de K_2O que propiciou a máxima eficiência econômica (MEE), seguindo procedimento mostrado em Fontes (2011). Nas equações ajustadas para cada variável introduziu-se o valor da dose de K_2O que propiciou a máxima eficiência econômica, obtendo-se o valor ótimo ou crítico da variável (Fontes, 2001).

3. Resultados

Os valores mínimos, máximos, médio e o coeficiente de variação observados para as variáveis área foliar, área foliar específica, massa da matéria fresca, massa da matéria seca, largura comprimento, número de folíolos, índice SPAD, índice de clorofila, índice de

flavonóis, índice de balanço de nitrogênio, tabela de cor, aspecto da folha, teor e conteúdo de N e K no experimento 1 e 2 estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

No experimento 1, houve efeito de doses de K sobre todos os índices fisiológicos (área foliar, área foliar específica, massa da matéria fresca, massa da matéria seca, largura comprimento, número de folíolos) e nitrogenados (índice SPAD, índice de clorofila, tabela de cor, aspecto da folha, teor e conteúdo de N), exceto para o índice de flavonóis e de balanço de nitrogênio (Tabela 3).

No experimento 2, houve efeito de doses de K sobre todos os índices fisiológicos e nitrogenados, exceto para o número de folíolos e índice de balanço de nitrogênio (Tabela 4).

As equações ajustadas para a relação entre os índices fisiológicos e nitrogenados com as doses de K no experimento 1 e 2, estão apresentadas na Tabela 3 e 4, respectivamente. Algumas relações selecionadas como SPAD, índice de clorofila e teores de N e K na massa da matéria seca da quarta folha e doses de K estão apresentadas, graficamente, nas Figuras 1 e 2.

Tabela 1. Valor mínimo, máximo, média e coeficiente de variação (CV%) observado para cada variável dependente determinados na quarta folha ao 21 DAE no experimento 1 (n=20).

Índices	Abreviação	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	CV(%)
Índices Fisiológicos						
Área foliar	AF	cm ²	89,68	238,21	157,90	17,71
Área foliar específica	AFE	cm ² g ⁻¹	149,44	341,14	277,39	15,26
Massa da matéria fresca	MF	g	3,63	10,2	7,94	18,24
Massa da matéria seca	MS	g	0,29	0,68	0,55	16,64
Largura da folha	LR	cm	10,0	19,0	14,64	11,89
Comprimento da folha	CP	cm	17,0	28,0	23,52	11,14
Número de folíolos	NF	un	7,0	12,0	9,15	11,24
Índices nitrogenados						
Índice SPAD	SPAD	-	33,1	54,7	43,89	6,92
Índice de Clorofila	ICHL	-	29,5	56,6	39,94	15,14
Índice de Flavonóis	IFVL	-	0,69	1,10	0,83	8,17
Índice de balanço de N	IBN	-	35,1	65,3	49,64	12,18
Tabela de cor da folha	TCF	-	2,0	6,0	3,65	17,86
Aspecto da folha - Nota	AFN	-	2,0	4,0	3,15	13,28
Teor de N	TN	g kg ⁻¹	54,2	68,1	59,61	2,70
Conteúdo de N	CN	mg	19,14	42,27	32,56	11,74
Potássio na quarta folha						
Teor de K	TKQF	g kg ⁻¹	18,80	46,40	34,45	7,34
Conteúdo de K	CKQF	mg	7,54	28,77	18,96	19,59

Tabela 2. Valor mínimo, máximo, média e coeficiente de variação (CV%) observado para cada variável dependente determinados na quarta folha ao 21 DAE no experimento 2 (n=20).

Índices	Abreviação	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	CV(%)
Índices Fisiológicos						
Área foliar	AF	cm ²	132,78	219,92	167,21	10,58
Área foliar específica	AFE	cm ² g ⁻¹	226,13	319,17	274,65	6,96
Massa da matéria fresca	MF	g	4,17	8,54	6,22	15,84
Massa da matéria seca	MS	g	0,39	0,79	0,59	19,29
Largura da folha	LR	cm	11,00	17,00	14,24	9,98
Comprimento da folha	CP	cm	19,50	26,00	22,06	5,45
Número de folíolos	NF	un	6,00	9,50	7,73	8,08
Índices nitrogenados						
Índice SPAD	SPAD	-	42,90	54,80	49,71	4,98
Índice de Clorofila	ICHL	-	36,0	46,8	42,86	3,09
Índice de Flavonóis	IFVL	-	0,61	1,26	0,93	11,56
Índice de balanço de N	IBN	-	36,9	67,10	47,89	16,21
Tabela de cor da folha	TCF	-	2,0	6,0	3,61	11,90
Aspecto da folha - Nota	AFN	-	2,0	4,0	3,08	15,63
Teor de N	TN	g kg ⁻¹	57,0	64,1	60,89	3,45
Conteúdo de N	CN	mg	24,18	48,59	35,67	20,54
Potássio na quarta folha						
Teor de K	TKQF	g kg ⁻¹	11,2	22,0	15,42	13,54
Conteúdo de K	CKQF	mg	5,24	14,76	9,13	25,87

Tabela 3. Equações ajustadas para índices fisiológicos: área foliar (AF, cm²), área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹), massa da matéria fresca (MF, g), massa da matéria seca (MS, g) largura (LR, cm), comprimento (CP, cm) e número de folíolos (NF, un planta⁻¹); e índices nitrogenados: SPAD (SPAD), índice de clorofila (ICHL), índice flavonóis (IFVL), índice de balanço de nitrogênio (IBN), tabela de cor da folha (TCF), aspecto da folha – nota (AFN), teor e conteúdo de K na quarta folha (TK, g kg⁻¹ e CK, mg, respectivamente) e N (TN, g kg⁻¹ e CNQF, mg, respectivamente) em resposta a doses de potássio.

Variável	Equação Ajustada	R ²	NC ¹
Índices Fisiológicos			
AF	$\hat{Y} = 106,99389 + 9,93714^* \sqrt{K} - 0,30328^*K$	0,9367	184,8
AFE	$\hat{Y} = 216,02702 + 9,80190^* \sqrt{K} - 0,26533^0K$	0,9310	306,07
MF	$\hat{Y} = 5,80393 + 0,40075^0 \sqrt{K} - 0,01198^0K$	0,8666	9,04
MS	$\hat{Y} = 0,44653 + 0,01848^* \sqrt{K} - 0,00054922^*K$	0,9544	0,59
LR	$\hat{Y} = 12,00874 + 0,52071^* \sqrt{K} - 0,01597^*K$	0,9647	16,06
CP	$\hat{Y} = 20,57534 + 0,59062^* \sqrt{K} - 0,01815^*K$	0,9681	25,15
NF	$\hat{Y} = 7,73972 + 0,23604^0 \sqrt{K} - 0,00659^0K$	0,8927	9,83
Índices nitrogenados			
SPAD	$\hat{Y} = 49,95723 - 0,03609^*K + 0,00002843^*K^2$	0,9834	40,17
ICHL	$\hat{Y} = 49,66290 - 1,06080^{***} \sqrt{K} + 0,01939^{**} K$	0,9997	36,26
IFVL	$\hat{Y} = 0,84$	-	-
IBN	$\hat{Y} = 49,65$	-	-
TCF	$\hat{Y} = 4,96698 - 0,12561^* \sqrt{K} + 0,00182^0K$	0,9903b	3,19
AFN	$\hat{Y} = 1,96268 + 0,193000^* \sqrt{K} - 0,00529^*K$	0,9813	3,70
TN	$\hat{Y} = 66,11323 - 0,73193^* \sqrt{K} + 0,01398^*K$	0,9839	57,10
CN	$\hat{Y} = 26,61369 + 1,14630^* \sqrt{K} - 0,03476^*K$	0,9637	35,68
Potássio na quarta folha			
TK	$\hat{Y} = 25,61462 + 0,05342^{**}K - 0,00004275^*K^2$	0,9917	40,00
CK	$\hat{Y} = 12,20785 + 0,04938^{**}K - 0,00004637^{**}K^2$	0,9881	24,45

¹NC= Nível crítico associado a dose máxima eficiência econômica (392,5 kg ha⁻¹ de K₂O).

***, **, * e ⁰- significativo ao nível de 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Tabela 4. Equações ajustadas para índices fisiológicos: área foliar (AF, cm²), área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹), massa da matéria fresca (MF, g), massa da matéria seca (MS, g) largura (LR, cm), comprimento (CP, cm) e número de folíolos (NF, un); e índices nitrogenados: SPAD (SPAD), índice de clorofila (ICHL), índice flavonóis (IFVL), índice de balanço de nitrogênio (IBN), tabela de cor da folha (TCF), aspecto da folha – nota (AFN), teor e conteúdo de K na quarta folha (TK, g kg⁻¹ e CK, mg, respectivamente) e N (TN, g kg⁻¹ e CNQF, mg, respectivamente) em resposta ao residual de doses de potássio.

Variável	Equação Ajustada	R ² /r ²
Índices Fisiológicos		
AF	$\hat{Y} = 139,81969 + 0,21286^*K - 0,00020834^*K^2$	0,9625
AFE	$\hat{Y} = 254,67708 + 0,16088^{**}K - 0,00016099^{**}K^2$	0,9905
MF	$\hat{Y} = 5,35785 + 0,00540^0K - 0,00000446^0K^2$	0,9226
MS	$\hat{Y} = 0,56498 + 0,00012777^*K - 0,000000089207^*K^2$	0,9900
LR	$\hat{Y} = 13,65025 + 0,00177^*K$	0,9146
CP	$\hat{Y} = 21,05475 + 0,00305^*K$	0,7969
NF	$\hat{Y} = 7,72$	-
Índices nitrogenados		
SPAD	$\hat{Y} = 52,08800 - 0,00718^{***}K$	0,9937
ICHL	$\hat{Y} = 45,35850 - 0,00758^{**}K$	0,9654
IFVL	$\hat{Y} = 1,03000 - 0,00032727^*K$	0,8571
IBN	$\hat{Y} = 47,89$	-
TCF	$\hat{Y} = 4,39477 - 0,00404^{**}K + 0,00000269^*K^2$	0,9939
AFN	$\hat{Y} = 2,65369 + 0,00316^{**}K - 0,00000297^{**}K^2$	0,9920
TN	$\hat{Y} = 62,52150 - 0,00606^{***}K$	0,9897
CN	$\hat{Y} = 35,22600 + 0,00537^*K - 0,00000677^*K^2$	0,9505
Potássio na quarta folha		
TK	$\hat{Y} = 13,41750 + 0,00607^{**}K$	0,9516
CK	$\hat{Y} = 7,65900 + 0,00446^{**}K$	0,9483

