

IZA PAULA DE CARVALHO LOPES

**INDICADORES DO ESTADO DE NITROGÊNIO DA PLANTA,
PRODUTIVIDADE E BIOFORTIFICAÇÃO DE TUBÉRCULOS DE
BATATA INFLUENCIADOS POR DOSES DE SULFATO DE
MAGNÉSIO**

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
2014**

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

T

L864i
2014
Lopes, Iza Paula de Carvalho, 1983-
Indicadores do estado de nitrogênio da planta,
produtividade e biofortificação de tubérculos de batata
influenciados por doses de sulfato de magnésio / Iza Paula de
Carvalho Lopes. – Viçosa, MG, 2014.
xi, 71f. : il. ; 29 cm.

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

1. Batata. 2. Plantas - Nutrição mineral. 3. Plantas -
Produção. 4. Plantas - Efeito de nitrogênio. 5. Plantas - Sulfato
de magnésio. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia.
II. Título.

CDD 22. ed. 635.21

IZA PAULA DE CARVALHO LOPES

**INDICADORES DO ESTADO DE NITROGÊNIO DA PLANTA,
PRODUTIVIDADE E BIOFORTIFICAÇÃO DE TUBÉRCULOS DE
BATATA INFLUENCIADOS POR DOSES DE SULFATO DE
MAGNÉSIO**

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: 18 de julho de 2014

Marialva Alvarenga Moreira
(Coorientador)

Sanzio Mollica Vidigal

Carlos Nick Gomes

Paulo Cezar Rezende Fontes
(Orientador)

A Deus, pela escolha do melhor caminho para mim.

A minha família, em especial aos meus pais Daniel Antônio Lopes e Maria Isabel de Carvalho Lopes, minha irmã, Claudia Carla de Carvalho Lopes.

Aos meus amigos pelo apoio, força, carinho, amor e incentivo em todos os momentos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa e, em especial, ao Departamento de Fitotecnia.

A FAPEMIG (Fundação de Amparo á Pesquisa do Estado de Minas Gerais).

Ao professor Paulo Cezar Rezende Fontes.

Aos Co-orientadores Paulo Roberto Cecon e Marialva Alvarenga Moreira.

Aos funcionários da Horta Nova de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia.

Aos funcionários do laboratório de Nutrição Mineral.

A todos meus amigos da Pós – graduação.

BIOGRAFIA

IZA PAULA DE CARVALHO LOPES, filha de Daniel Antônio Lopes e Maria Isabel de Carvalho Lopes, nasceu em 16 de novembro de 1983, em Belo Horizonte-MG.

No ano de 2009, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Em dezembro de 2012, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), submetendo-se à defesa da dissertação em julho de 2014.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	3
CAPÍTULO 1: Indicadores do estado de nitrogênio da planta influenciados por doses de magnésio	4
1. INTRODUÇÃO	4
2. MATERIAL E MÉTODOS	6
2.1. Instalação e condução do experimento	6
2.2. Características avaliadas na quarta folha, aos 21 e 60 DAE	7
2.2.1. Índices SPAD e DUALEX	7
2.2.2. Intensidade do verde	8
2.2.3. Bioindicadores: Comprimento, largura, diâmetro, número de folíolos, área, massas das matérias fresca e seca.....	8
2.2.4. Teor e conteúdo de N	9
2.3. Bioindicadores avaliados na planta, aos 21 e 60 DAE	9
2.3.1. Número de hastes, folhas e tubérculos, comprimento e diâmetro da haste principal	9
2.3.2. Área foliar, massas das matérias fresca e seca de folhas, hastes, raízes e tubérculos	9
2.4. Análise estatística	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
3.1. Índice SPAD e Dualex da quarta folha	10
3.2. Intensidade do verde da quarta folha	13

3.3. Bioindicadores: Comprimento, largura, diâmetro do pecíolo, número de folíolos, área foliar, massas das matérias fresca e seca da quarta folha.....	14
3.4. Teor e conteúdo de N na massa da matéria seca da quarta folha, aos 21 e 60 DAE.....	16
3.5. Número de hastes, folhas e tubérculos, comprimento e diâmetro da haste principal aos 21 e 60 DAE.....	17
3.6. Massas das matérias fresca e seca de folhas, hastes, raízes, tubérculos e área foliar, aos 21 e 60 DAE	19
4. CONCLUSÕES	22
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
CAPÍTULO 2: Produtividade e comportamento pós-colheita de tubérculos de batata influenciados por doses de magnésio	28
1. INTRODUÇÃO	28
2. MATERIAL E MÉTODOS	31
2.1. Instalação e condução do experimento.....	31
2.2. Características avaliadas	31
2.2.1. Índice de velocidade de emergência das plantas (IVE)	31
2.2.2. Classificação dos tubérculos	31
2.2.3. Massas das matérias fresca e seca dos tubérculos comerciais.....	31
2.2.4. Índice de esverdeamento.....	32
2.2.5. Brotação dos tuberculos: Número de gemas brotadas.....	32
2.3. Análise estatística	32
3. RESULTADOS	33
3.1. Índice de velocidade de emergência das plantas (IVE)	33
3.2. Número e massas das matérias fresca e seca de tubérculos comerciais.....	33
3.3. Número de tubérculos das classes 2 e 3 e correspondentes massas das matérias fresca e seca	35
3.4. Avaliação pós-colheita	36

3.4.1. Esverdeamento pós-colheita de tubérculos lavados e não lavados.....	36
3.4.2. Brotação pós-colheita de tubérculos lavados e não lavados	38
4. DISCUSSÃO	39
5. CONCLUSÕES	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	47
CAPÍTULO 3: Biofortificação de tubérculos de batata com magnésio	55
1. INTRODUÇÃO	55
2. MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1. Instalação e condução do experimento	57
2.2. Características avaliadas	58
2.2.1. Teor e conteúdo de magnésio (Mg) na massa da matéria seca de folhas, hastes, tubérculos, raízes e quarta folha aos 21 e 60 DAE.	58
2.2.2. Teor e conteúdo de magnésio (Mg) na massa da matéria seca de tubérculos, na colheita final, aos 88DAE	58
2.3. Análise estatística	59
3. RESULTADOS	59
3.1. Teor de magnésio (Mg) na massa da matéria seca de folhas, hastes, tubérculos, raízes e quarta folha aos 21 e 60 DAE, e na massa da matéria seca de tubérculos da classe 2 e 3 aos 88 DAE	59
3.2. Conteúdo de magnésio (Mg) na massa da matéria seca de folhas, hastes, tubérculos, raiz e quarta folha aos 21 e 60 DAE, e na massa da matéria seca de tubérculos da classe 2 e 3 aos 88 DAE	61
4. DISCUSSÃO	62
5. CONCLUSÃO.....	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

