

EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM CULTIVARES DE BATATA: I – MACRONUTRIENTES⁽¹⁾

Adalton Mazetti Fernandes⁽²⁾, Rogério Peres Soratto⁽³⁾ & Beatrice Luciana Silva⁽⁴⁾

RESUMO

A determinação das quantidades de nutrientes absorvidas durante o ciclo de desenvolvimento é de suma importância para estabelecer as épocas em que esses elementos são mais exigidos e as quantidades corretas que devem ser disponibilizadas à cultura da batata. No entanto, quase não existem essas informações para as principais cultivares utilizadas no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar a extração e a exportação de macronutrientes pelas cultivares de batata Ágata, Asterix, Atlantic, Markies e Mondial. O experimento foi conduzido durante a safra de inverno, em um Latossolo Vermelho, no município de Itaí (SP). As parcelas foram constituídas pelas cinco cultivares, e as subparcelas, por épocas de coletas, realizadas no momento do plantio e a cada sete dias após a emergência. As cultivares Mondial e Asterix, mais produtivas, apresentaram maior extração de macronutrientes, com quantidades médias por hectare de 116 kg de N, 18 kg de P, 243 kg de K, 50 kg de Ca e 13 kg de Mg, enquanto as cultivares Ágata, Atlantic e Markies extraíram menor quantidade, com valores médios de 92, 14, 178, 35 e 9 kg ha⁻¹, respectivamente. A maior demanda por macronutrientes pelas cultivares estudadas ocorreu na fase inicial de enchimento dos tubérculos (42 a 70 DAP). A exportação de macronutrientes não esteve diretamente relacionada com a produtividade de tubérculos, já que a cultivar mais produtiva (Mondial) não foi a que exportou a maior quantidade de macronutrientes. A cultivar Asterix exportou maior quantidade de N, P, K e Mg, com valores de 88, 15, 220 e 8 kg ha⁻¹, respectivamente, enquanto a menor exportação foi observada na cultivar Atlantic,

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP. Recebido para publicação em 18 de agosto de 2010 e aprovado em 1 de setembro de 2011.

⁽²⁾ Doutorando em Agronomia (Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista -FCA/UNESP. Campus de Botucatu, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP). E-mail: adalton@fca.unesp.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP. Bolsista do CNPq. E-mail: soratto@fca.unesp.br

⁽⁴⁾ Graduanda do curso de Agronomia, FCA/UNESP. E-mail: blsilva@fca.unesp.br

com 48 kg ha⁻¹ de N, 10 kg ha⁻¹ de P, 143 kg ha⁻¹ de K e 5 kg ha⁻¹ de Mg. A variação entre as cultivares na extração, especialmente de K e N, indica necessidade de manejo diferencial da adubação.

Termos de indexação: *Solanum tuberosum*, nutrição mineral, curvas de absorção, taxas de absorção, acúmulo de nutrientes.

SUMMARY: *NUTRIENT EXTRACTION AND EXPORTATION BY POTATO CULTIVARS: I – MACRONUTRIENTS*

The determination of nutrient absorption during the growth cycle is essential to determine the periods in which these elements are most required and the correct amounts that should be provided for potato, but for most cultivars used in Brazil the information is extremely scarce. The objective of this study was to evaluate absorption and exportation of the macronutrients N, P, K, Ca, Mg, and S by the potato cultivars Ágata, Asterix, Atlantic, Markies, and Mondial. The experiment was conducted in Itaí, São Paulo State, Brazil, in the 2008 winter growing season on an Oxisol. Plots consisted of the five potato cultivars and subplots of sampling times (at planting and every seven days after emergence). The cultivars Mondial and Asterix, the most productive, absorbed highest average macronutrient quantities per hectare (116 kg N, 18 kg P, 243 kg K, 50 kg Ca, and 13 kg Mg), while Ágata, Atlantic and Markies absorbed smaller average amounts (92, 14, 178, 35, and 9 kg ha⁻¹, respectively). The stage of highest macronutrient demand by the cultivars was during initial tuber bulking (42 to 70 days after planting). Macronutrient exportation was not directly related to tuber yield, since it was not the most productive cultivar (Mondial) that exported the highest macronutrient amounts. Asterix exported higher N, P, K and Mg amounts (88, 15, 220 and 8 kg ha⁻¹, respectively), while the lowest quantities were exported by cultivar Atlantic (48 kg ha⁻¹ N, 10 kg ha⁻¹ P, 143 kg ha⁻¹ K, and 5 kg ha⁻¹ Mg). The wide variation in absorption among cultivars, especially of K and N, indicate the need of a differentiated fertilization management.

Index terms: *Solanum tuberosum*, mineral nutrition, absorption curves, absorption rates, nutrient accumulation.

INTRODUÇÃO

A eficiência produtiva da cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) garante elevado aproveitamento de áreas destinadas à produção de alimentos, característica importante num cenário mundial de constante crescimento populacional (Pulz et al., 2008).

Essa cultura é altamente responsiva à adição de nutrientes no solo, especialmente N, P e K (Cardoso et al., 2007). Assim, no cultivo da batata em sistemas intensivos, normalmente são utilizadas altas doses de fertilizantes inorgânicos com N, P e K (Cogo et al., 2006; Silva et al., 2007). Além disso, por se tratar de um empreendimento de custo elevado, muitos produtores não acatam as recomendações técnicas de adubação para a cultura e adubam muitas vezes sem sequer realizar a análise química do solo (Nava et al., 2007). Em muitos casos a adubação adotada pelos produtores de batata fornece quantidades de nutrientes bastante superiores às preconizadas pela recomendação oficial (Feltran, 2005), chegando a 80 kg ha⁻¹ de N, 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 190 kg ha⁻¹ de

K₂O acima do recomendado para a cultura (Sangoi & Kruse, 1994), sendo comum verificar, após a colheita da batata, a presença visível de fertilizantes no solo (Feltran, 2005). Isso impacta substancialmente nos custos de produção da cultura da batata (Silva et al., 2000) e reduz a qualidade dos tubérculos, além do fato de que os nutrientes não absorvidos pelas plantas podem representar risco de poluição ambiental (Andriolo et al., 2006).

Em solos com baixos teores de Ca e Mg a cultura da batata apresenta incrementos de produtividade com a aplicação de calcário (Fontes, 1997a), pois o Ca é o terceiro elemento mais absorvido pela cultura, sendo fundamental para o processo de tuberização e crescimento dos tubérculos (Filgueira, 1993). O Mg e o S são os macronutrientes absorvidos em menor quantidade pela cultura, com valores de extração semelhantes (Paula et al., 1986) e, ou, inferiores aos de P (Yorinori, 2003), porém é necessário que eles sejam disponibilizados em níveis adequados para que se obtenham elevadas produtividades na cultura da batata. Contudo, pouca atenção tem sido dada a esses

elementos em áreas de cultivo de batata, uma vez que a calagem não é utilizada pela maioria dos bataticultores, além de ser comum o uso de altas doses de adubos com fórmulas N-P-K concentradas e pobres em S.

Para o Estado de São Paulo é recomendado fazer calagem para elevar a saturação por bases a 60 % e procurar elevar o teor de Mg no solo ao mínimo de $8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já a adubação nitrogenada deve ser feita com dose que varia de 40 a 80 kg ha^{-1} no plantio e a mesma dose em cobertura, antes da amontoa. Quanto ao P, a recomendação é de aplicar 300, 200 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 quando o teor de P_{resina} no solo estiver entre zero e 25, 25 e 60 e maior que 60 mg dm^{-3} , respectivamente. Na adubação potássica é recomendado aplicar 250, 150 e 100 kg ha^{-1} de K_2O quando o teor no solo for de zero a 1,5, de 1,6 a 3,0 e maior que $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. Não há recomendação de adubação sulfatada para a cultura (Lorenzi et al., 1997).

Diversos fatores interferem na produtividade da batateira, porém a nutrição mineral é um dos que mais contribuem para obtenção de elevada produtividade e qualidade dos tubérculos, de forma que os nutrientes devem ser aplicados de acordo com as exigências da cultura e nas quantidades e épocas adequadas (Coraspe-León et al., 2009). Segundo Sancho (1999) e Bertsch (2003), a extração de nutrientes depende de fatores externos, que estão relacionados com o ambiente de cultivo, mas também de fatores internos, como o potencial genético e a idade da planta. Portanto, para o manejo correto da adubação em cada cultivar, são necessários estudos sobre a absorção e exportação de nutrientes para auxiliar nos programas de adubação, com a finalidade de otimizar a produção de tubérculos e reduzir o uso excessivo de fertilizantes (Cabalceta et al., 2005; Zobiole et al., 2010).

Embora existam trabalhos sobre absorção de nutrientes na cultura da batata em campo (Macedo et al., 1977; Paula et al., 1986; Yorinori, 2003), nos últimos anos houve grande mudança em relação às

principais cultivares, ocorrendo aumento do potencial produtivo, e, com a maior produção de massa vegetal (Faostat, 2011), as necessidades nutricionais dessa cultura também foram alteradas. As cultivares Ágata, Asterix e Atlantic estão entre as mais plantadas no Brasil (Feltran & Lemos, 2005; Silva et al., 2009); cultivares como Markies e Mondial também têm se destacado em algumas regiões, pela produtividade e qualidade dos tubérculos (Fernandes et al., 2010). Essas cinco cultivares representam cerca de 78 % de toda a área plantada com batata no Brasil (Abba, 2010). Contudo, pouco se conhece sobre a extração e exportação de macronutrientes por essas cultivares de batata, nas condições brasileiras.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a extração e a exportação de macronutrientes pelas cultivares de batata Ágata, Asterix, Atlantic, Markies e Mondial.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante a safra de inverno de 2008, em área produtora de batata no município de Itaipava (SP) ($23^{\circ}28' \text{ S}$, $49^{\circ}08' \text{ W}$ e 670 m de altitude). O clima da região é Cfa, segundo a classificação de Köppen. Os valores de temperaturas máximas e mínimas, precipitação pluvial e irrigação durante o período de condução do experimento estão apresentados na figura 1. As características químicas da camada arável (0–0,20 m) do Latossolo Vermelho, textura argilosa (Embrapa, 2006), foram determinadas antes da instalação do experimento, segundo métodos propostos por Raij et al. (2001), cujos resultados foram: matéria orgânica, $31,8 \text{ g dm}^{-3}$; pH (0,01 mol L^{-1} CaCl_2), 4,4; P (resina), 71 mg dm^{-3} ; K, Ca^{2+} , Mg^{2+} , H + Al e CTC, 5,6, 28,6, 6,1, 74,7 e $115,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente; saturação por bases, 35 %; e teores de S-SO_4^{2-} , B, Cu, Fe, Mn e Zn de 23,1, 2,1, 1,7, 32,2, 17,1 e $3,1 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente.