***, **, * e ⁰ - significativo ao nível de 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

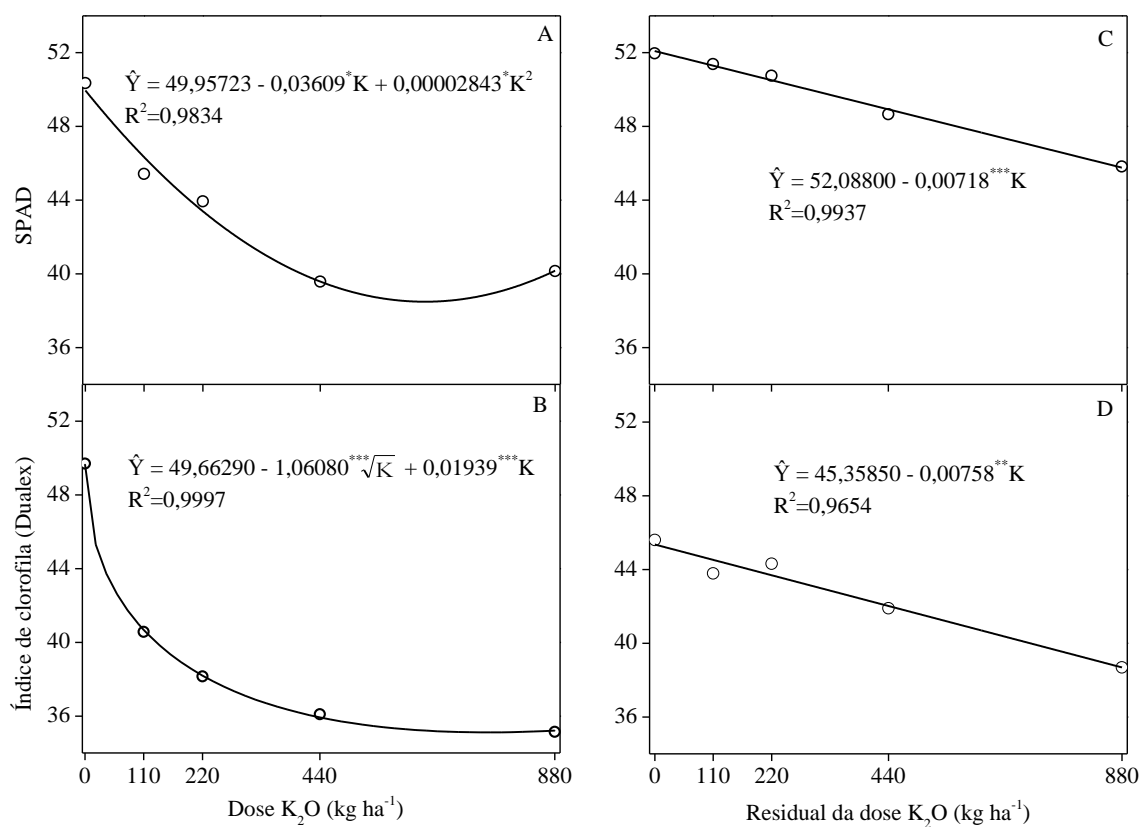


Figura 1. Índice SPAD e de clorofila (Dualex) em resposta a doses de potássio (A e B) e ao efeito residual (C e D). ***, ** e *: significativo ao nível de 0,1; 1 e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

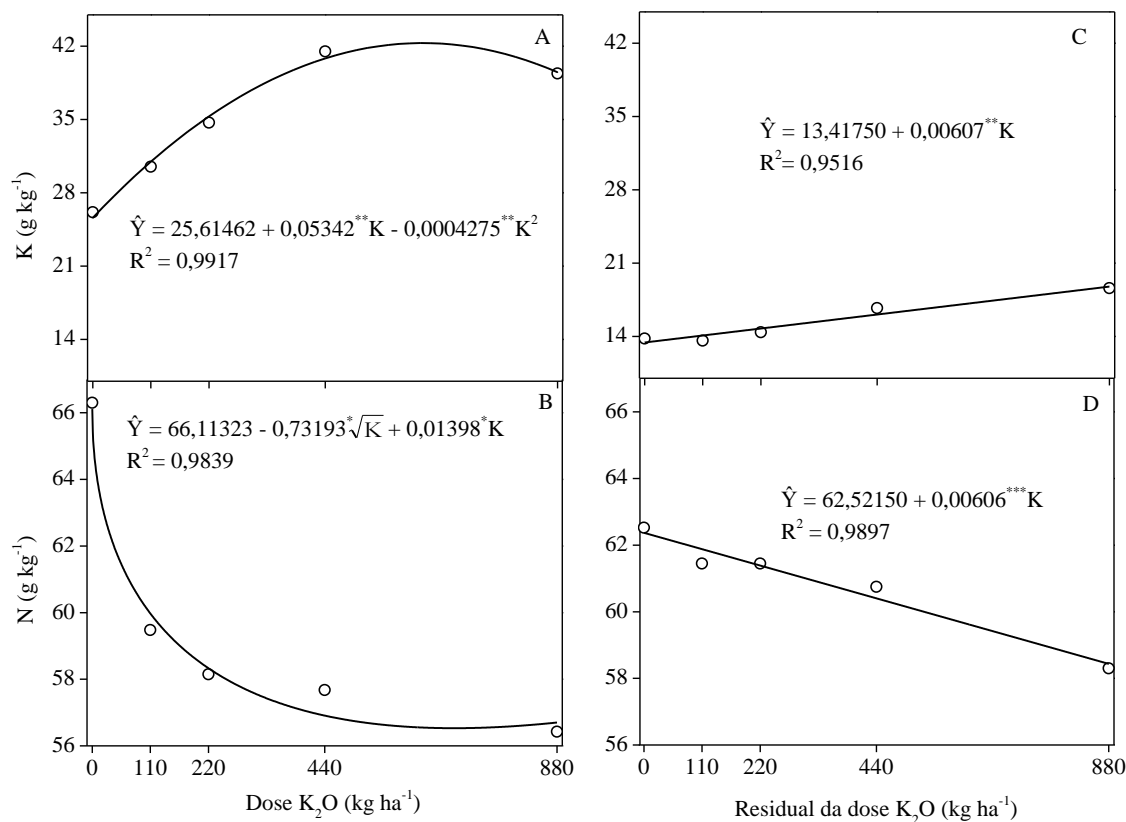


Figura 2. Teores de K e N na massa da matéria seca da quarta folha em função de doses de potássio (A e B) e o seu residual (C e D). ** e *-Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

A relação entre os teores de N e do K na massa da matéria seca da quarta folha, avaliado ao 21 DAE, no experimento 1 (Figura 3A) e não significativa no experimento residual (Figura 3B)

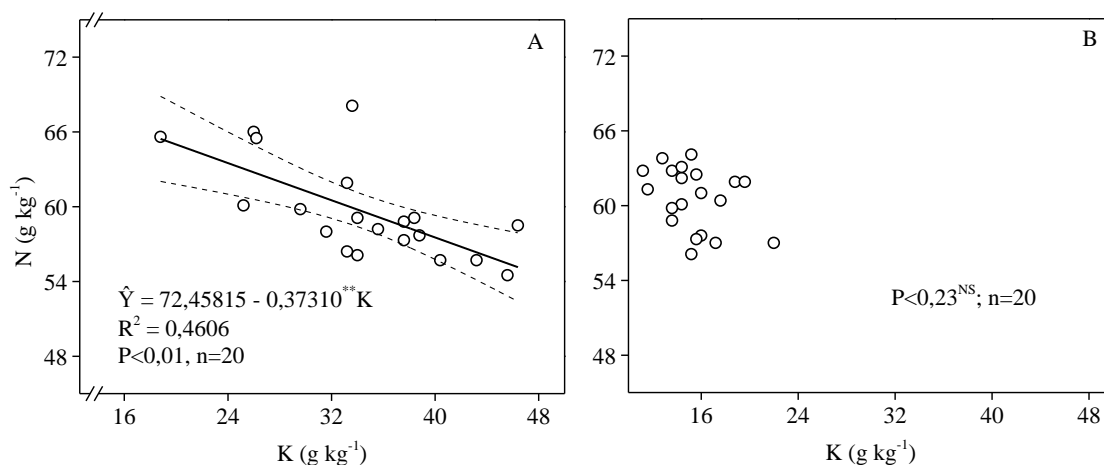


Figura 3. Relação entre o teor de N e do K na massa da matéria seca quarta folha, avaliado ao 21 DAE. ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

4. Discussão

4.1 Índices Fisiológicos

As doses de potássio e o residual aumentaram a área foliar até valor máximo de 184,8 e 191,3 cm², respectivamente, decrescendo posteriormente. Os valores de área foliar da quarta folha, avaliado ao 21 DAE, obtidos nesses experimentos foram aparentemente próximos de 184,68 cm², valor referenciado como ótimo (Busato, 2007). Área foliar é importante medida de crescimento e desenvolvimento vegetal das plantas (Taiz e Zeiger, 2009). É uma característica que pode refletir o estado nutricional das plantas (Fontes, 2001), especialmente de N, e está relacionado a assimilação e ao acúmulo de carbono (Oliveira, 2000; Masclaux-Daubresse et al. 2010). A área foliar é um bom índice de avaliação do estado de N na massa da matéria seca da folha no tomateiro, indicando que essa característica de crescimento da planta é correlacionada com o teor de N (Ronchi et al. 2001). A deficiência de K reduz a concentração de clorofila, altera a regulação estomática e reduz o transporte de assimilados na planta (Cakmak, 1994), o que possivelmente reduziu a área foliar da quarta folha nas menores doses de K. Reis Jr e Fontes (1999), em outro estudo, mostraram que a houve efeito de dose de K sobre o área foliar da planta de batata.

Em ambos os experimentos, a área foliar específica (AFE) aumentou com o aumento das doses de K e com o seu residual. A AFE, razão entre a área foliar e a massa da matéria seca da quarta folha, é medida que relaciona duas variáveis importantes de caracterização do crescimento (Shiple, 2006; Vile et al. 2005). Em geral, aumento da AFE está relacionado com concentração de N, quantidade de N absorvido por unidade de área e de massa de massa da matéria e taxa de fotossíntese por unidade de N na folha (Poorter e Jong, 1999). Esse índice fisiológico foi avaliado por Braun (2012), mostrando-se bom preditor, juntamente com outros índices do teor de N na quarta folha de cultivares de batata e em duas épocas de plantio. Desta forma, evidencia-se que a deficiência ou o excesso de K altera os valores de AFE e, conseqüentemente, a utilidade deste como índice de avaliação do estado de N da planta.

As variáveis massa da matéria fresca (MF) e seca (MS), determinada na quarta folha, foram influenciadas pela aplicação de K e pelo residual. Os valores de MF e MS no experimento 1 atingiram valores máximos de 9,04 e 0,59 g, respectivamente, aparentemente superiores aos valores de 7,38 g para a MF e 0,48 g de MS obtidos por Busato (2007) para batata. O uso da MS como índice de avaliação de estado de N na planta mostrou-se eficiente no tomateiro (Ronchi et al. 2001) e na batata (Braun, 2012), sendo positivamente correlacionada com o teor de N na planta, o que possibilita a estimativa do valor de N

através desse índice. Tufik (2013) observou efeito da disponibilidade de K sobre os índices MF e MS na planta de batata cultivada em sistema hidropônico e substrato orgânicos. Embora, esses índices de avaliação de N da planta sejam de fácil determinação, o estabelecimento de um nível crítico pode ser prejudicado pela interação entre fatores edafoclimáticos, genotípicos e de manejo, semelhante ao que ocorre para a análise foliar (Fontes e Araújo, 2007; Fontes, 2011). Esse resultado sugere que o índice pode ser ineficiente em condições de grande variação da disponibilidade de K, exigindo atenção do avaliador.