RESUMO

LOPES, Iza Paula de Carvalho, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, julho de 2014. **Indicadores do estado de nitrogênio da planta, produtividade e biofortificação de tubérculos de batata influenciados por doses de sulfato de magnésio.** Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes. Coorientadores: Paulo Roberto Cecon e Marialva Alvarenga Moreira.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de doses de sulfato de magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) sobre indicadores do estado de nitrogênio na planta, produtividade, biofortificação, esverdeamento e brotação de tubérculos de batata, cultivar Ágata. O experimento de campo foi realizado na Horta Nova do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (DFT/UFV), no período de 7 de junho a 23 de setembro de 2013. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de sulfato de magnésio (0, 100, 200, 400 e 800 kg ha^{-1}) aplicadas em pré - plantio, com quatro repetições. Foram avaliadas, aos 21 e 60 dias após emergência (DAE), características indicadoras do estado de nitrogênio na planta. Tais características foram os índices SPAD, Dualex, intensidade do verde e os bioindicadores determinados na quarta folha (comprimento, largura, diâmetro do pecíolo, número de folíolos, área foliar, massas das matérias fresca e seca) e nos órgãos da planta (número de hastes, folhas e tubérculos, comprimento e diâmetro da haste principal, massas das matérias fresca e seca de folhas, hastes, raízes e tubérculos e área foliar), além do teor e conteúdo de N na massa da matéria seca da quarta folha. Também foram avaliados teor e conteúdo de magnésio (Mg) na massa da matéria seca da quarta folha, folhas, hastes, tubérculos e raízes, aos 21 e 60 DAE e nos tubérculos na colheita final, aos 88 DAE. Adicionalmente foram avaliados o índice de velocidade de emergência (IVE), número, massas das matérias seca e fresca de tubérculos comerciais (classes 2 e 3), esverdeamento e brotamento de tubérculos lavados e não lavados. Diferentes características indicadoras do estado de nitrogênio da batata são diferentemente influenciadas por doses de Mg e por época de avaliação. A maior produtividade comercial foi 40,09 t ha^{-1} de tubérculos com a aplicação da dose de 800 kg ha^{-1} de sulfato de magnésio que propiciou, aos 21 DAE, a concentração de 0,904 dag kg^{-1} de Mg na massa da matéria seca da quarta folha.

Tubérculos oriundos das plantas do tratamento que recebeu 800kg ha^{-1} de sulfato de magnésio, lavados ou não, apresentaram maior intensidade de esverdeamento do que aqueles produzidos nas plantas não adubadas com Mg. Após 90 dias de armazenamento, dose crescente de sulfato de magnésio aumentou linearmente o número de brotos de tubérculos lavados e não lavados. Não foi possível biofortificar os tubérculos de batata usando dose de até 800kg ha^{-1} de sulfato de magnésio, porém, houve indução da “concentração de luxo” de Mg em folhas, hastes e raízes de batata, no início do ciclo da planta.

ABSTRACT

LOPES, Iza Paula de Carvalho, M. Sc. Universidade Federal de Viçosa, July 2014. **Potato nitrogen status indicators, tuber yield and biofortification as affected by magnesium sulfate.** Adviser: Paulo Cezar Rezende Fontes. Co-advisers: Paulo Roberto Cecon and Marialva Alvarenga Moreira.

The aim of this study was to evaluate the effect of magnesium sulphate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) rates on potato nitrogen status indicators and tuber yield, biofortification, greening and sprouting, Agata cultivar. The experiment was carried out on the field of Universidade Federal de Viçosa from June 7 to September 23th, 2013. The treatments consisted of five magnesium sulfate rates (0, 100, 200, 400 and 800 kg ha^{-1}) pre-planting applied with four replications. Plant nitrogen status indicators were evaluated at 21 and 60 days after plant emergence (DAE). Such indicators were SPAD, Dualex, and greenness indices and biomarkers determined in the fourth leaf (length, width, petiole diameter, leaf number, area, fresh and dry matter mass). Also they were determined the biomarkers in the plant organs (stem, leaf and tuber numbers, length and diameter of the main stem, fresh and dry matter mass of leaves, stems, roots and tubers and total plant leaf area). Besides, it was also determined the N content and concentration in the fourth leaf. The fourth leaf, leaves, stems, tubers and roots magnesium (Mg) contents in the dry matter were evaluated at 21 and 60 DAE and the Mg in the tubers was evaluated at end of the harvest, at 88 DAE. Additionally, it was performed analysis of the emergence speed index (EVI), tuber number, commercial tubers (classes 2 and 3) fresh and dry yield, greening and sprouting of washed and unwashed tubers. Different potato nitrogen status indicators are differently influenced by Mg rates and evaluation time. The highest commercial tuber yield was 40,09 t ha^{-1} with 800 kg ha^{-1} of magnesium sulfate which led to 0,904 dag kg^{-1} of Mg in the fourth leaf dry matter, at 21 DAE. Greenness of tubers yielded from plants fertilized with 800 kg ha^{-1} of magnesium sulfate, washed or not, were more intense than those from plants without Mg fertilization. After 90 days of storage, increasing magnesium sulphate rates increased linearly the number of sprouted tubers washed and unwashed. It was not possible to biofortify potato tubers using magnesium sulphate rate up to 800 kg ha^{-1} however,

there were Mg "luxury concentration" inductions in leaves, stems and roots of potato plant at early plant development stages.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O magnésio é um dos mais abundantes elementos presentes na crosta terrestre, sendo essencial para o metabolismo das plantas e dos animais. Na planta, esse íon atua em diversos processos como a ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA (Taiz & Zeiger, 2004), além de ser componente fundamental na molécula de clorofila (Marschner, 2012). Entretanto, pela elevada importância para os animais e plantas, pouca atenção tem sido dada ao Mg pelos agrônomos e pesquisadores (Gransee & Fuhrs, 2013).

Deficiência de magnésio no solo pode ser corrigida pela aplicação de sulfato de magnésio cujo nome comum é sal de Epsom e fórmula $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. Entretanto, tanto a falta quanto o excesso de Mg pode afetar negativamente a produção e qualidade de tubérculos comerciais de batata, embora seja pouco comum encontrar trabalhos sobre o efeito de doses supra-ótimas de Mg sobre a produção e qualidade pós-colheita de tubérculos de batata cultivada em campo. Mas, é sabido que alta dose de Mg pode retardar o crescimento e interferir em processos metabólicos das plantas (Venkatesan & Jayaganesh, 2010).

Recentemente tem havido crescente preocupação não somente com a produtividade, mas também com a qualidade dos alimentos incluindo-se a composição mineral ou o ionoma dos mesmos (Broadley & White, 2010; Rosanoff, 2012; Reid et al., 2013). O deliberado aumento da concentração mineral da planta durante o crescimento tem sido chamado de biofortificação (White & Broadley, 2005), que visa aumentar a disponibilidade de elementos essenciais na parte comestível das culturas (Hirschi, 2009).

Para haver biofortificação é necessário ocorrer o chamado “consumo de luxo” deste mineral, ou seja, a absorção mineral precisa ser maior do que a necessidade para a máxima produção econômica. Porém, o excesso de mineral pode ser tóxico para as plantas. Assim, a estratégia de biofortificação com Mg necessita considerar, no caso da batata, o efeito da adição de Mg sobre a partição e de acúmulo de fotoassimilados nos tubérculos e não necessariamente o acúmulo no dossel da planta. Isto é, caso seja “consumido luxuosamente” no dossel da planta o Mg deve ser partido para o órgão de interesse, os tubérculos da batata. O possível consumo

de luxo pelo dossel da planta e a possibilidade de biofortificar os tubérculos de batata com Mg via aplicação do fertilizante sulfato de magnésio pré-plantio, não foram ainda avaliados.