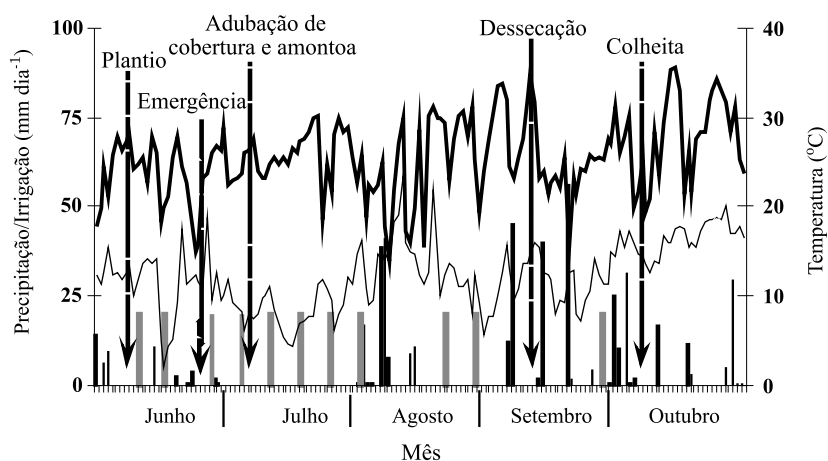


Figura 1. Precipitação pluvial (■), irrigação (□), temperaturas máximas (—) e mínimas (—) registradas na área do experimento, durante o período de junho a outubro de 2008.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por cinco cultivares de batata (Ágata, Asterix, Atlantic, Markies e Mondial), e as subparcelas, por épocas de coletas de plantas (avaliações), que foram realizadas no momento do plantio (tubérculos-semente) e aos 20, 27, 34, 41, 48, 55, 62, 69, 76, 83, 90 e 97 dias após o plantio (DAP). Cada parcela foi constituída por 10 fileiras de 10 m de comprimento.

O preparo do solo foi realizado com: dessecação, roçagem, duas gradagens pesadas, esscarificação, aração e uma terceira gradagem leve às vésperas do plantio. A adubação de plantio foi a utilizada pelo produtor, a qual constou da aplicação de 2.100 kg ha⁻¹ da fórmula N-P-K 04-30-10, no sulco de plantio, com auxílio de um sulcador-adubador mecanizado. Não foi realizada adubação com S e micronutrientes, pois os teores no solo já se encontravam altos, segundo Raji et al. (1997). Após a adubação, os sulcos foram abertos mecanicamente e o plantio foi realizado manualmente, no dia 8/6/2008, no espaçamento de 0,80 m entre fileiras e 0,35 m entre plantas. Utilizaram-se tubérculos-semente certificados, tipo III, com massa média de 41, 48, 36, 28 e 31 g, para as cultivares Ágata, Asterix, Atlantic, Markies e Mondial, respectivamente.

Foram aplicados 227 kg ha⁻¹ da fórmula N-P-K 20-05-20 em cobertura, aos 29 DAP, antecedendo a amontoa. A irrigação e o manejo fitossanitário da cultura seguiram as recomendações técnicas para a cultura e os critérios adotados pelo produtor.

Em cada época de coleta, ou seja, nos dias 28/6, 5/7, 12/7, 19/7, 26/7, 2/8, 9/8, 16/8, 23/8, 30/8, 6/9 e 13/9/2008, retiraram-se de cada parcela quatro plantas inteiras que tinham de todos os lados plantas competitivas e que se apresentavam aparentemente bem nutridas e com ausência de sintomas de viroses.

Em cada data de coleta foi definido o estágio de desenvolvimento das plantas de cada cultivar, sendo considerado como: estágio I - crescimento vegetativo, da emergência até 34 DAP; estágio II - tuberização, de 35 a 41 DAP; estágio III - enchimento de tubérculos, de 42 a 90 DAP; e estágio IV - maturação, de 91 a 122 DAP.

As plantas amostradas foram separadas em tubérculos-semente, raízes, hastes, folhas, tubérculos, lavadas e secadas em estufa de circulação forçada de ar à 65 °C por 96 h e pesadas. Os dados de matéria seca (MS) associados às épocas de coleta de plantas foram usados para obtenção das curvas de acúmulo de MS (Fernandes et al., 2010).

As amostras foram moídas em moinho tipo Wiley e determinaram-se os teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), segundo método descrito por Malavolta et al. (1997). Com os dados de teores de nutrientes e quantidades de matéria seca (MS) acumuladas (Fernandes et al., 2010), calcularam-se as quantidades de nutrientes acumuladas em cada parte

da planta e na planta inteira. As taxas de acúmulo dos macronutrientes na planta inteira e nos tubérculos foram obtidas por meio da derivada primeira da equação ajustada da quantidade acumulada desses nutrientes na planta e nos tubérculos, respectivamente. As taxas diárias máximas de acúmulo dos macronutrientes na planta inteira e nos tubérculos foram consideradas como sendo o valor médio entre 90 e 100 % do valor máximo das taxas (Greef et al., 1999). O período até a taxa máxima de acúmulo foi definido como o número de dias do plantio até atingir 90 % do valor máximo das taxas de acúmulo (Greef et al., 1999). A duração da taxa máxima foi definida como o período no qual a taxa de acúmulo dos macronutrientes permaneceu superior a 90 % do valor máximo (Greef et al., 1999).

Aos 30 dias após a emergência (DAE) (48 DAP), foi realizada a amostragem de folhas (terceira folha a partir do tufo apical) em cada unidade experimental, de acordo com Lorenzi et al. (1997), para determinação da diagnose do estado nutricional das plantas. As análises do tecido vegetal foram realizadas segundo método proposto por Malavolta et al. (1997).

Aos 97 DAP, realizou-se a dessecação da parte aérea das plantas de todas as cultivares com o herbicida diquat (330 g ha⁻¹ do i.a.); aos 122 DAP, os tubérculos de 20 plantas das linhas centrais de cada parcela foram colhidos, para determinação da produtividade. A exportação de nutrientes foi obtida a partir dos dados de acúmulo de MS (Fernandes et al., 2010) e teor dos macronutrientes nos tubérculos colhidos aos 122 DAP.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. As médias das cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %. Os efeitos das épocas de coletas de plantas foram avaliados mediante análise de regressão, com auxílio do software SigmaPlot 10.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao estado nutricional das plantas (Quadro 1), verifica-se que houve diferença significativa entre a cultivar Markies e as cultivares Ágata, Asterix e Atlantic quanto ao teor de N, sendo o maior teor foliar observado na cultivar Markies (59 g kg⁻¹). Todas as cultivares estudadas apresentaram teor foliar de N superior à faixa considerada adequada por Lorenzi et al. (1997), que é de 40 a 50 g kg⁻¹ de N. No entanto, Jones Junior (1991) propôs como adequado, para o nutriente N, o intervalo de 45 a 60 g kg⁻¹, no qual todas as cultivares estudadas se enquadraram.

Quanto ao P, destacou-se com maior teor a cultivar Mondial (6,1 g kg⁻¹), enquanto a cultivar Atlantic (4,6 g kg⁻¹) apresentou o menor valor (Quadro 1). Apenas a cultivar Atlantic mostrou valor dentro da

Quadro 1. Teor de N, P, K, Ca, Mg e S na folha dos cultivares de batata

Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	S
Ágata	53b	5,3bc	82a	17,4ab	3,7ab	2,7a
Asterix	51b	5,1bc	71a	16,4ab	3,7ab	1,7b
Atlantic	52b	4,6c	68a	15,7ab	3,7ab	2,1ab
Markies	59a	5,5ab	65a	19,7a	4,6a	2,0b
Mondial	57ab	6,1a	73a	12,2b	3,5b	1,9b
CV (%)	4,7	5,9	11,2	19,8	12,0	14,4

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

faixa descrita como adequada por Jones Junior (1991) (2,9 a 5,0 g kg⁻¹) e Lorenzi et al. (1997) (2,5 a 5,0 g kg⁻¹); o teor foliar de P observado nas demais cultivares situou-se acima dessas faixas. A ocorrência de teor foliar de P superior ao do intervalo recomendado por esses autores se justifica pelo fato de o solo já conter teor considerado alto (Raij et al., 1997) e ter sido utilizada elevada dose de P₂O₅ na adubação de plantio.

Não foram observadas diferenças estatísticas entre as cultivares quanto ao teor de K na folha-diagnose (Quadro 1). O teor foliar de K apresentado pela cultivar Markies ficou dentro da faixa de teor (40 a 65 g kg⁻¹) considerada adequada por Lorenzi et al. (1997). Já nas demais cultivares o teor de K ficou acima dessa faixa, porém abaixo da faixa de 93 a 115 g kg⁻¹, considerada adequada por Jones Junior (1991), embora o solo apresentasse alto teor de K (5,6 mmol_c dm⁻³) segundo Raij et al. (1997).

A cultivar Markies apresentou teor de Ca e Mg na folha-diagnose superior ao da Mondial, porém sem diferir das demais cultivares (Quadro 1). Os teores foliares de Ca e Mg em todas as cultivares enquadraram-se no intervalo descrito como adequado por Lorenzi et al. (1997), que é de 10 a 20 g kg⁻¹ para o Ca e de 3 a 5 g kg⁻¹ para o Mg. Entretanto, o teor foliar de Ca ficou acima da faixa considerada adequada (7,6 a 10 g kg⁻¹) por Jones Junior (1991), ao passo que o teor de Mg foi inferior ao intervalo descrito por esse autor, que é de 10 a 12 g kg⁻¹.

O maior teor foliar de S foi observado nas cultivares Ágata (2,7 g kg⁻¹) e Atlantic (2,1 g kg⁻¹) (Quadro 1). Embora o teor de S-SO₄²⁻ no solo se encontrasse alto (> 10 mg dm⁻³), segundo Raij et al. (1997), apenas a cultivar Ágata apresentou teor foliar de S dentro do intervalo considerado adequado (2,5 a 5,0 g kg⁻¹) por Lorenzi et al. (1997), enquanto nas demais cultivares o teor foliar foi inferior ao intervalo relatado por esse autor. Isso provavelmente ocorreu devido à alta disponibilidade de fosfato no solo, que, por também ser um ânion, pode ter interferido na absorção do sulfato. Esses resultados indicam que as plantas foram cultivadas sob alta disponibilidade de macronutrientes no solo, não havendo limitação à adequada absorção destes por baixa disponibilidade no solo.

No plantio, o maior conteúdo de macronutrientes foi observado nos tubérculos-semente da cultivar Asterix, enquanto o menor conteúdo ocorreu na cultivar Mondial (Figuras 2a, 3a, 4a, 5a, 6a e 7a). No decorrer do ciclo, as quantidades de N, P, K, Mg e S acumuladas nos tubérculos-semente diminuíram, devido à redução da MS (Fernandes et al., 2010) e remobilização desses elementos para as regiões de crescimento. Apesar da redução da MS dos tubérculos-semente (Fernandes et al., 2010), a quantidade de Ca nesse período permaneceu constante, o que se deve à insolubilidade dos compostos de Ca da planta e sua localização na célula como integrante dos pectatos de Ca na lamela média da parede celular – fato esse que contribui para a baixa redistribuição do Ca nos tecidos (Malavolta, 2006).

Nas raízes, as cultivares Asterix e Atlantic apresentaram maior acúmulo de N, P e K (Figuras 2b, 3b e 4b). A cultivar Atlantic apresentou o maior acúmulo radicular de Ca, e o maior acúmulo radicular de Mg e S foi observado na cultivar Asterix (Figuras 5b, 6b e 7b). Na cultivar Ágata, foi observado o menor acúmulo radicular de macronutrientes ao longo do ciclo. Contudo, no início do ciclo, a quantidade de macronutrientes acumulada nas raízes da cultivar Mondial foi inferior à observada na cultivar Ágata, o que é resultado da menor reserva nos tubérculos-semente (Figuras 2a, 3a, 4a, 5a, 6a e 7a), que refletiu em crescimento inicial lento do sistema radicular, ou seja, menor MS de raízes, como relatado por Fernandes et al. (2010). Segundo Cabalceta et al. (2005), o N é componente fundamental de todas as moléculas orgânicas, como aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, hormônios e outros compostos que estão envolvidos nos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, a menor massa radicular observada na cultivar Mondial no início do ciclo (Fernandes et al., 2010) pode estar relacionada com o menor conteúdo de N nos tubérculos-semente (Figura 2a). Na fase final do ciclo, houve redução na quantidade de macronutrientes acumulada nas raízes de todas as cultivares estudadas, em razão da morte de raízes, ou seja, da redução da MS (Fernandes et al., 2010). Gargantini et al. (1963), Yorinori (2003) e Cabalceta et al. (2005) também verificaram redução da MS radicular e do acúmulo de macronutrientes nas raízes da batateira na fase final do ciclo da cultura.