Houve efeito do aumento das doses de K e do residual sobre os valores das medidas lineares de largura (LR) e comprimento (CP) da quarta folha. Os efeitos foram caracterizados por aumento raiz quadrático para ambas as variáveis no experimento 1, e quadrático para ambas as variáveis no experimento 2. Os valores críticos de LR (16,1 e 15,2 cm) e CP (25,2 e 23,7 cm) da quarta folha, aos 21 DAE, no experimento 1 e 2, respectivamente, estão dentro dos valores referenciados como adequados para batata (Busato, 2007). Essas medidas isoladas ou em conjunto são precisas para estimar a área foliar da batateira (Silva et al. 2008; Busato et al. 2010b; Jadoski et al. 2012) e outras espécies como tomateiro (Schwarz e Kläring, 2001; Blanco e Folegatti, 2003). Essas características da folha estão relacionadas a expansão foliar e por conseguinte ao tamanho da folha e interceptação luminosa, que por sua vez são associados ao suprimento de N (Vos e Putten, 1998). Em uma folha indicadora específica, semelhante a utilizada em amostragem para fins de avaliação do estado nutricional, as medidas lineares podem ser utilizadas como ferramenta auxiliar no diagnóstico nutricional de N. Esse índice possibilita determinação no campo em tempo real, o permite a integração com outros índices de diagnóstico para estimativa da necessidade e ou estado de nitrogênio das plantas (Fontes e Araújo, 2007). Todavia, como também existe efeito do K sobre os valores dos índices, a calibração deve ser realizada em condições adequadas de suprimento de K para não prejudicar a sua utilidade dos índices.

Para o número de folíolos (NF) da quarta folha, os resultados indicam que o índice é afetado pela adubação potássica. Entretanto, não houve efeito do residual da adubação potássica sobre o NF. Ausência de aplicação do fertilizante potássico, o cultivo apenas com teor disponível no solo originalmente, concorreu para a redução em 33% no NF. O número de folhas verdes em estágio específico em milho, referenciada/padronizada com parcela sob suficiência de nitrogênio, conferiu precisão ao diagnóstico de N (Fox et al. 2001). A ontogenia da folha pode ser alterada em resposta a limitações edafoclimáticas, como a disponibilidade de nutrientes (Pooter e Nagel, 2000; Rambo et al. 2004).

4.2 Índices Nitrogenados

No experimento 1, o índice SPAD determinado aos 21 DAE, foi sensível à variação de K na planta. O aumento do residual de K, reduziu linearmente o índice SPAD, com variação de 52,1 na ausência de aplicação de K, para 45,7 com aplicação de 880 kg ha⁻¹ de K₂O. O nível crítico do índice SPAD na quarta folha, determinado aos 21 DAE, para ótima produtividade de tubérculos foi 40,2, valor dentro da faixa adequada de 35,2 a 53,0 previstos para batata na mesma região do experimento (Gil et al 2002; Silva et al. 2009; Busato et al. 2010a; Coelho et al. 2012a). Mais especificamente, Coelho et al. (2010) em estudo com a mesma cultivar (Ágata), sugerem nível crítico de 40,5; em consistência com os valores sugeridos nesse estudo. A definição de um nível crítico padrão é dificultada pelos fatores edafoclimáticos, ano, local, cultivar e outros (Bullock e Anderson, 1998; Hoel, 2003; Spaner et al., 2005; Muñoz-Huerta et al., 2013), ao que se atribui abrangência dos valores.

O índice SPAD é consistentemente um bom indicador do teor de clorofila na folha e correlaciona-se positivamente com o teor de N na folha (Gianquinto et al. 2004; Tremblay et al. 2011). Assim, o índice SPAD é útil para estimar a necessidade de N em cobertura da planta e realizar prognóstico da produtividade da cultura (Zebarth et al. 2002). Em diversas culturas como a batata (Busato et al. 2010a; Coelho et al. 2010), tomate (Fontes e Araújo, 2006), milho (Bullock e Anderson, 1998), arroz (Peng et al. 1996) e espécies lenhosas (Chang et al. 2003) o índice SPAD foi eficiente no diagnóstico de N da planta. Entretanto, os resultados indicam que a leitura do SPAD pode ser influenciadas por fatores como a variação da disponibilidade de potássio na planta. Tufik (2013) também observou efeito do aumento de doses de K sobre a leitura do índice SPAD na quarta folha da batata cultivada em substrato. Desta forma, o estado de K na planta deve ser considerado no momento de estabelecimento de nível crítico adotado para manejo da fertilização nitrogenada.

O aumento das doses de K e o residual reduziram o índice de clorofila (ICHL), determinado por fluorescência com o medidor Dualex. O nível crítico do ICHL para ótima produtividade de tubérculos no experimento 1 foi estimado em 36,3, valor próximo aos valores de 34,6 e 38,5 sugerido por Tufik (2013) como ótimo para cultura. Com o residual de K os valores do índice ICHL foram reduzidos, variando de 45,4, sem aplicação de K, para 38,7 com a dose máxima de 880 kg ha⁻¹ de K₂O. A variação observada nos valores do índice é inferior à faixa de 30,8 a 40,9 obtida com aplicação de dose de 0 a 300 kg ha⁻¹ de N na batata relata por Coelho et al. (2012b). O ICHL correlaciona-se positivamente com o teor de N na folha e com a produtividade de tubérculos, o que permite detecção precoce da

deficiência de N na planta e rápida tomada de decisão em ações corretivas como a fertilização nitrogenada em cobertura, eliminando os riscos de redução de produtividade (Coelho et al. 2012b).

O aumento da concentração salina reduz a concentração de pigmentos fotossintéticos, especialmente de clorofila, devido a destruição dos cloroplastos e aumento da atividade da enzima clorofilase (Argenteal et al. 2009). O aumento da concentração salina do solo pelo aumento das doses de K (Capítulo III), possivelmente explica a redução do ICHL na folha. Em milho, a deficiência de K pode ser rapidamente detectada pela fluorescência de clorofila (Kalaji et al. 2014), o que evidencia que a leitura do ICHL medido pelo Dualex podem ser influenciadas pela disponibilidade de outros nutrientes, como observado nesse experimento.

A fertilização potássica não afetou os valores do índice de flavonóis (IFVL), entretanto o aumento do residual potássico reduziu os valores desse índice. No experimento 1, os valores dos índices variaram de 0,69 a 1,10. No experimento 2, o residual de K reduziu linearmente o IFLV (de 1,03 para 0,74). Os valores de IFVL observado no experimento são inferiores ao relatados na literatura por Coelho et al. (2012b) e Braun (2012) na batata em condições de variação de dose de N. Os flavonóis são compostos secundários com a síntese ligada a resposta a estresse, como deficiência de N (Cerovic et al. 1999). Como a síntese dos flavonóis é concorrente com a das proteínas, pode explicar a aparente diferença dos valores de índice em resposta ao N comparado ao K. A concentração de N na massa da matéria seca da folha pode ser determinada indiretamente pelo índice ICHL por meio do sensor de fluorescência, devido a correlação negativa entre o N e o teor de fenóis na folha. Em consistência com o resultado do presente experimento, Tufik (2013) avaliando o ICHL como índice avaliação do estado de N na planta de batata observou ausência de efeito das doses de K sobre. Desta forma, os resultados indicam que índice determinado pelo aparelho Dualex pode ser usado na avaliação do estado de N na planta.

O índice de balanço de nitrogênio (IBN), determinadas pelo Dualex, não foi afetado pela fertilização potássica e pelo residual. Os valores médios do IBN foram de 49,6 e 47,9 no experimento 1 e 2, respectivamente. A relação entre a disponibilidade de N e os compostos fenólicos, medida com IBN, possibilita a avaliação do estado de N das plantas (Cartelat et al. 2005). O índice IBN determinado pelo Dualex é capaz de indicar indiretamente o estado nutricional de N e prognosticar a produtividade na batata (Coelho et al. 2012b) e em trigo (Tremblay et al. 2009). Em algumas espécies o IBN é apontado como mais sensível e promissor no diagnóstico de N na planta que o SPAD utilizado

isoladamente, devido principalmente a redução do efeito do gradiente de clorofila e flavonóis na folha (Tremblay et al. 2007; Demotes-Mainard et al. 2008).

O aumento da dose de K e o residual reduziram a intensidade de verde, determinada pela tabela de cor da folha (TCF). A redução na intensidade de verde da folha indica que a aplicação de altas doses de K promove deficiência de N. A proposta de uso TCF como indicador do estado de N da planta demonstrou ser eficaz no aumento da eficiência de fertilizantes nitrogenadas e produtividade em arroz (Witt et al. 2005; Alam et al. 2005), trigo (Varinderpal-Singh et al. 2012) e milho (Varinderpal-Singh et al. 2011). Além disso, Ali et al. (2014) destacam o apropriado uso da TCF combinado ao crescimento acumulado em graus-dias, na predição do potencial de produtividade durante o crescimento de arroz no nordeste da Índia. Embora, com a comprovada possibilidade de avaliação do estado de N das plantas e manejo de fertilizantes, fatores como cultivar, local, época, densidade de plantio e outras podem interferir na leitura (Fontes, 2011). Conforme sugere os resultados, o K influencia as leituras de TCF, o que requer atenção para estado nutricional e manejo do K. Para contornar essas limitações, os valores críticos da leitura necessitam ser estabelecidos com especificidade local e em condições ótimas sem deficiência ou excesso nutricionais.

A fertilização potássica e o residual da adubação afetaram o aspecto visual da quarta folha (AFN), avaliado por nota. Avaliação do estado nutricional da planta com base no aspecto visual é um método subjetivo, mas de fácil determinação, especialmente, com parcelas estabelecidas como referencial (Weier et al 2001; Fox et al. 2001). O uso dos aspectos visuais da planta como critério para avaliação do estado de N em tomate possibilita eficiência no manejo do fertilizante nitrogenado (Araújo, 2004). Embora, os trabalhos sugeriram a possibilidade de uso das características da planta, estudos necessitam ser desenvolvidos para melhorar e aperfeiçoar as avaliações e valores referências (Rochi et al. 2001; Fontes e Araújo, 2006), dado a necessidade de especificidade de local e influência vários fatores bióticos e abióticos.

O teor de N na massa da matéria seca da quarta folha foi significativamente reduzido com o aumento da dose de K e com o residual. Esse resultado indica que a aplicação de altas doses de K promove deficiência de N. Contrariamente, o conteúdo de N aumentou até atingir máximo valor e decresceu nos dois experimentos, provavelmente devido ao aumento da massa da matéria seca da folha. O valor do nível crítico de $57,1 \text{ g kg}^{-1}$ é considerado adequado para a faixa referenciada de 46 a 65 g kg^{-1} para a batata (Mills e Jones, 1996; Rodrigues et al. 2000; Busato, 2007; Coelho et al. 2010, Fontes et al. 2011; Braun; 2012).

Paralelamente, a fertilização potássica e o residual da adubação aumentaram o teor e conteúdo de K na quarta folha, que variou de 18,8 a 46,4 g kg⁻¹. O K⁺ e NH₄⁺ são cátions com propriedades semelhantes que competem pelos sítios de absorção na planta (Zhang et al. 2010; Zörb et al. 2014), o que explica a redução no teor de N da planta. Esse resultado é contrastante com o observado por Tufik (2013), pois o mesmo não observou interação entre os K⁺ e NH₄⁺. O efeito do K sobre a absorção de N na forma aniônica também pode ser atribuída ao antagonismo entre o Cl⁻, íon presente no fertilizante aplicado (James et al. 1994; Mohr e Tomasiewicz, 2012). Desta forma, a interação dos nutrientes pode interferir a avaliação do estado nutricional da planta.