Há trabalhos avaliando o efeito do Mg sobre diversos aspectos da cultura da batata (Sawyer & Dallyn, 1966; Allison et al., 2001; Barroso, 2013). Entretanto, nenhum deles procurou verificar, em condição de campo, o efeito da variação de dose de Mg sobre os principais indicadores do estado de nitrogênio da planta. Hipotetiza-se que determinados índices utilizados para a avaliação do estado de nitrogênio sejam influenciados pelo estado de Mg da planta. Caso tal efeito ocorra, a utilização do índice como indicador do estado de nitrogênio fica comprometida.

Assim, os objetivos desta dissertação são:

- a) Caracterizar o efeito de doses de Mg sobre os principais indicadores do estado de nitrogênio da planta de batata cultivada no campo.
- b) Determinar a dose adequada de Mg para a maior produtividade de tubérculos e o teor de Mg na massa da matéria seca da quarta folha de batata associada a mesma.
- c) Caracterizar o efeito em pós-colheita de doses crescentes de Mg sobre o esverdeamento e a brotação dos tubérculos.
- d) Verificar a viabilidade de biofortificar os tubérculos de batata cultivada no campo via aplicação pré-plantio de sulfato de magnésio.

Para atingir esses objetivos, a presente dissertação está organizada e apresentada em três capítulos:

Capítulo 1: Indicadores do estado de nitrogênio da planta influenciados por doses de magnésio.

Capítulo 2: Produtividade e comportamento pós-colheita de tubérculos de batata influenciados por doses de magnésio.

Capítulo 3: Biofortificação de tubérculos de batata com magnésio.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

ALLISON, M.F.; FOWLER, J.H.; ALLEN, E.J. Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). **Journal of Agricultural Science**, v.137, p.397-409, 2001.

BARROSO, F. L. **Influência do magnésio sobre o desenvolvimento, produtividade e índices nitrogenados da batata semente básica, cultivada em substrato orgânico e em hidroponia**. Universidade Federal de Viçosa. 2013, 66p (Dissertação de Mestrado).

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J. Eats roots and leaves. Can edible horticultural crops address dietary calcium, magnesium and potassium deficiencies? **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 69, n. 4, p. 601–612, 2010.

GRANSEE, A.; FUHRS, H. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. **Plant Soil**, v.368, p.5-21, 2013.

HIRSCHI, K. D. Nutrient biofortification of food crops. **The Annual Review of Nutrition**, v. 29, p. 401–42, 2009.

MARSCHNER, P (ed) **Mineral nutrition of higher plants**, 3rd ed. Elsevier Ltd., p. 135–189, 2012.

REID, J. B.; TROLOVE, S. N.; TAN, Y.; JOHNSTONE, P. R. Luxury uptake of magnesium by peas *Pisum sativum*. **Annals of Applied Biology**, v. 163, n. 1, p. 151–164, 2013.

ROSANOFF, A. Changing crop magnesium concentrations: impact on human health. **Plant and Soil** [Online]. Disponível em: URL <http://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1471-5/fulltext.html>> 2012. Acesso em 23 de abril 2014.

SAWYER, R. L.; DALLYN S. L. Magnesium fertilization of potatoes on Long Island. **American Potato Journal**, v. 43, n. 7, p 149-152, 1966.

TAIZ, Z.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3º edição, Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

VENKATESAN, S.; JAYAGANESH, S. Characterisation of magnesium toxicity, its influence on amino acid synthesis pathway and biochemical parameters of tea. **Research Journal of Phytochemistry**, v.4, n. 2, p. 67–77, 2010.

WHITE P. J.; BROADLEY M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, v. 10, n. 12, p. 586–593, 2005.

CAPÍTULO 1

Indicadores do estado de nitrogênio da planta influenciados por doses de magnésio

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes que se destaca na cultura da batata, sendo importante para o crescimento e desenvolvimento da cultura, principalmente produtividade e qualidade de tubérculos (Yin et al., 2003; Braun et al., 2011). Como ainda não existe apropriada análise de rotina do solo para esse elemento, o programa de adubação nitrogenada da cultura tem sido feito empiricamente (Fontes, 2011).

Recentemente, em consonância com a agricultura de precisão, estudos vêm sendo direcionados visando utilizar tecnologia baseada na necessidade da planta para a recomendação do manejo do N nas culturas, via técnicas não destrutivas e em tempo real (Fontes, 2011). Para isso é necessário avaliar o estado de N da planta (AENP) utilizando-se índices, que podem ser obtidos por vários métodos, diretos ou indiretos (Fontes, 2001; Samborski et al., 2008; Hartfield et al., 2008; Goffart et al., 2008; Fontes, 2011; Huerta et al., 2013).

O método referencial para AENP é a análise química do teor de N na massa da matéria seca da folha, comumente em batata a quarta folha expandida (Fontes, 2011). Quase sempre, o teor de N se correlaciona com o conteúdo de clorofila da folha, medido com clorofilômetro portátil, mais comumente o SPAD – 502, e com a produtividade de várias espécies, inclusive batata (Minotti et al., 1994; Gil et al., 2002; Rodrigues, 2004; Silva et al., 2009; Coelho et al., 2010; Coelho et al., 2012).

Também, índices isolados e combinados de clorofila e flavonóis podem ser determinados, de maneira não destrutiva, com o aparelho Dualex (Fontes, 2011) que utiliza a medição da absorção do ultravioleta (UV) pela epiderme da folha após a dupla excitação de fluorescência da clorofila (Goulas et al., 2004).

Adicionalmente, características morfo-fisiológicas da planta ou biomarcadores, determinados com facilidade e de forma não destrutiva, como área da folha, número de folhas e altura de plantas tem sido propostas como teste indireto para AENP em alternativa ou em complementaridade aos métodos tradicionais (Fontes, 2001; Ronchi et al., 2001; Coelho & Fontes, 2005; Busato et al., 2008; Moreira et al., 2011).

Diversos possíveis índices de serem utilizados na AENP tem sido revisados (Fontes, 2001; Samborski et al., 2008; Hartfield et al., 2008; Fontes, 2011; Huerta et al., 2013) sendo criticamente detalhados para a batata, em termos de exatidão, precisão, sensibilidade, sensibilidade e factibilidade (Goffart et al., 2008).

Para ser útil, o índice de AENP deve ser possível de ser usado no momento em que seja tecnicamente desejável e apropriado de aplicar o adubo nitrogenado em cobertura na cultura da batata, normalmente até a realização da amontoa, em torno de 20 dias após a emergência. Além disso, o índice deve estar apropriadamente calibrado. Vários fatores podem interferir na calibração e interferir no valor ótimo de um índice na folha (Fontes, 2001; Andriolo et al., 2006). Dentre esses fatores acredita-se estar o magnésio (Mg), nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Tal hipótese não foi ainda avaliada em batata.

Os papéis fisiológicos mais conhecidos do Mg estão nos processos de coleta da energia solar visto que ocupa a posição central na estrutura da clorofila, na modulação alostérica de mais de 300 enzimas como carboxilases, fosfatases, quinases, polimerases de RNA e ATPases além da quelação nas formas de fosfato de nucleotídeos (Shaul, 2002; Hawkesford et al., 2012; Marschner, 2012).

Há trabalhos avaliando o efeito do magnésio sobre o crescimento e a produção da cultura da batata (Sawyer & Dallyn, 1966; Allison et al., 2001; Barroso, 2013). Entretanto, nenhum deles procurou verificar o efeito da variação de dose de Mg sobre os principais índices de avaliação do estado de nitrogênio das plantas em condição de campo.