A quantidade de macronutrientes acumulada nas hastes foi pequena e não diferiu entre as cultivares até o início da fase de tuberização (35 DAP) (Figuras 2c, 3c, 4c, 5c, 6c e 7c). Nas hastes, os maiores acúmulos de N, P, K e Ca foram observados nas cultivares Mondial e Asterix entre 66 e 84 DAP, com as cultivares Ágata, Atlantic e Markies acumulando quantidade semelhante desses elementos durante todo o ciclo. A cultivar Mondial apresentou o maior acúmulo de S nas hastes e, juntamente com as cultivares Asterix e Atlantic, acumularam também as maiores quantidades de Mg neste órgão. O menor acúmulo de Mg ocorreu nas hastes das cultivares

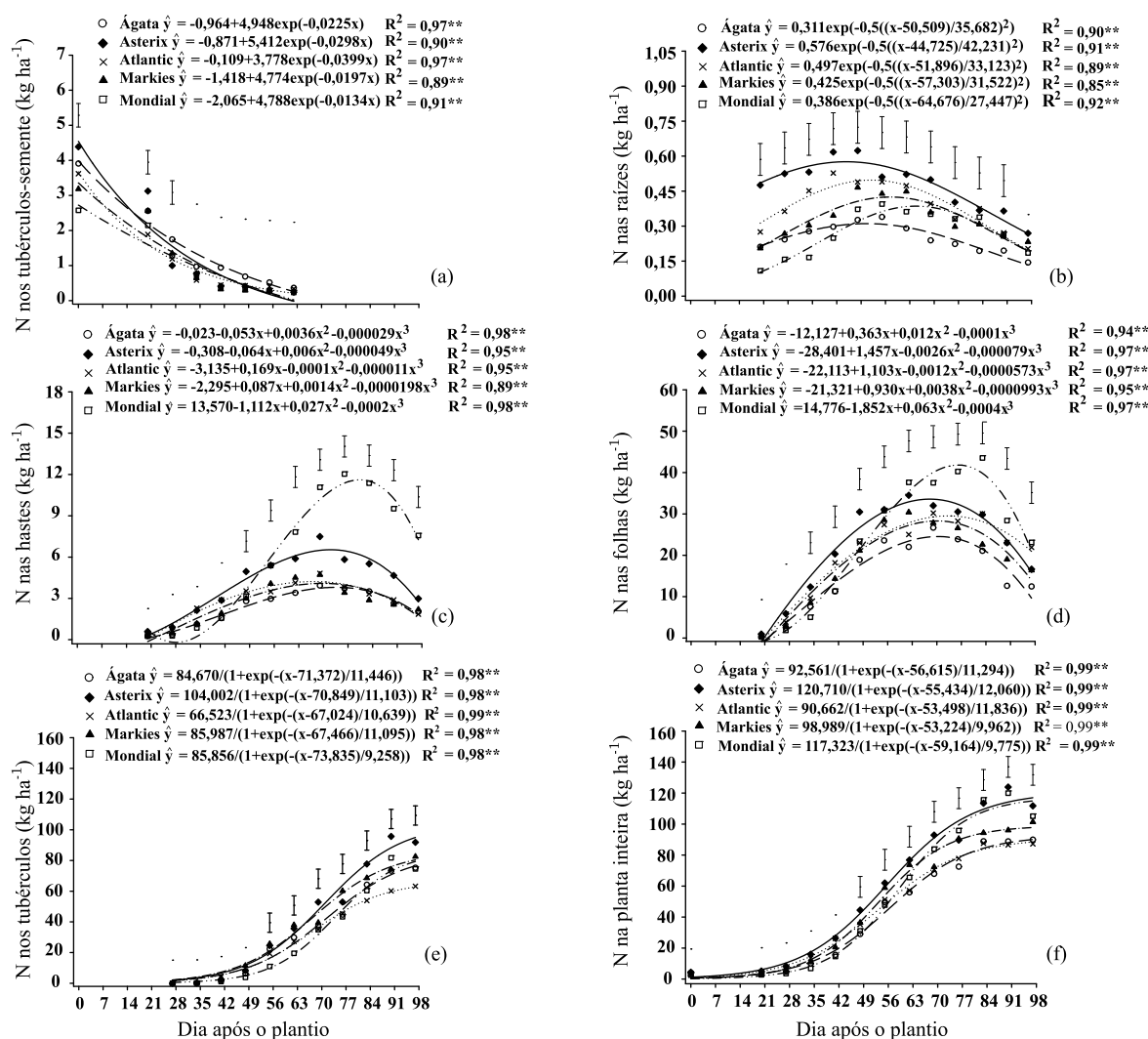


Figura 2. Quantidade de N nos tubérculos-semente (a), raízes (b), hastes (c), folhas (d), tubérculos (e) e na planta inteira (f) de cultivares de batata ao longo do ciclo. ** significativo a 1% pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5%.

Ágata e Markies, e o menor acúmulo de S foi observado nas hastes das cultivares Markies e Atlantic. Na fase final do ciclo, houve diminuição na quantidade de macronutrientes acumulada nas hastes de todas as cultivares. Contudo, a redução na quantidade de N, P, K e S foi mais intensa que a observada para o Ca e Mg, provavelmente, devido à maior remobilização desses nutrientes para os tubérculos (Figuras 2c, 3c, 4c, 5c, 6c e 7c). De acordo com Cabalceta et al. (2005), a quantidade de N, P e K absorvida pela batateira nas fases iniciais do ciclo é acumulada, principalmente, na parte aérea; na fase final do ciclo, grande parte desses nutrientes da parte aérea é remobilizada para os tubérculos. Esses autores relatam ainda que na fase final do ciclo o Mg e o S acumulados na parte aérea são direcionados aos tubérculos por translocação; uma pequena parte do Ca transloca-se, porém grande parte dele permanece na parte aérea da planta.

As folhas de todas as cultivares acumularam Ca até próximo ao final do ciclo, enquanto o maior acúmulo

dos demais macronutrientes ocorreu no período de 65 a 84 DAP, com redução nos períodos seguintes (Figuras 2d, 3d, 4d, 5d, 6d e 7d). O maior acúmulo foliar de N, P, K, Mg e S foi observado na cultivar Mondial, e o menor, na cultivar Ágata. As cultivares Asterix, Atlantic e Markies apresentaram acúmulo intermediário desses elementos. Já o maior acúmulo foliar de Ca ocorreu nas cultivares Mondial e Asterix, ao passo que o menor acúmulo desse nutriente foi obtido nas cultivares Atlantic e Ágata. A queda de folhas (Fernandes et al., 2010) e a translocação para os tubérculos proporcionaram diminuição na quantidade de N, P, K, Mg e S acumulada nas folhas de todas as cultivares na fase final do ciclo (Figuras 2d, 3d, 4d, 6d e 7d). Já a redução na quantidade de Ca acumulada nas folhas na fase final do ciclo ocorreu, principalmente, devido à senescência e queda de folhas (Fernandes et al., 2010), uma vez que o Ca apresenta baixa capacidade de redistribuição nos tecidos (Figura 5d), e o teor foliar desse nutriente aumentou

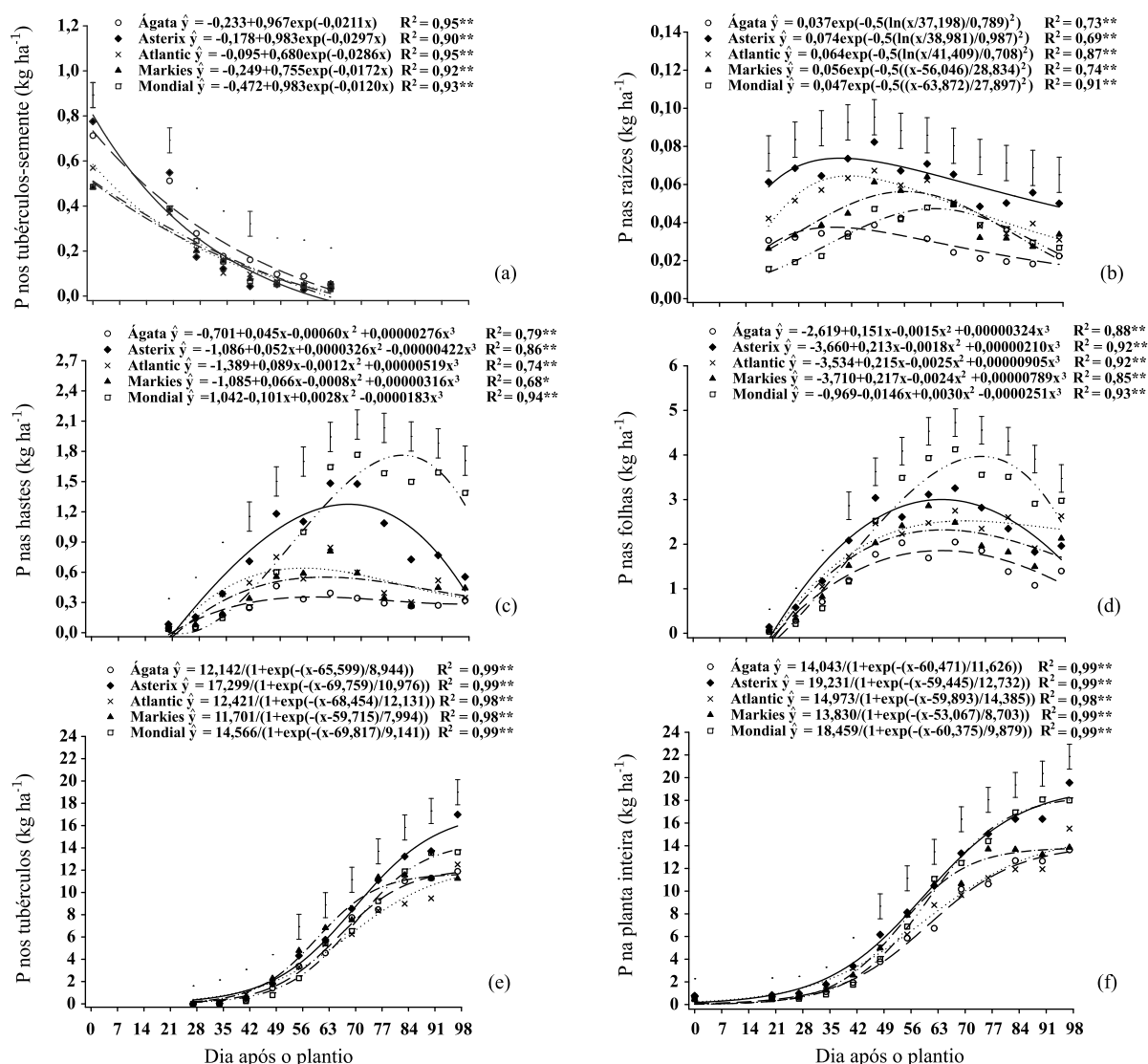


Figura 3. Quantidade de P nos tubérculos-semente (a), raízes (b), hastes (c), folhas (d), tubérculos (e) e na planta inteira (f) de cultivares de batata ao longo do ciclo. ** significativo a 1 % pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5 %.

com o decorrer do ciclo (dados não apresentados). Cabalceta et al. (2005) também observaram redução na quantidade de N, P, K, Mg e S acumulada na parte aérea da batateira no final do ciclo e atribuíram esse comportamento à perda de folhas e translocação dos nutrientes para os tubérculos. No entanto, estes autores também observaram acúmulo preferencial de Ca na parte aérea da batateira.