A quarta folha de uma planta de batata cv. Ágata com adequada disponibilidade de K apresentou as seguintes características, aos 21 DAE:

- ✓ Índices fisiológicos: 184,8 cm² de área foliar; 306,1 cm⁻² g⁻¹ de área foliar específica; 9,04 g de massa da matéria fresca; 0,59 g de massa da matéria seca; 16,1 cm de largura; 25,2 cm de comprimento; 9,8 folíolos.
- ✓ Índices nitrogenados: 40,2 de índice SPAD; 36,3 de índice de clorofila; 0,84 de índice de flavonóis; 49,6 de índice de balanço de nitrogênio; nota 3,2 na tonalidade de verde na tabela de cor; nota 3,7 no aspecto da folha; teor de 57,1 g kg⁻¹ de N na massa da matéria seca e 35,6 mg de conteúdo de N.

5. Conclusão

Todos os índices fisiológicos (área foliar, área foliar específica, massa da matéria fresca, massa da matéria seca, largura comprimento, número de folíolos) são influenciados pela fertilização potássica, o que pode comprometer o seu uso na avaliação do estado de N da planta em condições de variação na disponibilidade de K no solo;

Os índices de flavonóis e de balanço de nitrogênio não são afetados pela fertilização potássica, podendo ser utilizados na avaliação do estado de N da planta, sendo que o oposto ocorre com os índices de clorofila determinados pelo equipamento SPAD e Dualex, bem como os índices de avaliação do aspecto da folha determinados pela tabela de cor e por nota.

O uso de índices fisiológicos ou nitrogenados para avaliar o estado nutricional de N e para auxílio na recomendação de fertilização nitrogenada para a batata necessita considerar estado nutricional de K para evitar recomendações imprecisas.

6. Referências Bibliográficas

- ALAM, M. M.; LADHA, J. K.; KHAN, S. R.; KHAN, A. H.; BURESH, R. J. Leaf color chart for managing nitrogen fertilizer in lowland rice in Bangladesh. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 3, p. 949-959, 2005.
- ALI, A. M.; THIND, H. S.; SHARMA, S.; VARINDERPAL-SINGH. Prediction of dry direct-seeded rice yields using chlorophyll meter, leaf color chart and GreenSeeker optical sensor in northwestern India. **Field Crops Research**, v. 161, n. 5, p. 11-15, 2014.
- ARAÚJO, C. **Critérios para o manejo da adubação nitrogenada do tomateiro em ambiente protegido e no campo**. 2004. 220 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- ARGENTEL, L.; LÓPEZ, R. C.; FONSECA, I.; GIRÓN, R.; GÓMEZ, E.; GONZÁLEZ, L. M.; AGUILAR, D. R. L. Contenido de clorofila e iones en la variedad de trigo harinero Cuba-C-204 en condiciones de estrés salino. **Cultivos Tropicales**, v. 30, n. 4, p. 00-00, 2009.
- BALASUBRAMANIAN, V.; MORALES, A. C.; CRUZ, R. T.; ABDULRACHMAN, S. On-farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen technologies for rice systems. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 53, n. 1, p. 59–69, 1999.
- BAR-TAL, A. The effects of nitrogen form on interactions with potassium. **Nitrogen and Potassium Interactions**. Switzerland, International Potash Institute, p. 9, 2011.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 666-669, 2003.
- BRAUN, H. **Produtividade, índices fisiológicos e nitrogenados avaliados na planta em tempo real, influenciados pelo manejo do nitrogênio, época de cultivo e cultivar de batata**. 2012. 268p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- BRAUN, H.; FONTES, P.C.R.; BUSATO, C.; CECON, P.R. Teor e exportação de macro e micronutrientes nos tubérculos de cultivares de batata em função de doses do nitrogênio. **Bragantia**, v. 70, p. 50-57, 2011.

BULLOCK, D.G. e ANDERSON, D.S. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p. 741-755, 1998.

BUSATO, C. **Características da planta, teores de nitrogênio na folha e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio**. Universidade Federal de Viçosa. 2007. 129p. (Dissertação de Mestrado).

BUSATO, C. FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; CECOM, P.R. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 14, 2148-2156, 2010.

BUSATO, C.; FONTES, P. C. R.; BRAUN, H.; BUSATO, C. C. M. Estimativa da área foliar da batateira, cultivar Atlantic, utilizando dimensões lineares. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 702-708, 2010.

CAKMAK I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, n. 9, p. 1245-1250, 1994.

CARTELAT, A.; CEROVIC, Z. G.; GOULAS, Y.; MEYER, S.; LELARGE, C.; PRIOUL, J. L.; BARBOTINC, A.; JEUFFROYC, M.-H.; GATED, P.; AGATI, G.; MOYA, I. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum*). **Field Crops Research**, v. 91, n. 1, p. 35-49, 2005.

CHANG, Scott X.; ROBISON, Daniel J. Nondestructive and rapid estimation of hardwood foliar nitrogen status using the SPAD-502 chlorophyll meter. **Forest Ecology and Management**, v. 181, n. 3, p. 331-338, 2003.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; SILVA, M.C.C. Using a chlorophyll meter readings for monitoring nitrogen status of potato cultivars. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, v. 2, p. 248-256, 2012a.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; CECOM, P.R. Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n.4, p. 584-592, 2012b.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L.; SILVA, M.C.C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, p.1175-1183, 2010.

DEMOTES-MAINARD, S.; BOUMAZA, R.; MEYER, S.; CEROVIC, Z. G. Indicators of nitrogen status for ornamental woody plants based on optical measurements of leaf epidermal polyphenol and chlorophyll contents. **Scientia Horticulturae**, v. 115, n. 4, p. 377-385, 2008.

DIBB, D.W.; WELCH, L.F. Corn growth as affected by ammonium vs. nitrate absorbed from soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 89-94, 1976.

FAO, W. F. P. IFAD. **The state of food insecurity in the world**, p. 8-11, 2012.

FONTES, P.C.R. Cultura da batata. In: FONTES, P.C.R. (Ed). **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa: UFV, p.323-343, 2005.

FONTES, P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 122 p.

FONTES, P. C. R.; CASTRO, M. C. S.; MIRANDA, G. V. Statistical Models in Plant Diagnosis and Calculating Recommended Nitrogen Rates. In: He, Zhongqi; Larkin, Robert; Honeycutt, Wayne (Eds). (Org.). **Sustainable Potato Production: Global Case Studies**. Springer Netherlands, 2012. p. 391-402.

FONTES, P.C.R. Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose. Viçosa: 2011. 296p.

FONTES, P.C.R., BRAUN, H., BUSATO, C., CECON, P.R. Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars. **Potato Research**, 53:1-2, 2010.

FONTES, P.C.R.; ARAÚJO C. Use of chlorophyll meter and plant visual aspect for nitrogen management in tomato fertirrigation. **Journal of Applied Horticulture**, v. 8. p. 8-11. 2006.

FONTES, P.C.R.; ARAÚJO, C. **Adubações nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: Editora UFV, 148 p., 2007.

FONTES, P.C.R.; REIS JR, R.A.; PEREIRA, P.R.G. Critical potassium concentration and potassium/calcium plus magnesium ratio in potato petioles associated with maximum tuber yields. **Journal of Plant Nutrition**, v. 19, n. 3-4, p. 657-667, 1996.

FONTES, P.C.R.; ARAUJO, C. Use of a chlorophyll meter and plant visual aspect for nitrogen management in tomato fertigation. **Journal of Applied Horticulture**, v. 8, n. 1, p. 8-11, 2006.

FOX, R.H.; PIEKIELEK, W. P.; MACNEAL, K. E. Comparison of late-season diagnostic tests for predicting nitrogen status of corn. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 3, p. 590-597, 2001.

GIANQUINTO, G.; SAMBO, P.; BONA, S. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop: A methodological approach. **Acta Horticulturae**, v.607, p. 197-204. 2003.

GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, v.20. n. 4. p. 611-615. 2002.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, n. 327, v. 5967, 812-818, 2010.

GOFFART, J. P.; OLIVIER, M.; FRANKINET, M. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: past-present-future. **Potato Research**, v. 51, n. 3/4, p. 355-383, 2008.

HELAL, H.M.; K. MENGEL. Nitrogen metabolism of young barley plants as affected by NaCl salinity and potassium. **Plant Soil**, 15: 457-462. 1979.

HOEL, B.O. Chlorophyll meter reading in winter wheat: cultivar differences and prediction of grain protein content. **Soil Plant Science**, v. 53, p. 147-157. 2003.

JACKSON, M.L. Nitrogen determinations for soil and plant tissue. In: JACKSON, M.L., ed. **Soil chemical analysis**. Englewood Chiffs, Prentice Hall, p.183-204. 1958.

JADOSKI, S. O.; LOPES, E. C.; MAGGI, M. F.; SUCHORONCZEK, A.; SAITO, L. R.; DENEGA, S. Método de determinação da área foliar da cultivar de batata Ágata a partir de dimensões lineares. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2545-2554, 2012.

JAMES, D. W.; HURST, R. L.; WESTERMANN, D. T.; TINDALL, T. A. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: Evaluating nutrient element interactions in petioles with response surfaces. **American Potato Journal**, v. 71, n. 4, p. 249-265, 1994.

KALAJI, H. M.; OUKARROUM, A.; ALEXANDROV, V.; KOUZMANOVA, M.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SAMBORSKA, I. A.; CETNER, M. D.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; GOLTSEV, V. Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements, **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 81, n. 8, p.16-25, 2014.

KAVVADIAS, V.; PASCHALIDIS, C.; AKRIVOS, G.; PETROPOULOS, D. Nitrogen and Potassium Fertilization Responses of Potato (*Solanum tuberosum*) cv. Spunta. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, n.1, p.176–189, 2012

LOPES, I. P. de C. **Indicadores do estado de nitrogênio da planta, produtividade e biofortificação de tubérculos de batata influenciados por doses de sulfato de magnésio**. Universidade Federal de Viçosa. 2014. 129p. (Dissertação de Mestrado).

MAATHUIS, F.J.M. Monovalent cation transporters; establishing a link between bioinformatics and physiology. **Plant and Soil**, v.301, p.1-5. 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 314p.

MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; DANIEL-VEDELE, F.; DECHORGNAT, J.; CHARDON, F.; GAUFICHON, L.; SUZUKI, A. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. **Annals of Botany**, v. 105, n. 7, p. 1141-1157, 2010. doi: 10.1093/aob/mcq028

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MENGEL, K. Potassium. In: Barker, A.V.; Pilbeam, D. J. (Eds). **Handbook of Plant Nutrition**. p.91-120. 2007

- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Potassium in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 33, p.59-110, 1980.
- MILLS, H.A.; JONES, J.B. **Plant Analysis handbook II**. Athens, GA,USA, MicroMacro Publishing. 422p. 1996.
- MINOTTI, P.L.; HALSETH, D.E.; SIECZHA, J.B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. **Horscience**, v.29, n.12, p. 1497-1500. 1994.
- MOHR, R. M.; DALE J. TOMASIEWICZ, D. J. Effect of rate and timing of potassium chloride application on the yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L. 'Russet Burbank'). **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, n. 4, p. 783-794, 2012.
- MOKHELE, B.; ZHAN, X.; YANG, G.; ZHANG, X. Review: Nitrogen assimilation in crop plants and its affecting factors. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, n. 3, p. 399–405, 2012.
- MUÑOZ-HUERTA, R. F.; GUEVARA-GONZALEZ, R. G.; CONTRERAS-MEDINA, L. M.; TORRES-PACHECO, I.; PRADO-OLIVAREZ, J.; OCAMPO-VELAZQUEZ, R. V. Review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. **Sensors**, v. 13, n. 8 , p.10823–10843, 2013.
- NUNES, J.C.S.; FONTES, P.C.R.; ARAUJO, E.F.; SEDYAMA, C. Potato plant growth and macronutrient uptake as affected by soil tillage and irrigation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 41. n. 12. p. 1787-1792. 2006.
- OLIVEIRA, CARLOS ALBERTO DA SILVA. Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 940-950, 2000.
- PENG, S.; GARCIA, F. V.; LAZA, R. C.; SANICO, A. L.; VISPERAS, R. M.; CASSMAN, K. G. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. **Field Crops Research**, v. 47, n. 2, p. 243-252, 1996.
- PERRENOUD, S. **Potato: fertilizers for yield and quality**. Bern: International Potash Institute, 1993. 94 p.
- PHILLIPS, Steve. Precision Agriculture: Supporting Global Food Security. **Better Crops**, n.3, v. 98, p. 4-7, 2014.