Hipotetiza-se que índices utilizados para a avaliação do estado de nitrogênio possam ser influenciados pelo estado de Mg da planta. Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar o efeito de doses de sulfato de magnésio sobre os principais indicadores do estado de nitrogênio da batata cultivada em campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido na Horta Nova, área de pesquisa do Departamento de Fitotecnia (DFT), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa - MG, entre 17 de junho a 23 de setembro de 2013. A área apresenta altitude de 693m, latitude sul 20°45' e longitude oeste 42°51', e classificação climática de Koppen (1948) do tipo Cwa e solo classificado como Argilossolo-vermelho Amarelo Câmbico (Hapludult). Antes da instalação do experimento foi retirada uma amostra de solo da camada de 0-20 cm de profundidade para a determinação das características químicas do solo, conforme Quadro 1.

Quadro 1- Característica química do solo da camada de 0 – 20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	P- rem
(H ₂ O)	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³						%	mg L ⁻¹	
5,30	13,6	38	2,6	0,70	0	2,97	3,40	3,40	6,37	53	33,6

Ca-Mg-Al- Extrator: KCl 1 mol L⁻¹; P – K - Extrator Mehlich 1; H+Al-Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0;

Antes da implantação do experimento, o solo foi preparado com a prévia dessecação das plantas existentes na área, gradagem e aração. Após o preparo, o solo foi sulcado e adubado com os seguintes fertilizantes, em kg ha⁻¹: 275 de uréia, 1800 de superfosfato simples, 384 de cloreto de potássio, 10 de bórax, 10 de sulfato de zinco, 10 de sulfato de cobre e 0,5 de molibdato de sódio. A metade restante de uréia, 275 kg ha⁻¹, foi incorporada ao solo, ao lado das plantas, no dia da amontoa.

Como material de propagação, foram selecionados tubérculos semente de tamanho uniforme e massa média de 70g da cultivar Ágata, naturalmente brotado. A origem da cultivar é holandesa, apresenta hastes finas a moderadamente finas, folhas moderadamente grandes com folíolos largos e de cor verde intensamente clara. Possui tubérculos de formato considerado como oval, a casca (pele) amarelada e lisa, polpa de cor amarela-clara, com disposição culinária para cozinhar ou assar. A Ágata é a principal cultivar plantada no Brasil.

Foram avaliados cinco tratamentos constituídos por cinco doses de sulfato de magnésio (0, 100, 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio – Sal de Epsom MgSO₄ - 7 H₂O), com 9 % de Mg e 11 % de S. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. As doses de sulfato de magnésio, juntamente com os demais fertilizantes, exceto a metade da dose de N, foram aplicadas em pré – plantio, nos sulcos e adequadamente misturadas ao solo, com o auxílio da enxada. Foi feita a aplicação do inseticida Carbofuran[®] no sulco de plantio após a distribuição das batatas sementes.

A parcela foi composta de 4 fileiras com 8 plantas espaçadas de 0,75 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas, com dimensão de 2 m de comprimento e 3 m de largura, ocupando uma área de 6 m². As duas linhas laterais e as plantas nas extremidades das linhas centrais foram consideradas bordaduras, resultando em 12 plantas úteis.

O plantio foi realizado no dia 17/06/2013. A data de emergência foi considerada quando cerca de 90% das plantas já estavam com pelo menos uma haste emergida, que ocorreu no dia 27/06/2013. Aos 21 dias após emergência (DAE) foram realizadas a adubação de cobertura com o restante da dose de nitrogênio, amontoa e primeira avaliação. As características avaliadas estão descritas em 2.2.

Para essa avaliação coletou-se aleatoriamente uma planta inteira, representativa de cada parcela, que foi separada em quarta folha, folhas, hastes, raízes e tubérculos. Cada órgão foi pesado obtendo-se a massa da matéria fresca e, posteriormente, colocado em estufa de circulação forçada a 70 °C até atingir massa constante, o material foi novamente pesado para a obtenção da massa da matéria seca.

No início da senescência das plantas, aos 60 DAE, foi realizada a segunda avaliação, de forma semelhante à primeira.

Durante o período experimental foram realizadas pulverizações com agroquímicos e irrigação por aspersão conforme a necessidade da cultura.

2.2. Características avaliadas na quarta folha, aos 21 e 60 DAE

2.2.1. Índices SPAD e DUALEX

O índice SPAD foi determinado usando o medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development-502) no folíolo terminal da quarta folha

completamente expandida, evitando-se realizar a leitura nas nervuras das folhas. Antes de ser destacada da planta foram realizadas três leituras na quarta folha, entre 8 e 10 horas da manhã, sendo utilizado o valor médio das leituras. Essa parte da folha é a recomendada para verificar o estado nutricional da batateira (Fontes, 2005). A medição seguiu os procedimentos indicados em Fontes & Araújo (2007).

Os índices DUALEX foram medidos com o aparelho Dualex (Force A), no folíolo terminal da quarta folha, completamente expandida à partir do ápice da planta. O Dualex fornece três índices: clorofila (CHL), flavonóis (FLV) e NBI (Índice de balanço do nitrogênio). O NBI é obtido pela relação entre os índices CHL e FLV (Fontes, 2011).

2.2.2. Intensidade do verde

Somente aos 21 DAE, a intensidade do verde da quarta folha foi determinada usando como referência uma tabela de cor utilizada para o manejo de nitrogênio na cultura de arroz, desenvolvida por Balasubramanian et al. (1999). Essa tabela consiste de seis tons de verde variando de verde amarelo (nota 1) até a verde escuro (nota 6).

2.2.3. Bioindicadores: comprimento, largura, diâmetro, número de folíolos, área, massas das matérias fresca e seca

O comprimento e a largura da quarta folha foram determinados com uma régua milimetrada, sendo que a primeira variável correspondeu a medição entre a distância da base distal do pecíolo até a extremidade do folíolo terminal e a segunda medição foi determinada pela distância do limbo entre os dois maiores folíolos adjacentes.

O diâmetro do pecíolo foi medido com paquímetro digital e foi contado os folíolos. Para a determinação da área foliar foi usado o medidor LI – COR 3100.

Em balança analítica foi realizada a pesagem da massa da matéria fresca da quarta folha recém-colhida de cada parcela. Esse material foi condicionado em saco de papel e colocado em uma estufa de circulação forçada de ar à 70°C até atingir

massa constante, onde foi novamente pesado para a determinação da massa da matéria seca.

2.2.4. Teor e conteúdo de N

Após a secagem, a quarta folha foi moída em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh, para a determinação do teor de N, após digestão sulfúrica, utilizando-se o reagente Nessler (Jackson, 1958). Pela multiplicação do valor da massa seca (g) pelo teor (dag kg^{-1}) foi obtida a variável conteúdo de N (g/planta) na quarta folha, ou seja, a quantidade de N acumulada na folha referência.

2.3. Bioindicadores avaliados na planta, aos 21 e 60 DAE

2.3.1. Número de hastes, folhas e tubérculos, comprimento e diâmetro da haste principal

Foram contadas as hastes, folhas e tubérculos em uma planta de cada parcela e com régua foi medido o comprimento da haste principal. O diâmetro da haste principal foi determinado com paquímetro digital.

2.3.2. Área foliar, massas das matérias fresca e seca de folhas, hastes, raízes e tubérculos

Para determinação da área foliar foi usado o medidor LI – COR 3100.