Desde o início da tuberização, o acúmulo de N, P, Ca, Mg e S nos tubérculos aumentou continuamente até o final do ciclo, porém a quantidade de K acumulada nos tubérculos aumentou até por volta dos 77 DAP, mantendo-se constante até o final do ciclo (Figuras 2e, 3e, 4e, 5e, 6e e 7e). Yorinori (2003) e Coraspe-León et al. (2009) observaram acúmulo crescente e constante de macronutrientes nos tubérculos da batateira, cultivar Atlantic, ao longo do ciclo. A quantidade de

N, P, K, Ca e Mg acumulada nos tubérculos diferiu significativamente entre as cultivares, enquanto a quantidade acumulada de S foi semelhante praticamente durante todo o ciclo (Figuras 2e, 3e, 4e, 5e, 6e e 7e). No início da fase de enchimento de tubérculos, ou seja, até os 62 DAP, a cultivar Mondial apresentou o menor acúmulo de macronutrientes, devido ao menor acúmulo de MS (Fernandes et al., 2010), pois o acúmulo de nutrientes é dependente do teor de nutrientes nos tecidos e da produção de MS (Ramos et al., 2009).

Na fase final do ciclo, a cultivar Asterix apresentou o maior acúmulo de N e Mg nos tubérculos, o que é resultado do maior acúmulo de MS (Fernandes et al., 2010) e do elevado valor e período de duração das taxas de acúmulo desses nutrientes nos tubérculos dessa cultivar (Figuras 2e e 6e e Quadro 2). Já o maior

acúmulo de P e Ca ocorreu nos tubérculos das cultivares Asterix e Mondial, as quais apresentaram elevadas taxas e período de duração das taxas de acúmulo desses nutrientes (Figuras 3e e 5e e Quadro 2). O acúmulo de K e S nos tubérculos de todas as cultivares foi muito semelhante na fase final do ciclo, demonstrando que as pequenas variações nas taxas de acúmulo e no período de duração destas não foram suficientes para causar grande variação na quantidade acumulada de K e S nos tubérculos (Figuras 4e e 7e e Quadro 2).

Os tubérculos da cultivar Atlantic apresentaram o menor acúmulo de N e Mg e, juntamente, com as cultivares Ágata e Markies mostraram o menor acúmulo de P e Ca, o que em parte se deve ao menor

valor e período de duração das taxas de acúmulo desses nutrientes nos tubérculos (Figuras 2e, 3e, 5e e 6e e Quadro 2).

Mesmo tendo ocorrido acúmulo de nutrientes nos tubérculos praticamente durante todo o ciclo, verificou-se que as épocas com maiores taxas de acumulação de N, P, K, Ca, Mg e S nos tubérculos ocorreram, respectivamente, entre 59 e 81 DAP, 55 e 78 DAP, 53 e 71 DAP, 73 e 97 DAP, 59 e 77 DAP e 61 e 78 DAP (Quadro 2). No final do ciclo, a quantidade de macronutrientes acumulada nos tubérculos representou entre 68 % (Mondial) e 84 % (Ágata) do N, 78 % (Mondial) e 89 % (Asterix) do P, 50 % (Mondial) e 61 % (Ágata) do K, 16 % (Asterix) e 12 % (Ágata) do Ca, 75 % (Ágata) e 42 % (Mondial) do Mg e

Quadro 2. Quantidade máxima acumulada, taxa diária máxima de acúmulo, duração da taxa diária máxima de acúmulo e período até a taxa diária máxima de acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nos tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata

Cultivar	Quantidade máxima acumulada		Taxa diária máxima de acúmulo		Duração da taxa diária máxima de acúmulo		Período até a taxa diária máxima de acúmulo	
	Tubérculo	Planta	Tubérculo	Planta	Tubérculo	Planta	Tubérculo	Planta
	— kg ha ⁻¹ —		— kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ —		— dia —		— DAP —	
	Nitrogênio							
Ágata	76	90	1,7	1,9	19	18	62	48
Asterix	95	117	2,2	2,4	18	19	62	46
Atlantic	63	88	1,5	1,8	16	18	59	45
Markies	80	98	1,8	2,4	17	15	59	46
Mondial	79	115	2,2	2,9	15	13	66	53
	Fósforo							
Ágata	12	14	0,3	0,3	13	16	59	53
Asterix	16	18	0,4	0,4	16	17	62	51
Atlantic	11	14	0,2	0,2	17	22	60	49
Markies	12	14	0,4	0,4	10	11	55	47
Mondial	14	18	0,4	0,4	12	13	64	54
	Potássio							
Ágata	101	166	3,7	5,0	9	11	55	45
Asterix	130	230	4,6	6,1	9	12	55	42
Atlantic	95	184	3,5	5,0	9	11	53	41
Markies	115	185	3,5	6,0	11	10	54	44
Mondial	128	256	4,5	7,8	9	10	62	51
	Cálcio							
Ágata	4	34	0,10	0,83	14	15	75	47
Asterix	8	50	0,21	0,98	13	22	73	46
Atlantic	4	33	0,10	0,72	13	17	75	44
Markies	5	38	0,13	1,26	20	11	77	45
Mondial	7	51	0,26	1,12	9	22	75	51
	Magnésio							
Ágata	6	8	0,16	0,22	13	11	60	47
Asterix	8	12	0,20	0,27	12	16	64	44
Atlantic	4	9	0,12	0,23	10	15	59	42
Markies	6	10	0,17	0,32	13	10	60	45
Mondial	6	14	0,19	0,39	11	13	66	50
	Enxofre							
Ágata	5	7	0,16	0,15	12	17	64	54
Asterix	6	8	0,17	0,15	13	22	65	50
Atlantic	5	8	0,14	0,15	16	20	62	55
Markies	5	7	0,17	0,16	10	15	61	50
Mondial	5	8	0,22	0,22	8	16	69	55

Valores obtidos nas equações ajustadas das figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7. DAP: dias após o plantio.

75 % (Asterix) e 63 % (Atlantic e Mondial) do S absorvido pelas plantas (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7). Nota-se que, após a tuberculização, os tubérculos tornaram-se os drenos preferenciais de N, P, K e S, pois as proporções acumuladas neste órgão foram maiores. Além disso, verifica-se que o P e o S são nutrientes intensamente translocados nos tubérculos da batateira, como pode ser observado pelas taxas similares de acúmulo de P e S nos tubérculos e na planta inteira (Quadro 2), ou seja, durante parte do período de duração das taxas máximas de acúmulo desses nutrientes, são direcionadas para os tubérculos quantidades semelhantes às absorvidas (Quadro 2). Segundo Marshall & Wardlaw (1973), a translocação do P é determinado pela translocação e pela demanda de carboidratos dentro da planta. Para Larsson et al. (1991), apesar de o S ser considerado pouco móvel na planta, quando na forma de sulfato, é translocado

tanto no xilema quanto no floema, sendo prontamente trocável entre essas vias.

O acúmulo de Ca ocorreu em maiores proporções nas folhas, ou seja, entre 68 e 74 % do total acumulado nas plantas (Figura 5d e f). Yorinori (2003), durante a safra das águas e das secas, também observou menor acúmulo de Ca nos tubérculos em relação às folhas, com a quantidade acumulada nos tubérculos variando entre 13 e 12 % do total. Paula et al. (1986) relataram que apenas 5 % da quantidade total de Ca absorvida pelas plantas estava nos tubérculos, independentemente da adubação e da cultivar. Esse baixo acúmulo de Ca nos tubérculos ocorre porque órgãos de reserva, como frutos e tubérculos, necessitam de concentrações mais baixas de Ca para o ótimo crescimento (Marschner, 1995), como pode ser verificado pelas baixas taxas de acúmulo desse elemento nos tubérculos, as quais foram, em média, 6,8 vezes menores que as taxas de

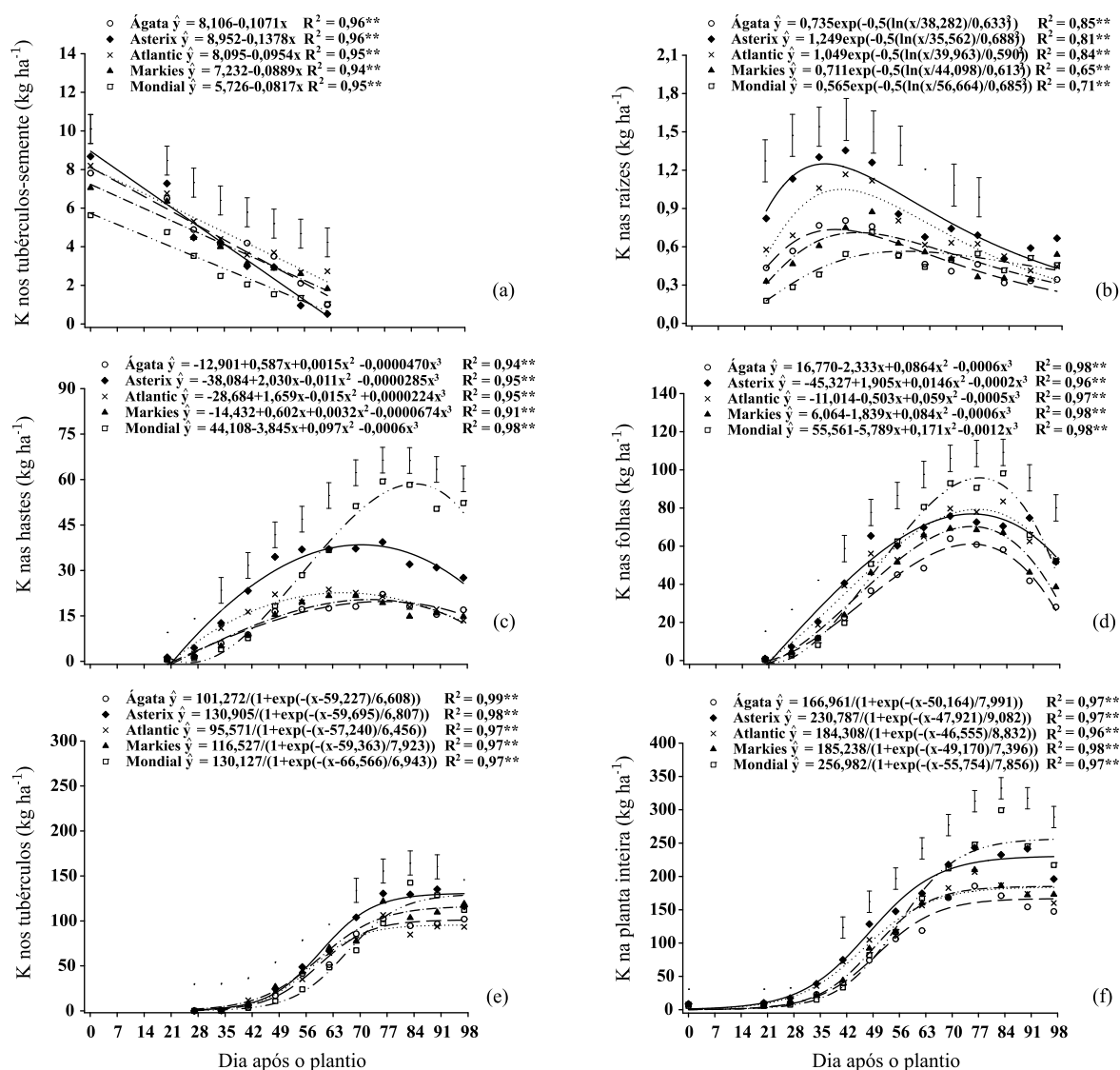


Figura 4. Quantidade de K nos tubérculos-semente (a), raízes (b), hastes (c), folhas (d), tubérculos (e) e na planta inteira (f) de cultivares de batata ao longo do ciclo. ** significativo a 1 % pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5 %.