POORTER, H.; JONG, R. A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. **New Phytologist**, v. 143, n. 1, p.163-176, 1999.

POORTER, H.; NAGEL, O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. **Functional Plant Biology**, v. 27, n. 12, p. 1191-1191, 2000.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F. D.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**. Vol. 34, n. 5, p. 1637-1645, 2004.

RAY, D. K.; MUELLER, N. D.; WEST, P. C.; FOLEY, J. A. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. **PLoS One**, n. 8, v.6, p. 66428, 2013.

REIS JR, R. A.; MONNERAT, P. H. Nutrient concentrations in potato stem, petiole and leaflet in response to potassium fertilizer. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 2, p. 251-255, 2000.

REIS JR, R.A.; MONNERAT, P.H. Exportação de nutrientes nos tubérculos de batata em função de doses de sulfato de potássio. **Horticultura Brasileira**, v.19, n.3, p.360-364. 2001.

REIS JUNIOR, R. D. A. R.; FONTES, P. C. R. Morfologia e partição de assimilados na batateira em função de época de amostragem e de doses de potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 795-799, 1999.

RHUE, R.D.; HENSEL, D.R.; KIDDER, G. Effect of K fertilization on yield and leaf nutrient concentrations of potatoes grown on a sandy soil. **American Potato Journal**, v.63, p.665-681, 1986.

ROBERTS, T. L. et al. The role of fertilizer in growing the world's food. **Better Crops**, v. 93, n. 2, p. 12-15, 2009.

RODRIGUES, F.A.; FONTES, P.C.R.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G. Nível crítico do índice SPAD na folha da batateira, em solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 764-765. 2000.

- RONCHI, C. P.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G.; NUNES, J. C. S.; MARTINEZ, H. E. P. Índices de nitrogênio e de crescimento do tomateiro em solo e em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v.48, n.278, p.469-484, 2001.
- SCHUWARZ, D.; KLARING, H. Allometry to estimate leaf area of tomato. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 08, p. 1291-1309, 2001.
- SCHWARZ, D.; KLÄRING, HP. Allometry to estimate leaf area of tomato. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1291-1309, 2001.
- SHARMA, U.C.; ARORA, B.R. Critical nutrient ranges for potassium in potato leaves and petioles. **Journal of Horticultural Science**, v.64, p.47-51, 1989.
- SHIPLEY, B. Net assimilation rate, specific leaf area and leaf mass ratio: which is most closely correlated with relative growth rate? A meta-analysis. **Functional Ecology**, v.20, p.565- 574, 2006.
- SILVA, M. C. C.; FONTES, P. C. R.; VIANA, R. G. Estimativa da área da folha da batateira utilizando medidas lineares. **Horticultura Brasileira**. v. 26, n.1, p.83-87. 2008.
- SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 17-22, 2009
- SINGH, S.K.; LAL, S.S. Effect of potassium nutrition on potato yield, quality and nutrient use efficiency under varied levels of nitrogen application. **Potato Journal**, v.39, n.2, p.155-165. 2012.
- SPANER, D.; TODD, A.G.; NAVABI, T.A.; CKENZIE, D.B.; GOONEWARDENE, L.A. Can leaf chlorophyll measures at differing growth stages be used as an indicator of winter wheat and spring barley nitrogen requirements in eastern Canada?. **Journal Agronomy and Crop Science**, v. 191, n.5, p. 393-399. 2005.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 4ed., Porto Alegre: Artmed., 2009. 848p.
- TALBOTT, L.T.; ZEIGER, E. Central roles for potassium and sucrose in guard-cell osmoregulation. **Plant Physiology**, v.111, p. 1051-1057. 1996.

TREMBLAY, N.; FALLON, E.; ZIADI, N. Sensing of crop nitrogen status: Opportunities, tools, limitations, and supporting information requirements. **Hort Technology**, v. 21, n. 3, p. 274–281, 2011.

TREMBLAY, N.; WANG, Z.; BÉLEC, C. Evaluation of the Dualex for the assessment of corn nitrogen status. **Journal of plant nutrition**, v. 30, n. 9, p. 1355-1369, 2007.

TREMBLAY, N.; WANG, Z.; BELEC, C. Performance of Dualex in spring wheat for crop nitrogen status assessment, yield prediction and estimation of soil nitrate content. **Journal of plant nutrition**, v. 33, n. 1, p. 57-70, 2009.

TUFIK, C. B. A. **Efeito de doses de potássio sobre índices de avaliação do estado de nitrogênio e produtividade de batata-semente básica em substrato orgânico e hidroponia**. Universidade Federal de Viçosa. 2013. 87p. (Dissertação de Mestrado).

VAN EVERT, F. K.; BOOIJ, R.; JUKEMA, J. N.; TEN BERGE, H. F. M.; UENK D.; MEURS, E. J. J.; VAN GEEL, W. C. A.; WIJNHOLDS, K. H.; SLABBEKOORN, H. Using crop reflectance to determine sidedress N rate in potato saves N and maintains yield. **European Journal of Agronomy**, v. 43, n. 1, p. 58–67, 2012.

VARINDERPAL-SINGH.; YADVINDER-SINGH; BIJAY-SINGH; THIND, H. S.; KUMAR, A.; VASHISTHA, M. Calibrating the leaf colour chart for need based fertilizer nitrogen management in different maize (*Zea mays* L.) genotypes. **Field Crops Research**, v. 120, n. 2, p. 276-282, 2011.

VARINDERPAL-SINGH; BIJAY-SINGH; YADVINDER-SINGH; THIND, H. S.; GOBINDER-SINGH; SATWINDERJIT-KAUR; KUMAR, A.; VASHISTHA, M. Establishment of threshold leaf colour greenness for need-based fertilizer nitrogen management in irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) using leaf colour chart. **Field Crops Research**, v.130, n. 3, p.109-119, 2012.

VILE, D.; GARNIER, E.; SHIPLEY, B.; LAURENT, G.; NAVAS, M. L.; ROUMET, C.; WRIGHT, I. J. Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. **Annals of Botany**, v. 96, n. 6, p. 1129-1136, 2005.

VOS, J.; VAN DER PUTTEN, P. E. L. Effect of nitrogen supply on leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in potato. **Field Crops Research**, v. 59, n. 1, p. 63-72, 1998.

WALWORTH, J.L.; MUNIZ, J.E. A compendium of tissue nutrient concentrations for field-grown potatoes. **American Potato Journal**, v.70, p.579-597, 1993.

WEIER, U.; VAN RIESEN, U.; SCHARPF, H. C. Nil-N-plots: a system to estimate the amount of the nitrogen top dressing of vegetables. In: **International Conference on Environmental Problems Associated with Nitrogen Fertilisation of Field Grown Vegetable Crops 563**. 1999. p. 47-52.

WESTERMANN, D.T.; TINDALL, T.A.; JAMES, D.W.; HURST, T.R.L. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: yield and specific gravity. **American Potato Journal**, v. 71, p. 417-432, 1994.

WITT, C., PASUQUIN, J.M.C.A., MUTTERS, R., BURESH, R.J. New leaf color chart for effective nitrogen management in rice. **Better Crops**, v.89, n.1, p.36-39, 2005.

ZEBARTH, B. J. et al. Mapping spatial variation in potato nitrogen status using the N Sensor. In: **XXVI International Horticultural Congress: Toward Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Production 627**. 2002. p. 267-273.

ZHANG, F.; NIU, J.; ZHANG, W.; CHEN, X.; LI, C.; YUAN, L.; XIE, J. Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. **Plant and Soil**, v. 335, n. 1-2, p. 21-34, 2010.

ZHU, Y.; YAO, X.; TIAN, Y.; LIU, X.; CAO, W.; Analysis of common canopy vegetation indices for indicating leaf nitrogen accumulations in wheat and rice. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2008.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture—status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.

CAPÍTULO III

Alterações de características químicas do solo em resposta à fertilização potássica e ao residual e relação com a produtividade de tubérculos

1. Introdução

A cultura da batata é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil. A cultura possui alto potencial de produção e demanda adequado balanço de nutrientes para garantir a alta produtividade e qualidade de tubérculos (Tein et al. 2014). É altamente exigente em K e em cultivos intensivos recebe altas doses de fertilizantes potássico (Panique et al. 1991; Reis Júnior et al. 1999, Westermann, 2005), pois geralmente a reserva de K na solução do solo é baixa e pouco disponível para a completa nutrição das plantas (Rosolem et al. 2010).

A aplicação excessiva de fertilizante potássico, principalmente na forma de sais de cloreto ou sulfato, contribui para o aumento da salinização do solo, que afeta o desenvolvimento da cultura (Carmona et al. 2011). Em muitas culturas, o excesso de sais na solução do solo reduz a absorção de água pelas plantas e a abertura estomática, que leva a menor assimilação de carboidratos e, conseqüentemente, a redução na produção de biomassa (Van Hoorn et al. 1993; Reis Júnior et al. 1999; Carmona et al. 2011).

A batata é moderadamente tolerante a salinidade do solo (Levy, 1992; Shannon e Grieve, 1999; White e Broadley, 2001) e o nível crítico tolerado, medida por meio da condutividade elétrica, varia de 0,80 a 1,7 dS m⁻¹ (Reis Junior et al. 1999; Xu et al. 2000; Katerji et al. 2003) de acordo com a cultivar, teor de argila e estágio de desenvolvimento da cultura.

Aplicação de altas doses de fertilizante potássico incrementa o teor de K no solo e, quase sempre, a produtividade de tubérculos (Chapman et al. 1992; Mohr e Tomasiewicz, 2012). A adição de fertilizantes potássicos no solo promove interação na absorção de nutriente pelas plantas, especialmente os cátions Ca e Mg (Jakobsen, 1993), que também têm as concentrações na solução do solo alteradas (Addiscott, 1974; Panique et al. 1997; Reis Júnior et al. 1999; Hartz et al. 1999; Ernani et al. 2007). A atividade de cátions na solução do solo, descrita pela relação $K/(Ca + Mg)^{1/2}$, afeta fortemente a absorção de K pela planta (Hartz et al. 1999). Aplicação de K, acima do removido pela planta, pode aumentar a concentração de K e a atividade de cátions na solução do solo, e, em resposta a redução da absorção de Ca e Mg ao longo do tempo, potencializar deficiências (Jakobsen, 1993). Na cultura da batata, Reis Junior et al. (1999) documenta aumento da relação $K/(Ca$

+ Mg)^{1/2} no solo com incremento do K no pela fertilização potássica, sem alteração na concentração de Ca e Mg.