As massas das matérias frescas de folhas, hastes, raízes e tubérculos de plantas recém-colhidas foram determinadas em balança analítica. Esse material foi condicionado em saco de papel e colocado em uma estufa de circulação forçada de ar à 70°C até atingir massa constante, onde foi novamente pesado para a determinação da massa da matéria seca de cada órgão.

2.4. Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados por meio de análise de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” adotando-se o nível de até 10% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2 = \text{SQRegressão} / \text{SQTratamento}$) e no fenômeno em estudo. Utilizou-se o software Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

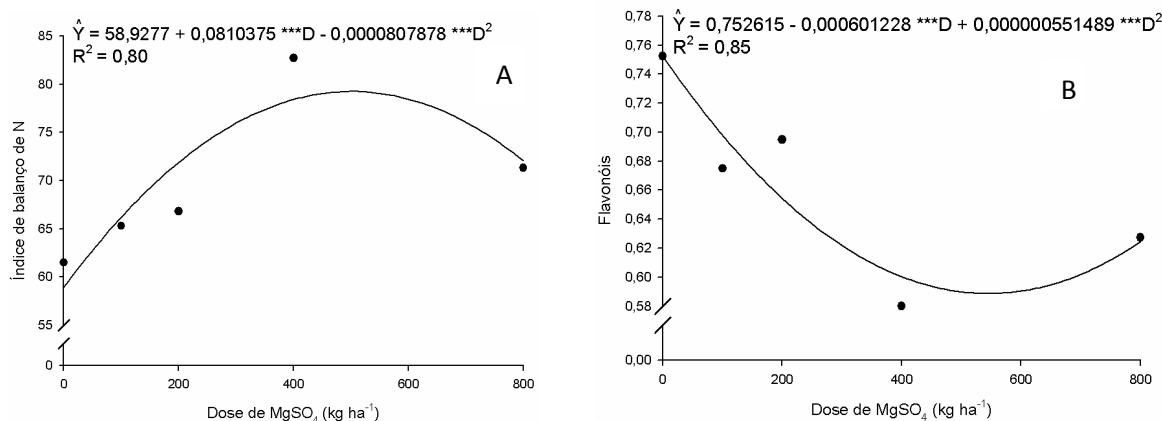
3.1. Índice SPAD e Dualex da quarta folha

Houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre os índices NBI e FLV, aos 21 DAE e sobre os índices SPAD e CHL, aos 60 DAE. Os modelos que descrevem o efeito de doses de sulfato de magnésio sobre os valores desses índices estão na Tabela 1. A representação gráfica da relação onde houve efeito significativo de doses de sulfato de magnésio encontra-se nas Figuras 1 e 2.

Tabela 1 – Equações de regressão ajustadas para os índices **SPAD** e **DUALEX** (**NBI**, **CHL**, **FLV**) medidos na quarta folha, aos 21 e 60 DAE, em função das doses de sulfato de magnésio (D) e os respectivos coeficientes de determinação.

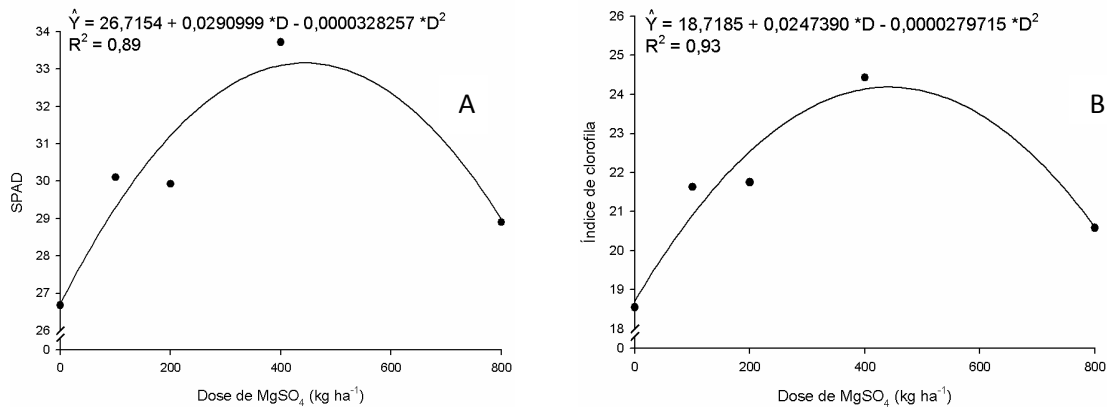
Variáveis	Equações ajustadas	R ²
21 DAE		
SPAD	$\hat{Y} = 48,12$	-
NBI	$\hat{Y} = 58,9277 + 0,0810375 \text{ ***D} - 0,0000807878 \text{ ***D}^2$	0,80
CHL	$\hat{Y} = 44,195$	-
FLV	$\hat{Y} = 0,752615 - 0,000601228 \text{ ***D} + 0,000000551489 \text{ ***D}^2$	0,85
60 DAE		
SPAD	$\hat{Y} = 26,7154 + 0,0290999 \text{ *D} - 0,0000328257 \text{ *D}^2$	0,89
NBI	$\hat{Y} = 22,55$	-
CHL	$\hat{Y} = 18,7185 + 0,0247390 \text{ *D} - 0,0000279715 \text{ *D}^2$	0,93
FLV	$\hat{Y} = 1,018$	-

* e *** - significativos a 5 e 10% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.



*** - significativo a 10 % de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 1– Relação entre índices de balanço de nitrogênio (NBI) (A) e de Flavonóis (FLV) (B) e doses de sulfato de magnésio, aos 21 dias após emergência.



* - significativo a 5 % de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 2 – Relação entre os índices SPAD (A) e de clorofila (B) e doses de sulfato de magnésio, aos 60 dias após emergência.

Os resultados apresentados aos 21 DAE ocorreram em plantas de diferentes estados de Mg nos seus órgãos, porém com a mesma concentração de Mg na massa da matéria seca da quarta folha, em função de dose de Mg. No presente trabalho, aos 21 DAE, os teores de Mg nos órgãos da planta foram crescentes em função de dose, mas o teor de Mg na quarta folha não foi influenciado (Capítulo 3).

O valor médio do índice SPAD encontrado aos 21 DAE foi 48,12 unidades, valor 7 % acima do valor encontrado por Gil et al. (2002) para a cultivar Monalisa (44,9 unidades SPAD), associado à dose de N para a maior produção de tubérculos comerciais. Dentre as funções de importância do Mg na planta, uma das principais é sua participação na composição da clorofila (Gerendás & Fuhrs, 2013), assim como o N. Ao avaliar doses de nitrogênio sobre a batata, Minotti et al. (1994) concluíram que a leitura do índice SPAD pode variar em função do ano, variedade e localização. Barroso (2013), aos 21 DAE, não encontrou influência significativa de doses de sulfato magnésio em substrato orgânico sobre a leitura SPAD na folha de batata. O índice SPAD é um método indireto de medição do teor de clorofila e do estado nutricional nitrogenado da planta (Fontes, 2001), podendo ser usado para a diagnose do N a partir da segunda semana após a emergência das plantas de batata (Rodrigues, 2004). Esse medidor portátil pode identificar deficiência de N nas culturas ou indicar situações em que aplicação adicional de N não é necessária (Gil et al., 2002).