acúmulo de Ca nas plantas (Quadro 2), demonstrando que a maior parte do Ca absorvido fica retida nas hastes e folhas e não é direcionada aos tubérculos. O Ca presente na seiva do xilema é translocado no sentido ascendente com o fluxo de transpiração (Marschner, 1995). Assim, quando há adequada disponibilidade desse nutriente na solução do solo, o conteúdo dele nas folhas aumenta. Como o tubérculo tem baixa transpiração, a quantidade de Ca que chega a esse órgão pelo xilema é baixa. Entretanto, isso não quer dizer que esse nutriente seja fornecido ao tubérculo, predominantemente, pelo floema (Marschner, 1995). Assim, a baixa quantidade de Ca no tubérculo deve-se ao fato de que as raízes da batateira contribuem muito pouco para o fornecimento de Ca a este órgão, pois a maior parte do Ca dos tubérculos é absorvida por pêlos absorventes encontrados nos estolões e nos próprios tubérculos (Kratzke & Palta, 1986). Isso demonstra

a importância de se ter boa disponibilidade desse elemento durante a fase de tuberação e enchimento de tubérculos – período esse em que ocorre a maior demanda pelo elemento (Figura 5, Quadro 2 e Quadro 3). Cabalceta et al. (2005) também observaram que a maior parte do Ca absorvido pela batateira permaneceu na parte aérea das plantas.

Considerando a planta inteira, observa-se que até o início da fase de enchimento de tubérculos a quantidade de macronutrientes acumulada pelas cultivares de batata foi pequena (Figuras 2f, 3f, 4f, 5f, 6f e 7f), pois até 41 DAP as cultivares tinham absorvido menos que 27, 24, 36, 27, 31 e 20 % da exigência total de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente (Quadro 3). A dinâmica de absorção de macronutrientes foi semelhante, com aumento na quantidade acumulada a partir dos 41 DAP até próximo ao final do ciclo, porém com maior absorção durante o

Quadro 3. Percentual de N, P, K, Ca, Mg e S acumulado em cada fase do desenvolvimento das plantas de cultivares de batata

Cultivar	Dias após o plantio/Fase da cultura				
	0-34 Crescimento vegetativo	35-41 Tuberação	42-62 Enchimento de tubérculo	63-90	91-97 Maturação
	%				
	Nitrogênio				
Ágata	13	8	43	34	2
Asterix	15	9	42	32	2
Atlantic	16	10	43	29	2
Markies	13	10	49	27	1
Mondial	7	7	45	39	2
	Fósforo				
Ágata	10	7	39	41	3
Asterix	13	7	38	39	3
Atlantic	16	7	35	38	4
Markies	10	10	54	25	1
Mondial	7	6	43	42	2
	Potássio				
Ágata	12	12	58	18	0
Asterix	18	14	51	16	1
Atlantic	20	15	51	14	0
Markies	12	13	61	14	0
Mondial	6	7	56	30	1
	Cálcio				
Ágata	11	9	49	30	1
Asterix	15	8	40	34	3
Atlantic	16	10	46	27	1
Markies	9	12	63	16	0
Mondial	7	6	40	44	3
	Magnésio				
Ágata	12	11	52	24	1
Asterix	17	10	45	26	2
Atlantic	18	12	49	20	1
Markies	11	13	61	15	0
Mondial	7	7	54	31	1
	Enxofre				
Ágata	8	6	38	45	3
Asterix	12	7	37	40	4
Atlantic	11	6	34	44	5
Markies	9	7	46	36	2
Mondial	4	4	41	48	3

Valores obtidos nas equações ajustadas das figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

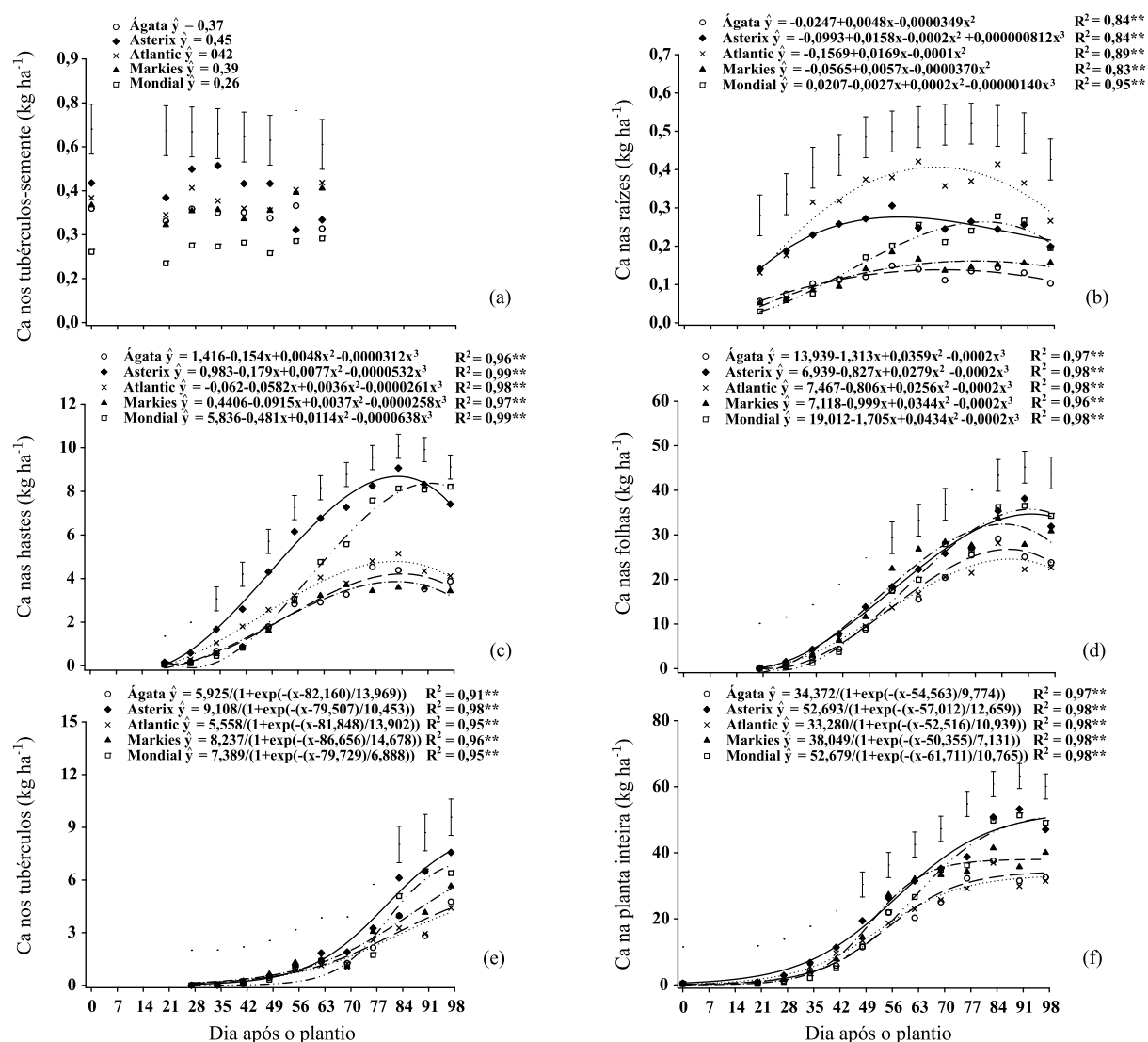


Figura 5. Quantidade de Ca nos tubérculos-semente (a), raízes (b), hastes (c), folhas (d), tubérculos (e) e na planta inteira (f) de cultivares de batata ao longo do ciclo. ** significativo a 1 % pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5 %.

enchimento dos tubérculos, ou seja, dos 42 aos 90 DAP (Figuras 2f, 3f, 4f, 5f, 6f e 7f e Quadro 3). A absorção de K também aumentou a partir dos 41 DAP, porém entre 42 e 62 DAP as plantas absorveram mais de 50 % da necessidade total, atingindo os valores máximos de absorção por volta 83 DAP (Figura 4f e Quadro 3).

A época de ocorrência das maiores taxas de absorção, ou seja, o período de maior demanda das plantas por N e P foi semelhante, ou seja, dos 45 aos 66 DAP e dos 47 a 69 DAP, respectivamente (Figuras 2f e 3f e Quadro 2). Já o K foi absorvido em maiores taxas entre 41 e 61 DAP (Figura 4f e Quadro 2). Os períodos de maior demanda das plantas por Ca e Mg ocorreram em épocas semelhantes, isto é, entre 44 e 73 DAP para o Ca e entre 42 e 63 DAP para o Mg (Figuras 5f e 6f e Quadro 2). Já a maior exigência por S, ou seja, as taxas máximas de absorção

iniciaram-se entre 50 e 55 DAP e permaneceram altas até aos 75 DAP (Figura 7f e Quadro 2).

Do ponto de vista de nutrição da planta, o ideal seria aplicar uma pequena parte do N e do K no momento do plantio e fazer a adubação de cobertura pouco antes dos períodos de máxima absorção, ou seja, por volta dos 40 DAP (Quadro 2), pois até os 41 DAP as plantas absorvem no máximo 26 % da exigência de N e 35 % da exigência de K (Quadro 3). Cardoso et al. (2007), trabalhando com a cultivar Vivaldi, observaram que o parcelamento da adubação nitrogenada e potássica em duas aplicações, ou seja, 50 % da dose no plantio e 50 % em cobertura no estágio de tuberculização aos 28 DAP proporcionaram maiores produtividades de tubérculos em relação à aplicação total do adubo no plantio e ao parcelamento em até quatro vezes, incluindo uma aplicação no plantio e três em cobertura. Assim, não é aconselhável a