Todavia, nem sempre a produtividade de tubérculos de batata aumenta com aplicação de elevadas doses de K, e o teor de K no solo não é adequado preditor da resposta da cultura (Allison et al. 2001; Mohr e Tomasiewicz, 2012).

Na batata, a recomendação de K é elevada, devido à alta extração do nutriente e necessidade de reposição (Reis e Monnerat, 1997). Para garantia de alta produtividade, o K é, muitas vezes, aplicado em quantidades excessivas, o que aumenta os custos com fertilizantes e reduz a qualidade dos tubérculos. Em solo bem drenado, o excesso de K pode ser perdido por lixiviação devido à baixa energia de ligação nos sítios de troca, sobretudo em solos com baixa capacidade de troca de cátions (Ernani et al., 2007; Rosolem et al., 2010). Alternativamente, parte do potássio adicionado não absorvido pela planta pode permanecer retida no solo. Dependendo da dose do fertilizante potássico, o residual pode ser suficiente para a próxima cultura. De acordo com Allison et al. (2001), o residual potássico pode suprir a necessidade da batata em solos argilosos com alta capacidade trocável de K, sendo entretanto, essa prática pouco adequada em cultivos rotacionados ou terrenos arrendados.

Desta forma, é necessário o entendimento da interação dos nutrientes no solo para o refinamento da recomendação de K para a batata, garantindo o equilíbrio entres os demais nutrientes no solo.

Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência de doses de potássio e do residual potássico sobre os valores de pH, teores de K, Ca e Mg, relação $K/(Ca + Mg)^{1/2}$, condutividade elétrica (CE) no solo aos 21 DAE e na colheita; adicionalmente objetivou-se estabelecer o nível crítico de K no solo e avaliar a relação entre o teor de K no solo e a produtividade de tubérculos.

2. Material e Métodos

2.1 Localização, caracterização da área da experimental, tratamentos, delineamento, instalação e condução

Item descrito no capítulo I

2.2 Características avaliadas

2.4.1 Avaliações do pH, condutividade elétrica e teores de K, Ca e Mg no solo

Amostras simples de solo foram coletadas em duas épocas, na amontoa (21 DAE) e na colheita dos tubérculos (88 DAE). Cada amostra foi composta por três sub-amostras coletadas aleatoriamente na linha de plantio, com auxílio de trado, na camada de 0 – 20 cm de profundidade.

Nas amostras foram determinados os valores de pH, teores de Ca, Mg e condutividade elétrica do extrato aquoso. Em extrato de Mehlich 1 foi determinado o teor de K e no extrato de KCl 1 mol/L foram determinados os teores de Ca e Mg (EMBRAPA, 1997).

A condutividade elétrica (CE) do solo foi determinada em extrato aquoso do solo (1:5).

2.3 Análise estatística

A análise estatística foi realizada conforme o capítulo I (item 2.4.7). O nível crítico de K no solo foi determinado de acordo com o capítulo II (item 2.3).

Foi calculado o nível crítico de K, condutividade elétrica e relação $K/(Ca+Mg)^{1/2}$ no solo, aos 21 DAE, e do teor de K no solo após a colheita dos tubérculos pela associação com a dose de máxima eficiência econômica. No procedimento pela associação da dose de máxima eficiência econômica, o nível crítico foi estimado com a dose de 392,5 kg ha⁻¹ de K₂O associado a 100, 99, 98, 95 e 90% da produtividade relativa de tubérculos. A produtividade relativa foi determinada considerando a produtividade comercial máxima de tubérculos com 100%.

Os dados de teor de K no solo, aos 21 DAE e após a colheita dos tubérculos, no experimento 1 e 2, foram submetidos à análise de correlação de Pearson, utilizando-se todas as 20 observações de cada experimento, para detectar a relação com a produtividade relativa de tubérculos. As variáveis dependentes que apresentaram correlação significativa com a produtividade relativa foram submetidas à análise de regressão para estimar a equação que descreve a relação entre as duas variáveis.

3. Resultados

Os valores mínimo, máximo, médio e o coeficiente de variação observados para cada variável dependente pH, teores de K, Ca, Mg; CE e relação $K/(Ca+Mg)^{1/2}$ observados nos dois experimentos e nas duas épocas de amostragem estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

As equações ajustadas para a relação entre as doses de K e as variáveis no experimento 1 e 2 estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente, e a representação gráfica nas Figuras 1 e 2.

Tabela 1. Valores mínimo, máximo, média e coeficiente de variação (CV%) observados para cada variável dependente aos 21 DAE e na colheita no experimento 1 (n=20).

Variável dependente	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	CV(%)
21 dias após emergência					
pH	-	5,10	5,45	5,23	1,58
K	mg dm ⁻³	31,0	577	233,0	13,17
Ca	cmol _c dm ⁻³	2,98	7,37	4,78	21,41
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,82	1,49	1,10	12,29
K/(Ca + Mg) ^{1/2}	-	0,033	0,693	0,25	11,61
CE	dS m ⁻¹	0,32	1,04	0,61	14,03
Colheita					
pH	-	5,05	5,79	5,29	3,68
K	mg dm ⁻³	15,0	91,0	39,60	16,29
Ca	cmol _c dm ⁻³	2,44	4,22	3,01	15,10
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,55	1,07	0,72	12,40
K/(Ca + Mg) ^{1/2}	-	0,019	0,333	0,054	18,34
CE	dS m ⁻¹	0,08	0,14	0,11	15,69

Tabela 2. Valores mínimo, máximo, média e coeficiente de variação (CV%) observados para cada variável dependente aos 21 DAE e na colheita no experimento 2 (n=20).

Variável dependente	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	CV(%)
21 dias após emergência					
pH	-	4,11	6,12	5,00	6,84
K	mg dm ⁻³	19,0	117,0	37,80	33,67
Ca	cmol _c dm ⁻³	3,11	7,88	5,54	13,96
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,76	1,20	0,95	5,92
K/(Ca + Mg) ^{1/2}	-	0,017	0,074	0,033	24,61
CE	dS m ⁻¹	0,30	1,03	0,65	27,30
Colheita					
pH	-	4,02	5,12	4,70	6,25
K	mg dm ⁻³	22,0	58,0	35,85	17,34
Ca	cmol _c dm ⁻³	3,33	9,04	5,43	29,13
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,66	0,96	0,85	7,02
K/(Ca + Mg) ^{1/2}	-	0,033	0,693	0,038	19,71
CE	dS m ⁻¹	0,34	0,98	0,68	26,73

n = número de dados observados.

Tabela 3. Equações ajustadas para relação entre as doses de potássio e pH, teores de K (mg dm^{-3}), Ca (cmolc dm^{-3}), Mg (cmolc dm^{-3}), relação $\text{K}/(\text{Ca} + \text{Mg})^{1/2}$ e condutividade elétrica (CE, dS m^{-1}) no solo ao 21 DAE e na colheita no experimento 1.

Variável	Equação Ajustada	R ²	NC ¹
21 dias após emergência			
pH	$\hat{Y} = 5,25$	0,8531	5,40
K	$\hat{Y} = 31,13750 + 0,61170^{**}\text{K}$	0,9736	271,23
Ca	$\hat{Y} = 4,78$	-	-
Mg	$\hat{Y} = 1,10$	0,9704	-
$\text{K}/(\text{Ca} + \text{Mg})^{1/2}$	$\hat{Y} = 0,02273 + 0,0009477^{**}\text{K}$	0,9795	0,39
CE	$\hat{Y} = 0,38262 + 0,000705^{***}\text{K}$	0,9882	0,66
Colheita			
pH	$\hat{Y} = 5,29$	0,9397	5,28
K	$\hat{Y} = 18,22500 + 0,06477^{**}\text{K}$	0,9817	43,65
Ca	$\hat{Y} = 3,24700 - 0,0007000^{**}\text{K}$	0,9683	3,22
Mg	$\hat{Y} = 0,80600 - 0,00025455^{*}\text{K}$	0,8740	0,70
$\text{K}/(\text{Ca} + \text{Mg})^{1/2}$	$\hat{Y} = 0,02273 + 0,0009477^{**}\text{K}$	0,9795	0,06
CE	$\hat{Y} = 0,11$	-	-

¹NC= Nível crítico. ***, ** e * - Significativo ao nível de 0,1; 1 e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Tabela 4. Equações ajustadas para relação entre as doses de potássio e pH, teores de K (mg dm^{-3}), Ca (cmolc dm^{-3}), Mg (cmolc dm^{-3}), relação $\text{K}/(\text{Ca} + \text{Mg})^{1/2}$ e condutividade elétrica (CE, dS m^{-1}) no solo ao 21 DAE e na colheita no experimento 2.

Variável	Equação Ajustada	R ²
21 dias após emergência		
pH	$\hat{Y} = 5,00$	-
K	$\hat{Y} = 15,76875 + 0,06676^*K$	0,8836
Ca	$\hat{Y} = 5,54$	-
Mg	$\hat{Y} = 1,07425 - 0,00035227^*K$	0,8064
$\text{K}/(\text{Ca} + \text{Mg})^{1/2}$	$\hat{Y} = 0,01890 + 0,00004273^{**}K$	0,9774
CE	$\hat{Y} = 0,68$	-
Colheita		
pH	$\hat{Y} = 4,70$	-
K	$\hat{Y} = 25,85625 + 0,03028^{**}K$	0,9307
Ca	$\hat{Y} = 5,43$	-
Mg	$\hat{Y} = 0,85$	-
$\text{K}/(\text{Ca} + \text{Mg})^{1/2}$	$\hat{Y} = 0,02515 + 0,00003955^*K$	0,8981
CE	$\hat{Y} = 0,68$	-

** e * - Significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

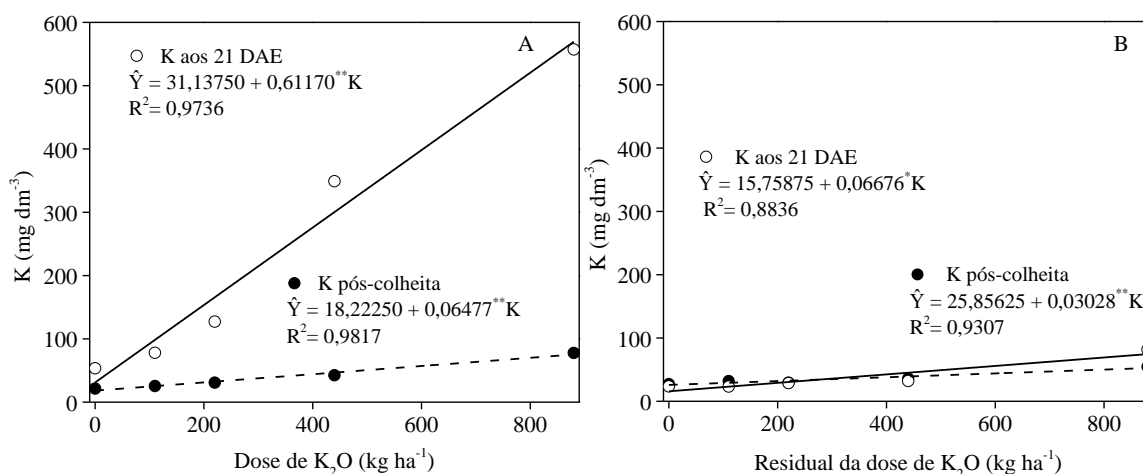


Figura 1. Teor de K no solo amostrado ao 21 DAE e após a colheita dos tubérculos em função de doses de potássio (A) e do residual potássico (B). ** e * - Significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