O mesmo não ocorreu aos 60 DAE, na época do início da senescência das plantas de batata, quando os valores do índice SPAD seguiram resposta quadrática em função de doses de sulfato de magnésio, sendo que a máxima leitura ocorreu com a dose de 443,25 kg ha⁻¹ de MgSO₄, atingido o valor de 33,16. De maneira semelhante aos resultados verificados por Minotti et al. (1994), Rodrigues (2004) e Busato (2007) estudando doses de nitrogênio, houve decréscimo no valor do índice SPAD com o decorrer do ciclo da cultura, como consequência da remobilização do N e perda da cor verde. O magnésio é um elemento móvel podendo ser translocado pela planta, assim como o N.

Aos 60 DAE houve efeito do estado de Mg sobre o índice SPAD, indicando a possibilidade de confusão entre as deficiências de N e de Mg. Os índices de balanço de N (NBI) e flavonóis (FLV), aos 21 DAE, e índice clorofila (CHL), aos 60 DAE, apresentaram respostas quadráticas em função das doses de sulfato de magnésio. Dualex é um aparelho móvel, inicialmente descrito por Goulas et al. (2004), que fornece índice de flavonóis (FLV), índice de clorofila (CHL) e o índice de balanço de nitrogênio (NBI), obtido pela relação entre CHL e FLV (Fontes, 2011; Coelho et al., 2012). Esses índices são obtidos por meio da medição da absorção do ultravioleta (UV) da epiderme da folha que é proporcional a fluorescência emitida através pela dupla excitação da clorofila. Quando as plantas estão submetidas a algum tipo de estresses pode ocorrer aumento de produção e acúmulo de flavonóis.

3.2. Intensidade do verde da quarta folha

Não houve efeito de doses de sulfato de magnésio na intensidade do verde da quarta folha, aos 21 DAE que alcançou o valor médio de 4,65. A intensidade da coloração verde das folhas comumente tem sido avaliada como indicador indireto do estado de N das plantas, podendo ser avaliada por comparação com o verde da tabela de cor desenvolvida por Balasubramanian et al. (1999) para ser usada na cultura de arroz. Esse instrumento de análise é simples, de fácil manuseio, tem baixo custo (Moreira et al., 2011) e é uma técnica não destrutiva (Fonte & Araujo, 2007).

3.3. Bioindicadores: Comprimento, largura, diâmetro do pecíolo, número de folíolos, área, massas das matérias fresca e seca da quarta folha

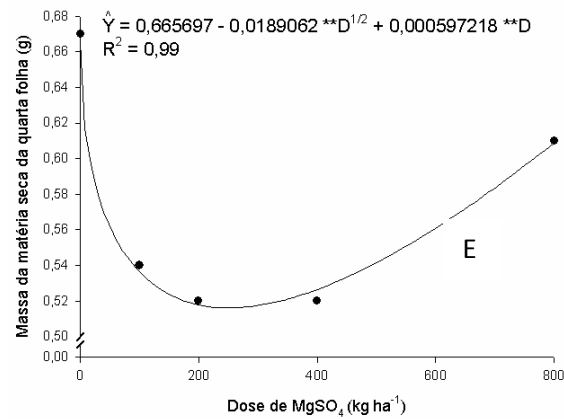
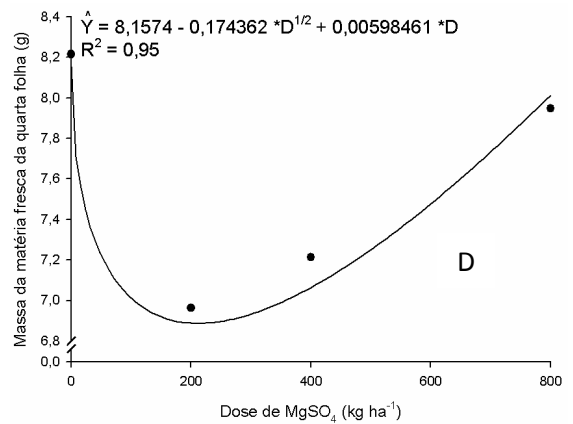
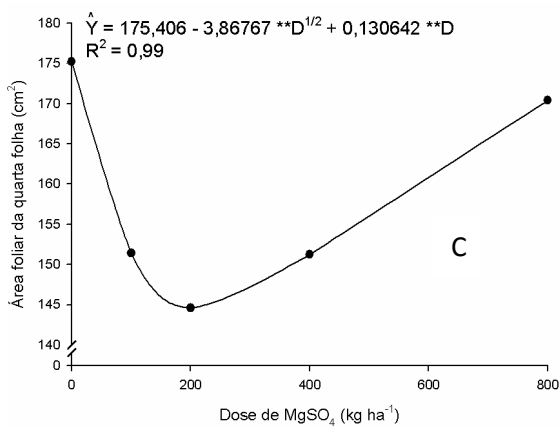
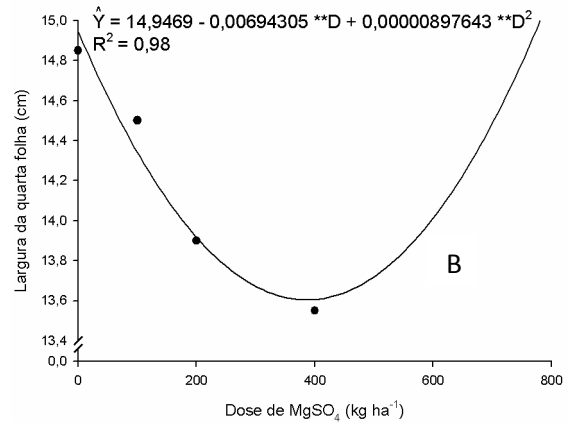
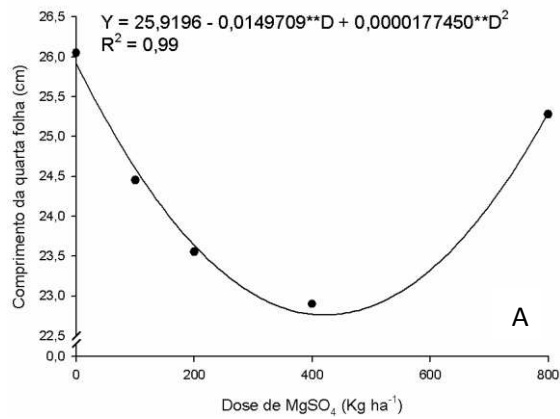
Houve efeito de doses de sulfato de magnésio nas variáveis comprimento (C), largura (L), área foliar (AF) e massa fresca (MF) e seca (MS) da quarta folha, aos 21 DAE. Os modelos que representam a relação de doses de sulfato de magnésio com as variáveis acima descritas estão representados na Tabela 2. A representação gráfica da relação onde houve efeito significativo de dose de sulfato de magnésio sobre essas variáveis encontra-se na Figura 3.