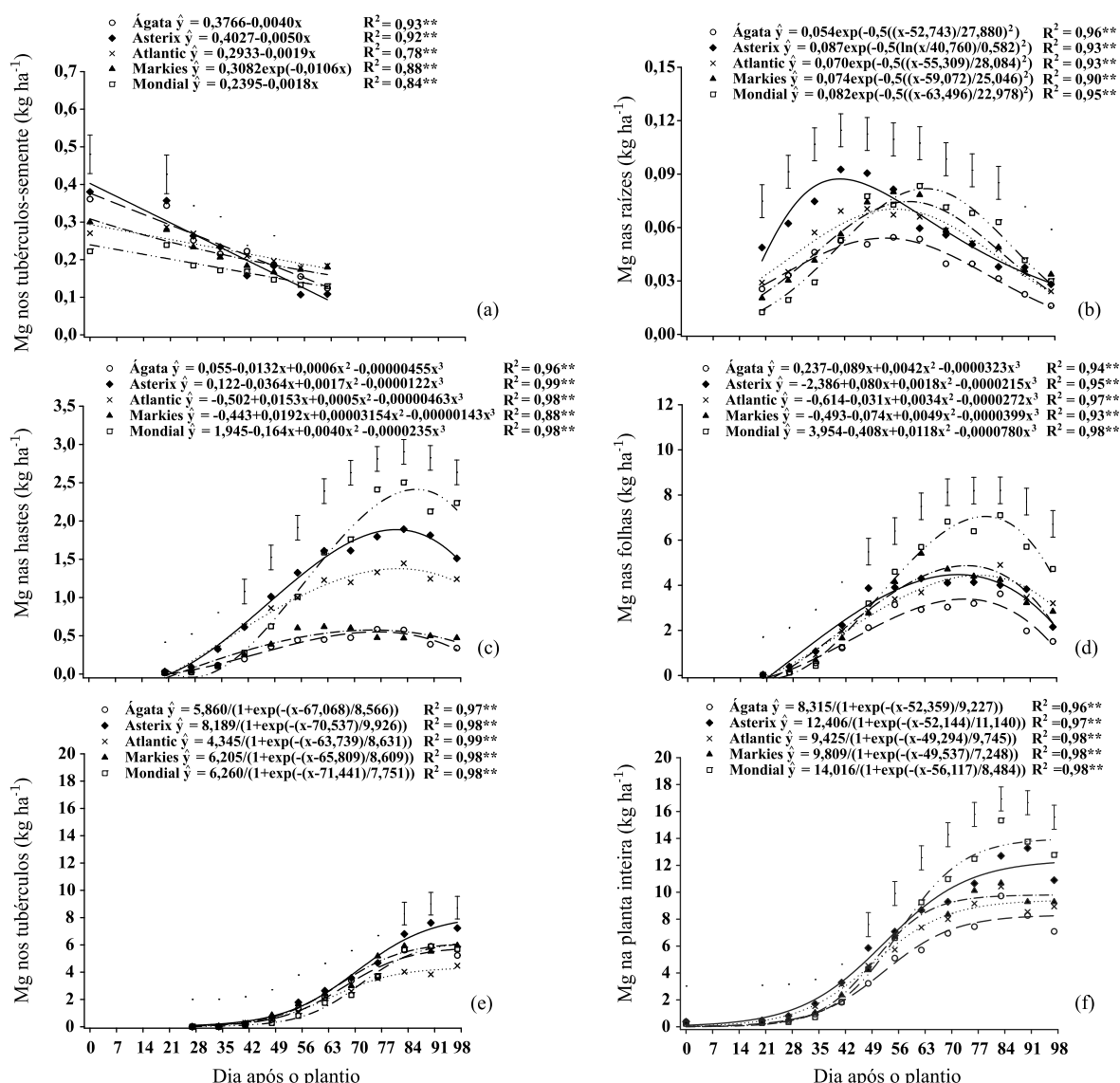


Figura 6. Quantidade de Mg nos tubérculos-semente (a), raízes (b), hastes (c), folhas (d), tubérculos (e) e na planta inteira (f) de cultivares de batata ao longo do ciclo. ** significativo a 1 % pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5 %.

ausência total de N no plantio, pois até os 41 DAP foram absorvidos entre 16 kg ha⁻¹ (Mondial) e 28 kg ha⁻¹ (Asterix) de N (Figura 2f e Quadros 2 e 3). No entanto, mesmo que a absorção de N seja maior a partir do início da formação e enchimento dos tubérculos (Figura 2f e Quadros 2 e 3), a aplicação de N muito depois da iniciação dos tubérculos resulta em perdas de produtividade, pois, quando aplicado tardiamente, grande parte do N absorvido não é translocada para os tubérculos, permanecendo na parte aérea das plantas, o que pode causar crescimento secundário dos tubérculos e redução da percentagem de tubérculos comercializáveis (Fontes, 1997a).

Quanto ao P, verifica-se que, apesar de ele ser absorvido praticamente durante todo o ciclo, a maior absorção ocorre após o início do crescimento dos tubérculos (47 a 69 DAP) (Figura 3f e Quadro 3);

todavia, devido ao fato de grande parte do P adicionado ao solo tornar-se imóvel ou não disponível (Holford, 1997), é compreensível aplicar todo o P no sulco de plantio, pois, além da sua baixa mobilidade no solo, seu suprimento no início do ciclo é muito importante para o crescimento inicial da planta, além de aumentar a produção de tubérculos em peso e número (Fontes, 1987). Embora as épocas de maior exigência das plantas por Ca e Mg iniciem-se a partir do período de formação dos tubérculos (entre 42 e 44 DAP) (Figuras 5f e 6f e Quadros 2 e 3), a forma mais barata de se fornecer Ca e Mg à cultura ainda é por meio da calagem, devendo-se dar preferência ao calcário dolomítico, que fornece Ca e Mg. Quanto ao enxofre, sua maior absorção é a partir dos 50 DAP (Figura 7f e Quadros 2 e 3), porém, se utilizadas fontes de fertilizantes N-P-K contendo superfosfato simples, ou

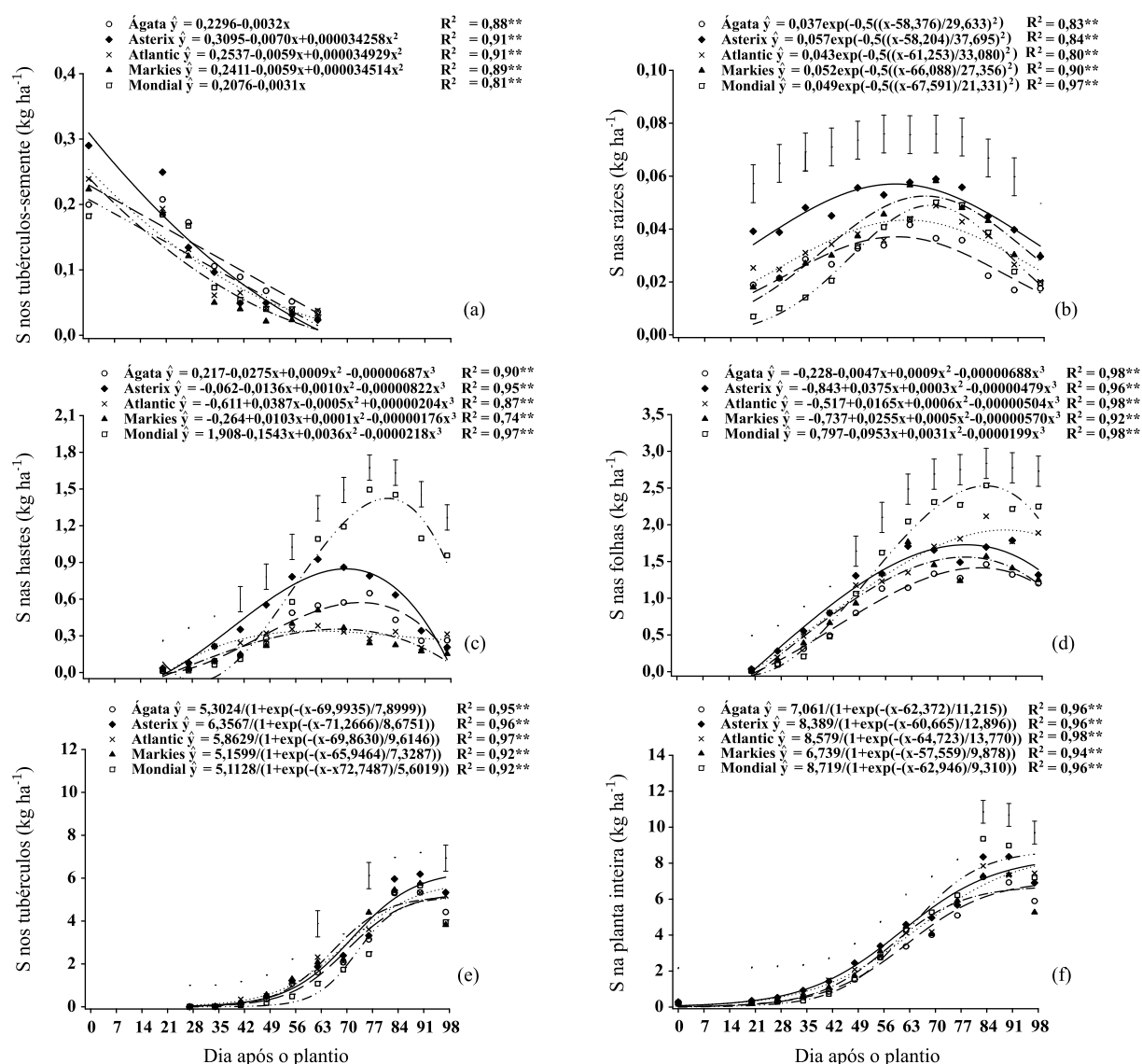


Figura 7. Quantidade total de S nos tubérculos-semente (a), raízes (b), hastes (c), folhas (d), tubérculos (e) e na planta inteira (f) de cultivares de batata ao longo do ciclo. ** significativo a 1 % pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5 %.

mesmo o fornecimento de sulfato de amônio em cobertura, isso certamente suprirá as necessidades da batateira, pois as quantidades extraídas pelas plantas ficaram entre 7 e 8 kg ha⁻¹ de S.

No final do ciclo, as cultivares Mondial e Asterix apresentaram o maior acúmulo de N, P, K, Ca e Mg, ao passo que Ágata, Atlantic e Markies mostraram acúmulo semelhante desses nutrientes, porém inferior ao observado nas cultivares Mondial e Asterix (Figuras 2f, 3f, 4f, 5f e 6f e Quadro 2). O maior acúmulo de S foi observado na cultivar Mondial, seguida de Asterix e Atlantic, com acúmulo intermediário, tendo Ágata e Markies o menor acúmulo (Figura 7f e Quadro 2). Macedo et al. (1977) também verificaram variação na quantidade de macronutrientes absorvida ao longo do ciclo pelas cultivares de batata Aracy, Itaiquara, Abaeté, Teberé, IAC-5555 e IAC-5603. Os

maiores valores e, ou, períodos de duração das taxas máximas de acúmulo de N, P, K, Ca e Mg observados nas cultivares Mondial e Asterix (Quadro 2), bem como a maior quantidade de MS acumulada (Fernandes et al., 2010), refletiram no maior acúmulo desses elementos em comparação com as demais cultivares (Figuras 2f, 3f, 4f, 5f e 6f). Embora a cultivar Markies tenha apresentado valores das taxas máximas de acúmulo de P, Ca e Mg semelhantes e, ou, superiores aos obtidos na cultivar Asterix, os períodos de duração das taxas foram curtos, o que refletiu em acúmulo inferior ao obtido na cultivar Asterix (Quadro 2 e Figuras 3f, 5f e 6f).

Com relação ao S, verifica-se que a cultivar Mondial, que apresentou a maior taxa de acúmulo desse elemento, conseqüentemente acumulou a maior quantidade de S durante o ciclo (Quadro 2 e Figura 7f).

Já nas demais cultivares, em que as taxas de acúmulo de S foram muito semelhantes, as diferenças na quantidade acumulada desse elemento foram atribuídas ao maior período de duração das taxas de acúmulo, observadas em Asterix e Atlantic (Quadro 2 e Figura 7f). Dessa forma, verifica-se que, mesmo com períodos de duração relativamente baixos, mas com taxas de acúmulo muito elevadas, há maior acúmulo de nutrientes. Entretanto, quando os valores das taxas são semelhantes, é necessário um longo período de duração das taxas de acúmulo para compensar os menores valores delas e promover incrementos expressivos na quantidade de nutrientes acumulada. Greef et al. (1999), estudando a cultura do milho, observaram que as cultivares (Magda, Kid e Pirat) que apresentaram períodos de duração das taxas máximas de absorção de N acima da média das demais cultivares não tiveram a capacidade de compensar os seus menores valores das taxas de absorção e, conseqüentemente, acumularam menor quantidade de N durante o ciclo.