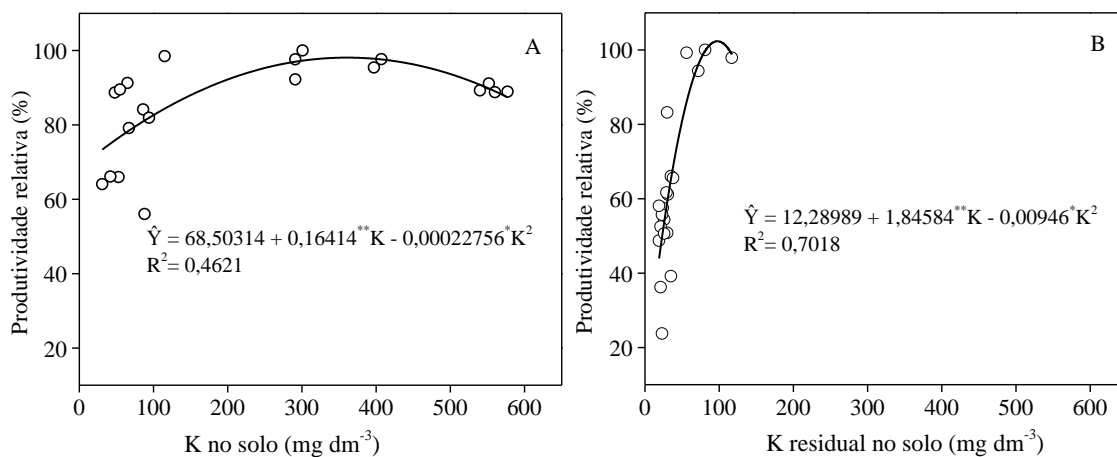


Figura 2. Associação entre a produtividade relativa e o teor de K no solo aos 21 DAE no experimento 1 (A) e 2 (B, respectivamente. ** e * - Significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

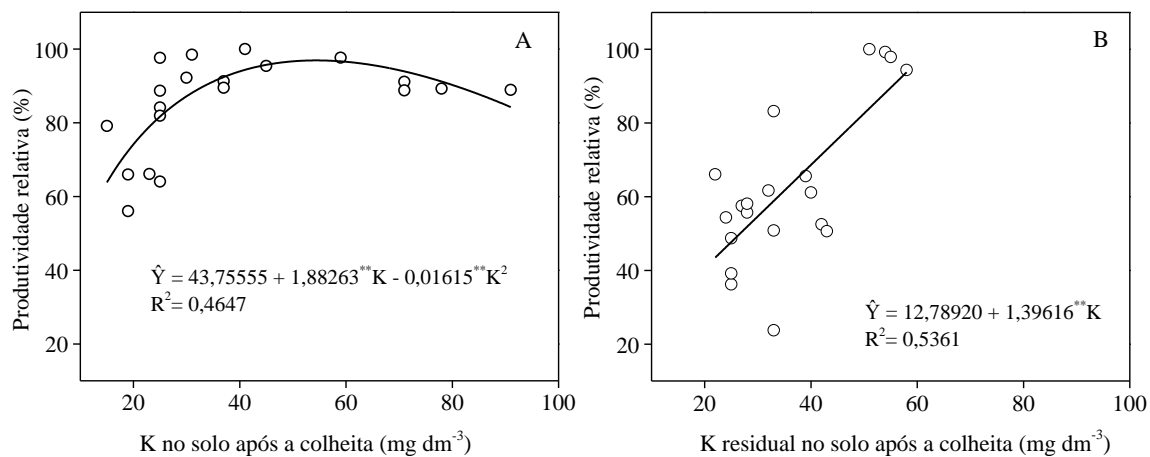


Figura 3. Associação entre a produtividade relativa e o teor de K no solo após a colheita no experimento 1 (A) e 2 (B), respectivamente. ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Os valores críticos do teor de K, condutividade elétrica e relação $K/(Ca+Mg)^{1/2}$ aos 21 DAE e K no solo após a colheita dos tubérculos, no experimento 1, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores críticos do teor de K ($mg\ dm^{-3}$), condutividade elétrica (CE, $dS\ m^{-1}$), relação $K/(Ca+Mg)^{1/2}$ aos 21 DAE e K no solo ($mg\ dm^{-3}$) após a colheita pela associação da dose de máxima eficiência econômica (MEE), em diferentes percentagens da produtividade relativa no experimento 1.

Produtividade relativa (%)	K ($mg\ dm^{-3}$)	CE	$K/(Ca+Mg)^{1/2}$	K ($mg\ dm^{-3}$)
	-----21 DAE-----			---Colheita---
100	271,3	0,659	0,399	43,65
98	260,4	0,654	0,387	43,14
95	259,2	0,645	0,376	42,38
90	247,2	0,632	0,357	41,10

4. Discussão

4.1 Características químicas do solo aos 21 DAE

Não houve efeito da fertilização potássica e o do residual sobre o pH do solo na amostragem realizada aos 21 DAE. Inicialmente, antes do cultivo da batata, a acidez do solo foi de 5,30, solo classificado como mediamente ácido (Alvarez et al. 1999). Mesmo com aplicação de altas doses de K, o pH do solo variou de 5,10 a 5,45. Reis Júnior et al. (1999) também reportam ausência de efeito da fertilização potássica sobre o pH no solo.

O teor de K no solo aos 21 DAE aumentou linearmente com a fertilização e residual potássico. O aumento das doses de K elevou o teor inicial de K de $31,1\ mg\ dm^{-3}$, na testemunha, para valor máximo de $568,96\ mg\ dm^{-3}$ na dose de $880\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O . O teor crítico de K no solo, associado à máxima produtividade, foi estimado em $271,3\ mg\ dm^{-3}$. Esse valor de nível crítico é superior ao sugerido por Reis Júnior et al. (1997) para a região de Viçosa. Segundo esses autores, com a cultivar Baraka e produtividade de $30,5\ t\ ha^{-1}$ os teores entre 126 e $153\ mg\ dm^{-3}$ de K no solo, na época da amontoa, são suficientes para atender à necessidade da batata.

O residual das doses de K aumentou levemente o teor de K no solo de $15,75$ para $74,5\ mg\ dm^{-3}$ (0 e $880\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O , respectivamente). O aumento do teor de K no solo com o residual permitiu elevar o teor da classe de baixa para classe de média

disponibilidade de K no solo de acordo a proposta de Fontes (1999) para o cultivo geral de hortaliças.

A fertilização potássica e o residual não influenciaram o teor de Ca no solo. Em média nos dois experimentos, o solo apresentou teor de 4,78 e 5,54 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca, valor classificado como muito bom para os solos em MG (Alvarez et al. 1999). Similarmente, não houve efeito do aumento da dose de K sobre o teor de Mg no solo, mas o teor médio de 1,10 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ foi adequado para a batata. Entretanto, o teor de Mg no solo reduziu levemente com residual de K. Embora, ocorra redução na absorção de Ca e Mg com aumento da absorção de K pela planta (Capítulo II), essa interação antagônica não foi observada claramente no solo. Diferentemente, Addiscott (1974) notou efeito contrário a essa hipótese. Segundo o autor, aplicação de K no solo incrementa a concentração de ânions na solução do solo e, associado a esse efeito, permite aumento da concentração total dos cátions, entre eles o Ca e Mg.

A condutividade elétrica (CE) do solo aumentou linearmente com a fertilização potássica. Entretanto, não houve efeito do residual potássico. A concentração crítica de CE no solo associada à dose de máxima produtividade foi de 0,66 dS m^{-1} . Reis Júnior et al. (1999) estimou nível crítico de 1,60 dS m^{-1} para cultivar Baraka com aplicação de 353,5 kg ha^{-1} de K_2SO_4 . A salinidade do solo é dependente da fonte de fertilizante adicionado ao solo. O K_2SO_4 possui menor índice salino que KCl (Nogueira et al. 2001), o que possivelmente justifique as diferenças sugeridas para CE do solo. A batata é moderadamente tolerante à salinidade do solo, entretanto durante o início da tuberização apresenta mais sensibilidade (Levy, 1992; Shannon e Grieve, 1998; White e Broadley, 2001). Além do efeito do fertilizante potássico, a salinidade no solo pode ser intensificada em solos de textura argilosa, dado a alta correlação positiva entre a CE e o teor de argila do solo (Factor et al. 2012).

A relação $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})^{1/2}$ aumentou linearmente com o aumento da dose de K e com o residual. O aumento da relação foi possivelmente associado a maior atividade do K no solo, porquanto o fertilizante não afetou os teores de Ca e Mg no solo. O fertilizante potássico aumento a relação de $\text{K}/(\text{Ca} + \text{Mg})^{1/2}$ de 0,022, na testemunha, para 0,86 com dose máxima de 880 kg ha^{-1} K_2O , e concentração crítica de 0,40 aos 21 DAE. Mesmo aplicação de altas doses de K, o valor máximo foi consistentemente menor que o estimado por Reis Júnior et al. (1999). Para os autores, a concentração crítica para máxima produtividade encontra-se entre 1,45 e 1,79, sendo concentração a crítica obtida nesse experimento associada valores inferiores a 80% da produtividade máxima.

4.2 Características químicas do solo na colheita

O pH do solo na colheita não foi influenciado pela fertilização potássica e pelo residual. Não houve variação nos valores de pH entre as duas épocas amostradas nos dois experimentos. Em tomate, a fertilização potássica via fertirrigação não afetou a pH do solo em diferentes épocas de amostragem (Fontes et al. 2000), o que indica que mesmo altas doses de fertilizantes potássicos e residuais não alteram a acidez do solo.

A fertilização potássica e o residual aumentaram linearmente o teor de K no solo após colheita. O teor crítico de K no solo, associado à máxima produtividade, foi estimado em 42,7 mg dm⁻³. O teor médio de K após colheita foi aparentemente menor que o amostrado na época da amontoa, com redução de 193,4 mg dm⁻³. Recentes pesquisas reportam significativo incremento no teor de K após a colheita com a fertilização potássica, todavia com valores consistentemente maiores (Kavvadias et al. 2012; Mohr e Tomasiewicz, 2012).

A fertilização potássica aumenta os teores de K no solo após a colheita, entretanto, em muitos solos, a produtividade de tubérculos de batata é pouco responsiva à aplicação de K. Tal fato, é reflexo da alta fertilidade natural de K do solo, que mesmo com aplicação de K ocorre ausência de efeito sobre a produtividade de tubérculos. No presente experimento, aplicação de K influenciou positivamente a produtividade de tubérculos (capítulo I), o que justifica os baixos teores de K após a colheita.

O nível crítico de K é citado como baixo para o estado de Minas Gerais (Fontes, 1999). Em SC, os valores críticos de K disponível no solo são 45, 60 e 90 mg dm⁻³, para solos com valores de CTC (pH=7) inferiores a 5,0 (baixo), entre 5,0 e 15 (média) e superiores a 15 cmolc dm⁻³ (alta), respectivamente (Comissão, 2004). No Colorado, USA, para a batata, o limite crítico de K no solo extraído com NH₄OAc é de 180 mg dm⁻³, quando não é sugerido aplicar o nutriente (Davis et al. 2009).