Não houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre o comprimento (C), largura (L), diâmetro (D), número de folíolos (NF), área foliar (AF) e massa fresca (MF) e seca (MS) aos 60 DAE. Os valores médios das variáveis encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Equações de regressão ajustadas para comprimento (C) , largura (L), diâmetro (D), número de folíolos (NF), área foliar (AF), massa fresca (MF) e massa seca (MS) da quarta folha aos 21 e 60 DAE, em função de doses de sulfato de magnésio (D) e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	R ²
21 DAE		
C	$\hat{Y} = 25,9196 - 0,0149709 **D + 0,0000177450 **D^2$	0,99
L	$\hat{Y} = 14,9469 - 0,00694305 **D + 0,00000897643 **D^2$	0,98
D	$\hat{Y} = 6,0275$	-
NF	$\hat{Y} = 7,55$	-
AF	$\hat{Y} = 175,406 - 3,86767 **D^{1/2} + 0,130642 **D$	0,99
MF	$\hat{Y} = 8,1574 - 0,174362 *D^{1/2} + 0,00598461 *D$	0,95
MS	$\hat{Y} = 0,665697 - 0,0189062 **D^{1/2} + 0,000597218 **D$	0,99
60 DAE		
C	$\hat{Y} = 25,89$	-
L	$\hat{Y} = 18,67$	-
D	$\hat{Y} = 5,5315$	-
NF	$\hat{Y} = 7,10$	-
AF	$\hat{Y} = 170,2615$	-
MF	$\hat{Y} = 9,47$	-
MS	$\hat{Y} = 0,7920$	-

** , * e *** - significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste "t", respectivamente.



** e * - significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste "t", respectivamente.

Figura 3 – Relação entre comprimento (A), largura (B), área foliar (C) e massas das matérias fresca (D) e seca (E) da quarta folha e doses de sulfato de magnésio, aos 21 dias após emergência.

Com as doses de 0 e 800 $kg\ ha^{-1}$ de sulfato de magnésio, houve diminuição significativa de aproximadamente 2, 3, 1,8 e 9,5% nos valores das variáveis

comprimento, área foliar, massas das matérias fresca e seca da quarta folha, respectivamente. Resultado inverso encontrado em relação a largura da quarta folha, com aumento significativo de aproximadamente 1%. As variáveis comprimento e largura da folha permitem o acompanhamento do crescimento e da expansão das folhas (Silva et al., 2008) e podem ser utilizadas para estimar a área foliar da batata Ágata (Jadoski et al., 2012). No presente trabalho, a maior área foliar da quarta folha aos 21 DAE foi 175,41 cm² ligeiramente menor do que a área de 184,68 cm² associada à dose ótima de nitrogênio obtida por Busato (2007).

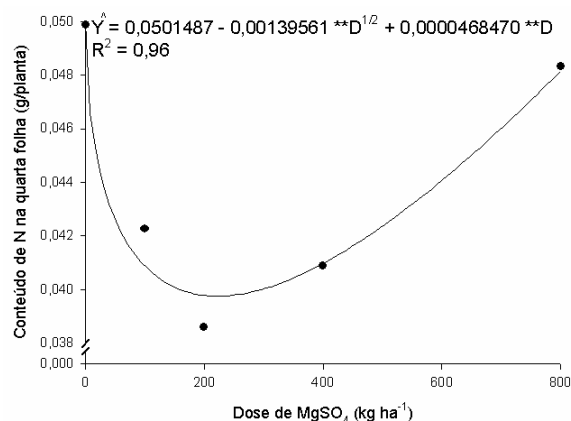
3.4. Teor e conteúdo de N na massa da matéria seca da quarta folha, aos 21 e 60 DAE

Houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre o conteúdo de nitrogênio na quarta folha (TNQF), aos 21 DAE. O modelo que representa essa relação está na Tabela 3. A representação gráfica da relação onde houve efeito significativo de doses de sulfato de magnésio encontra-se na Figura 4.

Tabela 3 – Equações de regressão ajustadas para o teor (TNQF) e conteúdo (CNQF) de nitrogênio na quarta folha, aos 21 DAE e aos 60 DAE, em função das doses de sulfato de magnésio (D) e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	R ²
21DAE		
TNQF	$\hat{Y} = 7,6914$	-
CNQF	$\hat{Y} = 0,0501487 - 0,00139561 **D^{1/2} + 0,0000468470 **D$	0,96
60 DAE		
TNQF	$\hat{Y} = 3,9172$	-
CNQF	$\hat{Y} = 0,0309$	-

** - significativos a 1% de probabilidade pelo teste “t”.



** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 4 – Relação entre o conteúdo de nitrogênio na quarta folha e doses de sulfato de magnésio, aos 21 dias após emergência.

Em solução nutritiva, onde foi marcante o efeito de doses de Mg sobre o crescimento da batata, mesmo assim, a concentração de N na massa da matéria seca de folha não foi influenciada por doses de Mg (Cao & Tibbitts, 1992).

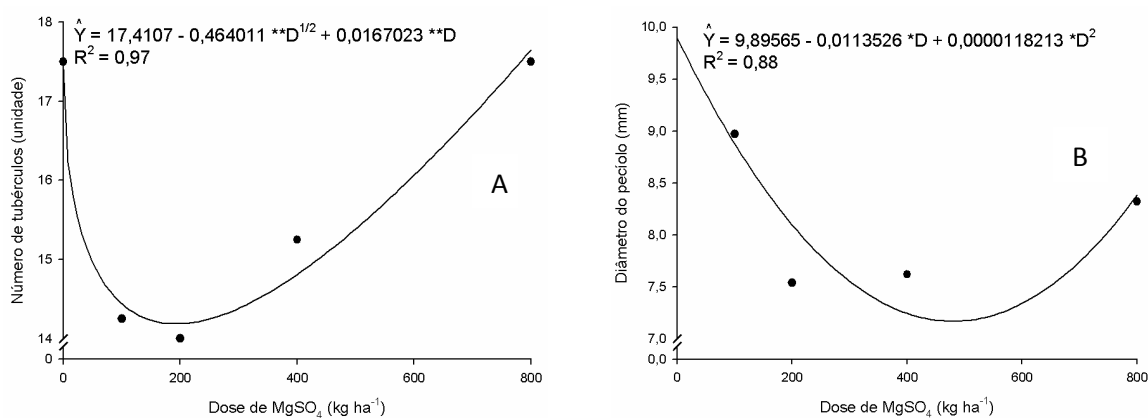
3.5. Número de hastes, folhas e tubérculos, comprimento e diâmetro da haste principal aos 21 e 60 DAE

Houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre número de tubérculos e diâmetro da haste principal, aos 21 DAE. Os modelos para a relação entre as doses de sulfato de magnésio e as variáveis citadas estão na Tabela 4. A representação gráfica da relação onde houve efeito significativo de doses de sulfato de magnésio encontra-se na Figura 5.

Tabela 4 – Equações de regressão ajustadas para número de folhas (NF), número de hastes (NH), número de tubérculos (NT), comprimento (C) e diâmetro (D) da haste principal por planta, aos 21 DAE e aos 60 DAE, em função de doses de sulfato de magnésio (D) e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	R ²
21 DAE		
NF	$\hat{Y} = 52,05$	-
NH	$\hat{Y} = 5,75$	-
NT	$\hat{Y} = 17,4107 - 0,464011 **D^{1/2} + 0,0167023 **D$	0,97
C	$\hat{Y} = 29,983$	-
D	$\hat{Y} = 9,89565 - 0,0113526 *D + 0,0000118213 *D^2$	0,88
60 DAE		
NF	$\hat{Y} = 37,65$	-
NH	$\hat{Y} = 5,25$	-
NT	$\hat{Y} = 14,45$	-
C	$\hat{Y} = 50,90$	-
D	$\hat{Y} = 8,888$	-

** e * - significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.



** e * - significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

Figura 5 – Relação entre o número de tubérculos (A) e diâmetro da haste principal (B) e doses de sulfato de magnésio, aos 21 dias após emergência.