Verificou-se que os macronutrientes absorvidos em maior quantidade obedeceram à seguinte ordem: $K > N > Ca > P > Mg > S$ (Quadro 2). Outros autores também observaram maior absorção de K, N e Ca pela batateira, porém a ordem de extração dos demais macronutrientes varia de acordo com os autores (Gargantini & Blanco, 1963; Macedo et al., 1977; Paula et al., 1986; Nunes et al., 2006; Alvarado et al., 2009). As cultivares que apresentaram maior acúmulo de nutrientes durante o ciclo chegaram a acumular 256 kg ha⁻¹ de K (Mondial), 117 kg ha⁻¹ de N (Asterix), 51 kg ha⁻¹ de Ca (Mondial), 18 kg ha⁻¹ de P (Asterix e Mondial), 14 kg ha⁻¹ de Mg (Mondial) e 8 kg ha⁻¹ de S (Asterix, Atlantic e Mondial). Já as cultivares que acumularam menor quantidade desses nutrientes absorveram em torno de 166 kg ha⁻¹ de K (Ágata), 88 kg ha⁻¹ de N (Atlantic), 33 kg ha⁻¹ de Ca (Atlantic), 14 kg ha⁻¹ de P (Ágata, Atlantic e Markies), 8 kg ha⁻¹ de Mg (Ágata) e 7 kg ha⁻¹ de S (Ágata e Markies) (Figuras 2f, 3f, 4f, 5f, 6f e 7f e Quadro 2). Isso equivale a uma diferença por hectare de 90 kg de K, 29 kg de N, 18 kg de Ca, 4 kg de P, 6 kg de Mg e 1 kg de S, demonstrando que há diferenças entre as cultivares com relação à absorção desses nutrientes, sugerindo que é possível adotar um plano de manejo de adubação específico para cada cultivar, principalmente, com relação à adubação nitrogenada e potássica, bem como quanto à calagem, pensando no fornecimento de Ca e Mg. Cogo et al. (2006) estimaram a quantidade de N e K extraída pela cultivar Asterix, por meio de uma relação simples de proporcionalidade entre a curva máxima de diluição do K e a curva crítica de diluição do N, e obtiveram, para uma produtividade de 40 t ha⁻¹, valores de extração de 128 kg ha⁻¹ de N e 256 kg ha⁻¹ de K, ou seja, bem próximos dos 117 kg ha⁻¹ de N e 230 kg ha⁻¹ de K obtidos para a cultivar Asterix no presente estudo.

Considerando a adubação utilizada neste estudo, verifica-se que a quantidade de N aplicada (129 kg ha⁻¹)

foi pouco maior que a extração máxima apresentada pelas cultivares, que chegou até 117 kg ha⁻¹ de N (Figura 2f e Quadro 2). No caso do P, o teor inicial no solo era alto (71 mg dm⁻³ de P_{resina} no solo), e as cultivares que mais extraíram esse elemento foram Asterix e Mondial, com absorção de 18 kg ha⁻¹. Assim, sem considerar o processo de adsorção desse elemento no solo e a quantidade de P já presente no solo antes da adubação de plantio, constata-se que, em média, a absorção de P foi 16 vezes menor que a quantidade aplicada, ou seja, as cultivares que mais absorveram P extraíram apenas 6,4 % da quantidade aplicada. Esses resultados demonstram que a extração de P pela cultura da batata é pequena mesmo em condições de alta disponibilidade do nutriente. Estudo realizado por Pursglove & Sanders (1981) demonstrou que apenas 4 % da dose de P aplicada foi absorvida pela cultura da batata. Já Yorinori (2003), trabalhando em solo com teor de P_{resina} de 103 mg dm⁻³ e com a aplicação de 281 kg ha⁻¹ de P, observou absorção de 15,2 kg ha⁻¹ de P, ou seja, por volta de 5,4 % da quantidade de P aplicada via adubação. Para um solo com teor de P_{resina} alto (> 60 mg dm⁻³), a recomendação oficial para o Estado de São Paulo é de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Lorenzi et al., 1997), ou seja, a dose utilizada pelo agricultor está bem acima da recomendação. Contudo, mais estudos precisam ser realizados com adubação nessa cultura, pois Sangoi & Kruse (1994) verificaram, em Santa Catarina, que a recomendação oficial de adubação mostrou-se insuficiente para obtenção de produtividade semelhante à verificada com as maiores dosagens aplicadas, as quais se assemelharam às utilizadas pelos produtores de batata da região. Em solos com teor inicial de P_(Mehlich-1) de 2,9 mg dm⁻³, considerado baixo (CFSEMG, 1999), Fontes et al. (1997) relataram que foi necessária a aplicação de alta dose desse elemento (991 kg ha⁻¹ de P₂O₅) para serem obtidos níveis apropriados de P disponível no solo que proporcionassem a máxima produtividade comercial de tubérculos. Nava et al. (2007) obtiveram acréscimos na produtividade de tubérculos até a dose de 920 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em solos com teores iniciais de P_(Mehlich-1) baixos (2,8 e 3,8 mg dm⁻³) (CFSRS/SC, 1995).

Quanto ao K, nota-se que as maiores extrações foram de 230 e 256 kg ha⁻¹, nas cultivares Asterix e Mondial, respectivamente. Assim, os 213 kg ha⁻¹ de K aplicados via adubação não foram suficientes para suprir as exigências totais dessas cultivares, as quais absorveram também do K disponível no solo antes da adubação, cujo teor era de 5,6 mmol_c dm⁻³ de solo, considerado alto (Raij et al., 1997). Embora o K seja o nutriente mais absorvido pela batateira, em solos com teor elevado desse nutriente (entre 3,1 e 4,7 mmol_c dm⁻³ de solo), como no presente estudo, a produtividade de tubérculos não tem sido influenciada pela adubação potássica (Panique et al., 1997; Nava et al., 2007), sendo considerada até desnecessária quando o teor inicial de K trocável no solo é elevado (Nava et al., 2007).

As cultivares Asterix, Ágata e Markies apresentaram maior teor e exportação de N por área, enquanto as cultivares Mondial e Atlantic mostraram menor valor dessas variáveis (Quadro 4). A exportação relativa de N diferiu apenas entre a cultivar Mondial e as cultivares Asterix, Atlantic e Markies, que apresentaram maior exportação relativa desse nutriente, ou seja, entre 2,12 e 2,40 kg de N por tonelada de tubérculos. Reis Júnior & Monnerat (2001), trabalhando com a cultivar Baraka, obtiveram exportação relativa de N superior à observada no presente estudo, com valor de 3,2 kg de N para cada tonelada de tubérculos.

A cultivar Markies apresentou teor de P em seus tubérculos superior ao obtido na cultivar Asterix, porém sem diferir das cultivares Ágata, Atlantic e Mondial (Quadro 4). A cultivar Atlantic exportou quantidade de P inferior à das cultivares Asterix e Ágata, mas sem diferir das demais cultivares, o que em parte se deve ao menor acúmulo de MS em seus tubérculos (Fernandes et al., 2010). A menor exportação relativa de P foi observada na cultivar Mondial, a qual apresentou exportação inferior à das cultivares Atlantic e Markies, mas semelhante à das cultivares Ágata e Asterix. No entanto, para todas as cultivares, os valores de exportação ficaram dentro do intervalo de 0,3 a 0,5 kg de P por tonelada de tubérculos, relatado por Fontes (1997b).

O maior teor de K ocorreu nos tubérculos da cultivar Markies, enquanto a maior exportação desse elemento foi observada na cultivar Asterix, a qual apresentou alto acúmulo de MS nos tubérculos (Fernandes et al., 2010). As cultivares Ágata e Mondial apresentaram menor exportação relativa de K, ao

passo que nas demais cultivares a exportação de K por tonelada de tubérculos não diferiu e ficou em torno de 6,0 kg de K para cada tonelada de tubérculos produzidos, o que ficou acima do valor de exportação por tonelada (3,9 kg t⁻¹) obtido por Reis Júnior & Monnerat (2001).

Com relação ao Ca, não se verificaram diferenças entre as cultivares para teor do nutriente nos tubérculos, exportação por área e por tonelada de tubérculos, demonstrando que, independentemente da cultivar, a quantidade de Ca exportada da área de cultivo ficou em torno de 2 a 3 kg ha⁻¹ de Ca, ou seja, por volta de 0,10 kg de Ca para cada tonelada de tubérculos (Quadro 4). Yorinori (2003) obteve exportação de 0,08 kg de Ca para cada tonelada de tubérculos durante a safra das águas e de 0,07 kg t⁻¹ na safra das secas, ou seja, valores inferiores aos obtidos no presente estudo.

Quanto ao Mg, verifica-se que as cultivares Asterix, Ágata e Markies apresentaram maior teor desse nutriente nos tubérculos e exportaram maior quantidade de Mg da área de cultivo, enquanto o menor teor e exportação foi observado na cultivar Atlantic (Quadro 4). Com exceção da cultivar Mondial, nas demais cultivares a exportação relativa de Mg foi semelhante, com valores ao redor de 0,20 kg de Mg para cada tonelada de tubérculos produzidos, os quais ficaram dentro do intervalo citado por Fontes (1997b), que é de 0,1 a 0,3 kg t⁻¹.

O maior teor de S nos tubérculos das cultivares Ágata, Atlantic e Markies (Quadro 4), associado à menor produção de MS de tubérculos (Fernandes et al., 2010), contribuiu para que não houvesse diferenças entre as quantidades exportadas por área desse

Quadro 4. Teor e exportação de N, P, K, Ca, Mg e S no tubérculo de cultivares de batata no momento da colheita

Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	S
Teor no tubérculo, g kg ⁻¹ (1)						
Ágata	13ab	2,6ab	31b	0,4a	1,4a	1,1a
Asterix	13ab	2,3b	33b	0,4a	1,2ab	0,7b
Atlantic	11b	2,4ab	33b	0,4a	1,1b	0,9ab
Markies	14a	2,7a	36a	0,5a	1,3a	0,8ab
Mondial	11b	2,4ab	32b	0,5a	1,0b	0,7b
CV (%)	8,4	6,2	3,6	22,4	8,7	19,6
Quantidade exportada, kg ha ⁻¹						
Ágata	69ab	14a	163b	2a	7ab	6a
Asterix	88a	15a	220a	3a	8a	5a
Atlantic	48c	10b	143b	2a	5c	4a
Markies	68ab	13ab	178b	2a	7ab	4a
Mondial	61bc	13ab	176b	3a	6bc	4a
CV (%)	13,3	11,1	9,5	26,0	13,5	23,8
Exportação relativa, kg t ⁻¹ de tubérculo						
Ágata	1,87ab	0,37ab	4,35b	0,10a	0,20a	0,17ab
Asterix	2,20a	0,40ab	5,52a	0,10a	0,20a	0,12ab
Atlantic	2,12a	0,47a	6,32a	0,10a	0,20a	0,20a
Markies	2,40a	0,47a	6,25a	0,10a	0,20a	0,12ab
Mondial	1,50b	0,30b	4,30b	0,07a	0,12b	0,10b
CV (%)	11,7	14,4	7,7	23,5	12,1	28,8

(1) Valores expressos na matéria seca. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

elemento nas cultivares estudadas, uma vez que as cultivares Asterix e Mondial, com maior produção de MS de tubérculos (Fernandes et al., 2010), apresentaram menor teor de S nestes. Já a exportação relativa de S diferiu apenas entre as cultivares Atlantic e Mondial (Quadro 4), provavelmente em função da menor produtividade da cultivar Atlantic (22.544 kg ha⁻¹) e da elevada produtividade da cultivar Mondial (40.908 kg ha⁻¹) (Fernandes et al., 2010), visto que a exportação por área não diferiu (Quadro 4). Os valores de exportação de S por tonelada em todas as cultivares foram inferiores aos obtidos por Yorinori (2003) na safra das águas (0,24 kg t⁻¹) e na safra das secas (0,25 kg t⁻¹), além de estarem bem abaixo do intervalo de 0,3 a 0,8 kg de S por tonelada de tubérculos descrito por Fontes (1997b).