O K está no solo nas formas em solução trocável, não trocável e estrutural. Essas formas estão em equilíbrio e em disponibilidade decrescente para as plantas (Spark & Huang, 1985). A análise de solo determina a fração trocável, mas as demais podem propiciar K às plantas (Simonsson et al. 2007; 2012). Entretanto, os resultados evidenciam que a aplicação de alta dose K, no primeiro cultivo, para o posterior aproveitamento no cultivo subsequente, não supre a necessidade da batata para garantia de alta produtividade.

O suprimento de K para batata com essa prática agrícola é dependente da característica do solo. Efeito benéfico do residual de K para a batata associa-se principalmente a solos de textura argilosa com alta reserva de K, que podem garantir alta

produtividade na ausência de fertilização potássica. Entretanto, essa prática não é justificada em cultivo com rotação de culturas ou arrendamento (Allison et al. 2001).

Os teores de Ca e Mg no solo após a colheita foram reduzidos com o aumento da dose de K. Entretanto, não houve efeito do residual. No experimento 1 e 2, os teores de Ca e Mg variaram de 4,24 e 0,80 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para 2,62 e 0,58 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com a aplicação de 880 kg ha^{-1} , respectivamente. Embora, reduzidos pela aplicação de K, os teores de Ca e Mg trocáveis no solo ao final do cultivo são interpretados como médio para o estado de Minas Gerais (Alvarez et al. 1999). Todavia, a excessiva fertilização com KCl pode reduzir a concentração de Ca e Mg no solo e promover deficiência nas plantas, afetando produtividade e qualidade de tubérculos (Jakobsen, 1993). Panique et al. (1991) relatam redução do Ca no solo na proporção do aumento do K disponível no solo, independente das fontes KCl e K_2SO_4 .

A relação $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})^{1/2}$ foi levemente incrementada com a fertilização e residual potássico. Embora, com incremento crescente, a relação dos nutrientes no solo foi aparentemente menor, comparada à amostragem realizada aos 21 DAE. Esse efeito é atribuído principalmente ao menor teor de K no solo, provocado pela remoção pelos tubérculos na colheita ou fixação no solo.

A condutividade elétrica não foi influenciada pela aplicação de K e pelo residual. Isso evidencia que o efeito da elevada quantidade de fertilizante potássico sobre a concentração salina do solo é foi prolongado, o que possivelmente explica a ausência de efeito ao final do cultivo e no cultivo subsequente.

4.3 Relação entre a produtividade relativa e o teor de K no solo

A produtividade relativa foi significativamente correlacionada com o teor K no solo ($r=0,50^*$ e $0,44^*$) amostrado aos 21 DAE e após a colheita, respectivamente. Os teores de K residual nas duas épocas de amostragem também foram positivamente correlacionados ($r=0,78^{**}$ e $0,73^{**}$) com a produtividade relativa. Independente da época de amostragem, o teor de K no solo forneceu semelhante explicação (46%) para a variabilidade na produtividade relativa no experimento 1. Entretanto, no experimento 2 o teor de K no solo forneceu maior explicação.

Há relatos que o teor de K no solo fornece explicação de 99 e 93% da produtividade relativa para cultivar Kennebec e Russet Burbank, respectivamente, na região da Austrália (Chapman et al. 1992). Contrariamente, Allison et al. (2001) sugerem que o teor de K é pouco eficiente na predição da produtividade de tubérculos. A predição

da produtividade, muitas vezes, é dificultada pelas condições de crescimento, irrigação cultivar e solo, que também interferem fortemente na resposta da produtividade à aplicação de K (Mohr e Tomaszewicz, 2012). Assim, os resultados sugerem que a relação entre o teor de K no solo e a produtividade de tubérculos de batata é influenciada pela época de cultivo indicando a necessidade de mais pesquisas sobre o uso do teor de K no solo como preditor da produtividade.

5. Conclusão

O pH do solo não é influenciado por doses de K e pelo residual;

A fertilização potássica e o residual aumentam o teor de K trocável no solo, entretanto, a aplicação de altas doses de K no cultivo da batata visando o aproveitamento no cultivo posterior não supre a necessidade de K pela cultura da batata;

Nas produtividades de máxima eficiência econômica de 36,2 t ha⁻¹ tubérculos, no experimento 1, o teor crítico de K no solo é de 271,3 mg dm⁻³;

Na colheita os tores de Ca e Mg trocáveis no solo decrescem com o aumento da dose de K aplicada no plantio, sem contudo ser influenciados pelo efeito residual;

A aplicação de K no solo e o residual afetam a relação $K/(Ca + Mg)^{1/2}$;

A CE do solo é reduzida momentaneamente pela fertilização potássica, sem prolongamento do efeito até a época da colheita e o cultivo residual.

6. Referências Bibliográficas

ADDISCOTT, Thomas M. Potassium and the absorption of calcium and magnesium by potato plants from soil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 25, n. 9, p. 1165-1172, 1974.

ALLISON, M.F.; FOWLER, J.H.; ALLEN, V.E.J. Responses of potato (*Solanum tuberosum*) to potassium fertilizers. **The Journal of Agricultural Science**. v.136, n.4, p.407- 426. 2001.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em MG**: 5. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de MG, 1999. p.25-32.

- CARMONA, F.C. et al. Attributes of irrigated rice as affected by soil sodicity and potassic fertilizer application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.3, p.889-897. 2011,
- CHAPMAN, K. S. R.; SPARROW, L. A.; HARDMAN, P. R.; WRIGHT, D. N.; THORP, J. R. A. Potassium nutrition of Kennebec and Russet Burbank potatoes in Tasmania: effect of soil and fertilizer potassium on yield, petiole and tuber potassium concentrations, and tuber quality. **Animal Production Science**, v. 32, n. 4, p. 521-527, 1992.
- COMISSÃO, DE QUÍMICA E. FERTILIDADE DO. SOLO. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Regional Sul**, 2004. 400p
- DAVIS, J. D.; DAVIDSON, R. D.; ESSAH, S. Y. C. Fertilizing potatoes. **Atlantic**, v. 180, p. 80-90, 2009.
- ERNANI, P.R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J.A. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.393-402. 2007.
- FACTOR, T. L.; FELTRAN, C. J.; MIRANDA FILHO, H. S.; GRANJA, N. P.; LIMA JÚNIOR, S. Ecofisiologia da batata. Adaptação às alterações climáticas. In: PÁUDA, J. G.; DIAS, M. S. C.; MESQUITA, H. A. **Batata: tecnologias e sustentabilidade de produção**. Informe agropecuário, v. 3, n. 25, 2012.
- FONTES, P. C. R.; SAMPAIO, R. A.; MANTOVANI, E. C. Tomato yield and potassium concentrations in soil and in plant petioles as affected by potassium fertirrigation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 575-580, 2000.
- FONTES, P.C. R. Sugestões de adubação para hortaliças. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em MG: 5. Aproximação. Viçosa: **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais**, 1999. p.171-174.
- HARTZ, T. K.; MIYAO, G.; MULLEN, R. J.; CAHN, M. D.; VALENCIA, J.; BRITTAN, K. L. Potassium requirements for maximum yield and fruit quality of processing tomato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 124, n. 2, p. 199-204, 1999

JAKOBSEN, S. T. Nutritional disorders between potassium, magnesium, calcium, and phosphorus in soil. In: **Optimization of Plant Nutrition**. Springer Netherlands, 1993. p. 65-72.

KATERJI, N. et al. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. **Agricultural water management**, v. 62, n. 1, p. 37-66, 2003.

KAVVADIAS, V.; PASCHALIDIS, C.; AKRIVOS, G.; PETROPOULOS, D. Nitrogen and Potassium Fertilization Responses of Potato (*Solanum tuberosum*) cv. Spunta. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, n.1, p.176–189, 2012.

LEVY, D. The response of potatoes (*S. tuberosum* L.) to salinity plant growth and tuber yields in the arid desert of Israel. **Annual Applied Biology**, v. 120, n. 3, p. 547-555, 199

MOHR, R. M.; TOMASIEWICZ, D. J. Effect of rate and timing of potassium chloride application on the yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L. 'Russet Burbank'). **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, n. 4, p. 783-794, 2012.

NOGUEIRA, F.D.; SILVA, E.B.E.; GUIMARÃES, P.T.G. **Adubação potássica do cafeeiro: sulfato de potássio**. Washington, DC: SOPIB, 2001, 81 p.

PANIQUE, E.; KELLING, K. A.; SCHULTE, E. E.; HERO, D. E.; STEVENSON, W. R.; JAMES, R. V. Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction. **American Potato Journal**, v. 74, n. 6, p. 379-398, 1997.

REIS JR, R.A.; FONTES, P.C.; NEVES, J.C.L. Níveis críticos de potássio no solo associados à produção de tubérculos de batata. **Actas de Horticultura**, v.16, p.349-354, 1997.

REIS JR, R.A.; FONTES, P.C.R.; NEVES, J.C.L; SANTOS, N.T. Total soil electrical conductivity and critical soil K^+ to Ca^{2+} and Mg^{2+} ratio for potato crops. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 4, p. 993-997, 1999.

ROSOLEM, C.A.; SGARIBOLDI, T.; GARCIA, R.A.; CALONEGO, J.C. Potassium leaching as affected by soil texture and residual fertilization in tropical soils. **Communnication in Soil Science Plant Analysis**, v.41, p.1934-1943. 2010.

SHANNON, M. C.; GRIEVE, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. **Scientia Horticulturae**, v. 78, n. 1, p. 5-38, 1998.

SHANNON, M. C.; GRIEVE, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. **Scientia Horticulturae**, v. 78, n. 1, p. 5-38, 1998.

SIMONSSON, M.; ANDERSSON, S.; ANDRIST-RANGEL, Y.; HILLIER, S.; MATTON, L. & ÖBORN, I. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. **Geoderma**, 140:188-198, 2007.

SIMONSSON, M.; HILLIER, S. & ÖBORN, I. Changes in clay minerals and potassium fixation capacity as a result of release and fixation of potassium in long-term field experiments. **Geoderma**, 151:109-120, 2009.

SPARKS, D. L.; HUANG, P. M. Physical chemistry of soil potassium. **Potassium in agriculture**, n. potassium in agriculture, p. 201-276, 1985.

TEIN, B.; KAUER, K.; EREMEEV, V.; LUIK, A.; SELGE, A.; LOIT, E. Farming systems affect potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber and soil quality. **Field Crops Research**, v. 1, n. 156, p. 1-11, 2104.

VAN HOORN, J. W. et al. Effect of saline water on soil salinity and on water stress, growth, and yield of wheat and potatoes. **Agricultural Water Management**, v. 23, n. 3, p. 247-265, 1993.

WESTERMANN, D. T. Nutritional requirements of potatoes. **American Journal of Potato Research**, v. 82, n. 4, p. 301-307, 2005.

WHITE, P.J.; BROADLEY, M. R. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. **Annals of Botany**, v. 88, n. 6, p. 967-988, 2001.

XU, G.; MAGEN, H.; TARCHITZKY, J.; KAFKAFI, U. Advances in chloride nutrition of plants. **Advances in Agronomy**, v. 68, p. 97-150, 2000.