Verificou-se que, em média, 87 % do total de K e 84 % do total de P absorvidos durante o ciclo foram removidos da área de cultivo com os tubérculos, enquanto para N, Mg e S os valores foram de 66, 65 e 61 %, respectivamente (Quadro 3). Para o Ca, verificou-se que apenas 6 % da quantidade total extraída foi exportada pelos tubérculos, demonstrando que a maior parte do Ca acumulado nas plantas retorna ao solo com os restos culturais. Macedo et al. (1977) observaram que cerca de 10 % da quantidade de Ca extraída pelas cultivares de batata estudadas foi exportada pelos tubérculos, demonstrando que, com a colheita dos tubérculos, remove-se pouco Ca da área de cultivo.

CONCLUSÕES

1. As cultivares Mondial e Asterix, mais produtivas, apresentaram maior extração de macronutrientes, com quantidades médias por hectare de 116 kg de N, 18 kg de P, 243 kg de K, 50 kg de Ca e 13 kg de Mg, enquanto as cultivares Ágata, Atlantic e Markies extraíram menor quantidade, com valores médios de 92, 14, 178, 35 e 9 kg ha⁻¹, respectivamente.

2. A época de maior demanda por macronutrientes pelas cultivares estudadas ocorreu na fase inicial de enchimento dos tubérculos (42 a 70 DAP).

3. A exportação de macronutrientes não esteve diretamente relacionada com a produtividade de tubérculos, já que a cultivar mais produtiva (Mondial) não foi a que exportou a maior quantidade de macronutrientes.

4. A cultivar Asterix exportou maior quantidade de N, P, K e Mg, com valores de 88, 15, 220 e 8 kg ha⁻¹, respectivamente, ao passo que a menor exportação foi observada na cultivar Atlantic, com quantidade de 48 kg ha⁻¹ de N, 10 kg ha⁻¹ de P, 143 kg ha⁻¹ de K e 5 kg ha⁻¹ de Mg.

5. A variação entre as cultivares na extração, especialmente de K e N, indica necessidade de manejo diferencial da adubação.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo Ioshida, pela concessão da área para condução do experimento. À Associação Brasileira da Batata (ABBA), pelo auxílio financeiro. Ao CNPq, pela concessão de bolsa de Mestrado ao primeiro autor e de Produtividade em Pesquisa ao segundo autor. À Fapesp, pela concessão de bolsa de Iniciação Científica à terceira autora.

LITERATURA CITADA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA - ABBA. Variedades. R. Batata Show, 10:1-4, 2010.
- ALVARADO, A.; ITURRIAGA, I.; SMYTH, J.T.; UREÑA, J.M. & PORTUQUEZ, E. Efecto de la fertilización con fósforo sobre el rendimiento y la absorción de nutrientes de la papa en un andisol de Juan Viñas, Costa Rica. Agron. Costarricense, 33:45-61, 2009.
- ANDRIOLO, J.L.; BISOGNIN, D.A.; PAULA, A.L.; PAULA, F.L.M.; GODOI, R.S. & BARROS, G.T. Curva crítica de diluição de nitrogênio da cultivar Asterix de batata. Pesq. Agropec. Bras., 41:1179-1184, 2006.
- BERTSCH, F. Absorción de nutrientes por los cultivos. San José, Costa Rica, ACCS, 2003. 307p.
- CABALCETA, G.; SALDIAS, M. & ALVARADO, A. Absorción de nutrientes en el cultivar de papa MNF-80. Agron. Costarricense, 29:107-123, 2005.
- CARDOSO, A.D.; ALVARENGA, M.A.R.; MELO, T.L. & VIANA, A.E.S. Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função de doses e parcelamentos de nitrogênio e potássio. Ci. Agrotec., 31:1729-1736, 2007.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Lavras, 1999. 359p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFSRS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, SBCS - Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.
- COGO, C.M.; ANDRIOLO, J.L.; BISOGNIN, D.A.; GODOI, R.S.; BORTOLOTTI, O.C. & LUZ, G.L. Relação potássio-nitrogênio para o diagnóstico e manejo nutricional da cultura da batata. Pesq. Agropec. Bras., 41:1781-1786, 2006.
- CORASPE-LEÓN, H.M.; MURAOKA, T.; FRANZINI, V.I.; PIEDADE, S.A.S. & GRANJA, N.P. Absorción de macronutrientes por plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) em la producción de tubérculo-semilla. Interciencia, 34:57-63, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

- FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Yield - Potatoes. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>>. Acesso em: 06 abr. de 2011.
- FELTRAN, J.C. & LEMOS, L.B. Características agronômicas e distúrbios fisiológicos em cultivares de batata. *Científica*, 33:106-113, 2005.
- FELTRAN, J.C. Adubação mineral na cultura da batata e residual no feijoeiro. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2005. 112p. (Tese de Doutorado)
- 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. *Pesq. Agropec. Bras.*, 45:826-835, 2010.
- FILGUEIRA, F.A.R. Nutrição mineral e adubação em bataticultura, no Centro-Sul. In: FILGUEIRA, F.A.R. Nutrição mineral e adubação de hortaliças. Piracicaba, Potafós, 1993. p.401-428.
- FONTES, P.C.R. Nutrição mineral e adubação. In: REIFSCHNEIDER, F.J.B., Coord. Produção de batata. Brasília, Linha Gráfica, 1987. p.40-56.
- FONTES, P.C.R. Preparo do solo, nutrição mineral e adubação da batateira. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997a. 42p.
- FONTES, P.C.R.; ROCHA, F.A.T. & MARTINEZ, H.E.P. Produção de máxima eficiência econômica da batata em função da adubação fosfatada. *Hortic. Bras.*, 15:104-107, 1997.
- FONTES, R.R. Preparo do solo e adubação de plantio. In: LOPES, C.A. & BUSO, J.A., eds. Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.). Brasília, Embrapa/CNPQ, 1997b. 35p. (Instruções Técnicas, 8)
- GARGANTINI, H.; BLANCO, G.; GALLO, J.R. & NÓBREGA, S.A. Absorção de nutrientes pela batatinha. *Bragantia*, 22:267-289, 1963.
- GREEF, J.M.; OTT, H.; WULFES, R. & TAUBE, F. Growth analysis of dry matter accumulation and N uptake of forage maize cultivars affected by N supply. *J. Agric. Sci.*, 132:31-43, 1999.
- HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Austr. J. Soil Res.*, 35:227-239, 1997.
- JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B. & MILL, H.A. Plant analysis handbook. Georgia, Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.
- KRATZKE, M.G. & PALTA, J.P. Calcium accumulation in potato tubers: Role of basal roots. *HortScience*, 21:1022-1024, 1986.
- LARSSON, C.M.; LARSSON, M.; PUERVES, J.V. & CLARCKSON, D.T. Translocation and cycling through roots of recently absorbed nitrogen and sulphur in wheat (*Triticum aestivum*) during vegetative and generative growth. *Physiol. Plant.*, 82:345-352, 1991.
- LORENZI, J.O.; MONTEIRO, P.A.; MIRANDA FILHO, H.S. & RAIJ, B.van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p.221-229. (Boletim Técnico, 100)
- MACEDO, M.C.M.; HAAG, H.P. & GALLO, J.R. Nutrição mineral de hortaliças.:XXI Absorção de nutrientes por cultivares nacionais de batatinha (*Solanum tuberosum* L.). *Anais ESALQ*, 34:179-229, 1977.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba, Potafós, 1997. 308p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MARSHALL, C. & WARDLAW, I.F. A comparative study of the distribution and speed of movement of ¹⁴C assimilates and foliar-applied ³²P-labelled phosphate in wheat. *Austr. J. Biol. Sci.*, 26:1-13, 1973.
- NAVA, G.; DECHEN, A.R. & IUCHI, V.L. Produção de tubérculos de batata-semente em função das adubações nitrogenada, fosfatada e potássica. *Hortic. Bras.*, 25:365-370, 2007.
- NUNES, J.C.S.; FONTES, P.C.R.; ARAUJO, E.F. & SEDIYAMA, C. Potato plant growth and macronutrient uptake as affected by soil tillage and irrigation systems. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:1787-1792, 2006.
- 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. *Am. Potato J.*, 74:379-398, 1997.
- PAULA, M.B.; FONTES, P.C.R. & NOGUEIRA, F.D. Produção de matéria seca e absorção de macronutrientes por cultivares de batata. *Hortic. Bras.*, 4:10-16, 1986.
- PULZ, A.L.; CRUSCIOL, C.A.C.; LEMOS, L.B. & SORATTO, R.P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1651-1659, 2008.
- PURSGLOVE, J. & SANDERS, F.E. The growth and phosphorus economy of the early potato (*Solanum tuberosum* L.). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 12:1105-1121, 1981.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 284p.
- RAIJ, B.van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. & ABREU, C.A. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p.8-13. (Boletim Técnico, 100)

- RAMOS, S.J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C.R.; SILVA, C.A. & BOLDRIN, P.F. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. R. Bras. Ci. Solo, 33:335-343, 2009.
- REIS JÚNIOR, R.A. & MONNERAT, P.H. Exportação de nutrientes nos tubérculos de batata em função de doses de sulfato de potássio. Hortic. Bras., 19:360-364, 2001.
- SANCHO H. Curvas de absorción de nutrientes: Importancia y uso en los programas de fertilización. Inf. Agron., 36:11-13, 1999.
- SANGOI, L. & KRUSE, N.D. Doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio e características agronômicas da batata em dois níveis de pH. Pesq. Agropec. Bras., 29:1331-1343, 1994.
- SILVA, E.C.; SILVA FILHO, A.V. & ALVARENGA, M.A.R. Efeito residual da adubação da batata sobre a produção do milho-verde em cultivo sucessivo. Pesq. Agropec. Bras., 35:2151-2155, 2000.
- SILVA, F.L.; PINTO, C.A.B.P.; ALVES, J.D.; BENITES, F.R.G.; ANDRADE, C.M.; RODRIGUES, G.B.; LEPRE, A.L. & BHERING, L.P. Caracterização morfofisiológica de clones precoces e tardios de batata visando à adaptação a condições tropicais. Bragantia, 68:295-302, 2009.
- SILVA, T.O.; MENEZES, R.S.C.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. & SILVEIRA, L.M. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. I - Produtividade vegetal e estoque de nutrientes no solo em longo prazo. R. Bras. Ci. Solo, 31:39-49, 2007.
- YORINORI, G.T. Curva de crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura da batata cv. 'Atlantic'. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003. 66p. (Tese de Mestrado)
- ZOBIOLE, L.H.S.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A. & OLIVEIRA JUNIOR, A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. R. Bras. Ci. Solo, 34:425-433, 2010.