Aos 21 DAE houve efeito significativo de dose de sulfato de magnésio sobre o número de tubérculos e diâmetro da haste. Com as doses 0 e 800 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio houve aumento significativo de 1,4% nos tubérculos e um decréscimo de 18% em relação ao diâmetro da haste.

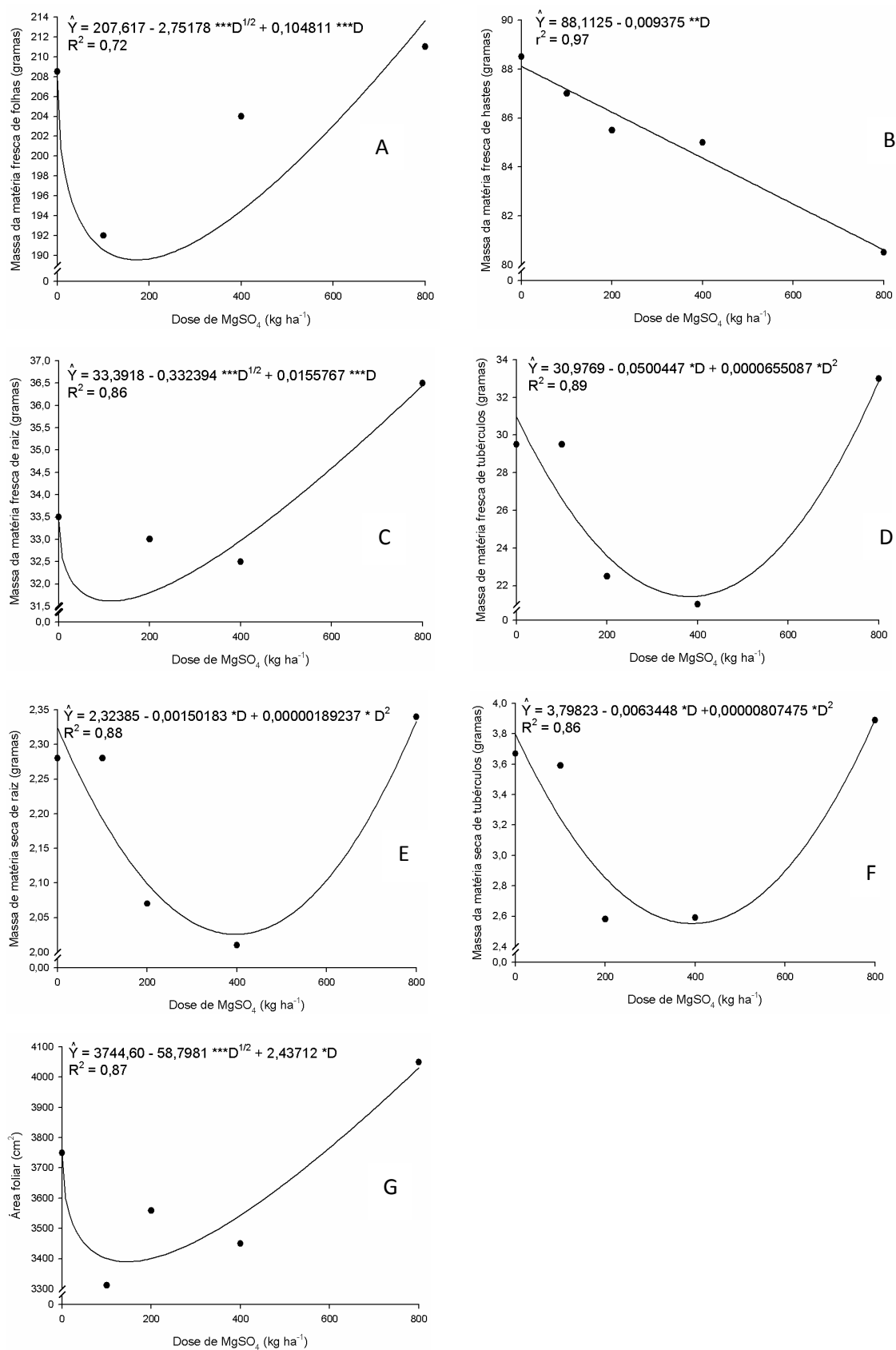
3.6. Massas das matérias fresca e seca de folhas, hastes, raízes, tubérculos e área foliar, aos 21 e 60 DAE

Houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre as variáveis: massas das matérias fresca de folhas (MFF), hastes (MFH), raízes (MFR), tubérculos (MFT), massas das matérias secas de raízes (MSR), tubérculos (MST) e área foliar (AF), aos 21 DAE. Os modelos que representam a relação de doses de sulfato de magnésio com as variáveis acima descritas estão representados na Tabela 5. A representação gráfica da relação onde houve efeito significativo de doses de sulfato de magnésio encontra-se na Figura 6.

Tabela 5 – Equações de regressão ajustadas para massas das matérias fresca de folhas, hastes, raízes e tubérculos (MFF, MFH, MFR, MFT, respectivamente), massas das matérias seca de folhas, haste, raízes, tubérculo (MSF, MSH, MSR e MST, respectivamente) e área foliar (AF) aos 21 DAE e aos 60 DAE, em função de doses de sulfato de magnésio (D) e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	R ² /r ²
21 DAE		
MFF	$\hat{Y} = 207,617 - 2,75178 \text{ ***}D^{1/2} + 0,104811 \text{ ***}D$	0,72
MFH	$\hat{Y} = 88,1125 - 0,009375 \text{ **}D$	0,97
MFR	$\hat{Y} = 33,3918 - 0,332394 \text{ ***}D^{1/2} + 0,0155767 \text{ ***}D$	0,86
MFT	$\hat{Y} = 30,9769 - 0,0500447 *D + 0,0000655087 *D^2$	0,89
MSF	$\hat{Y} = 6,741$	-
MSH	$\hat{Y} = 3,4430$	-
MSR	$\hat{Y} = 2,32385 - 0,00150183 *D + 0,00000189237 *D^2$	0,88
MST	$\hat{Y} = 3,79823 - 0,00634480 *D + 0,00000807475 *D^2$	0,86
AF	$\hat{Y} = 3744,60 - 58,7981 \text{ ***}D^{1/2} + 2,43712 *D$	0,87
60 DAE		
MFF	$\hat{Y} = 229,9$	-
MFH	$\hat{Y} = 112,7$	-
MFR	$\hat{Y} = 29,6$	-
MFT	$\hat{Y} = 738,75$	-
MSF	$\hat{Y} = 15,575$	-
MSH	$\hat{Y} = 6,1465$	-
MSR	$\hat{Y} = 2,8540$	-
MST	$\hat{Y} = 117,7$	-
AF	$\hat{Y} = 2223,024$	-

** , * e *** - significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.



** , * e *** - significativo a 1, 5 e 10 % de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

Figura 6 – Relação entre massas das matérias fresca de folhas (A), hastes (B), raízes (C), tubérculos (D), massas das matérias seca de raízes (E), tubérculos (F) e área foliar (G) e doses de sulfato de magnésio, aos 21 dias após emergência.

Aos 21 DAE houve aumento significativo das massas das matérias fresca e seca de raízes (9,2 e 0,4%) e tubérculos (6,1 e 2,4%), e de massa da matéria fresca de folhas (2,9%), com as doses de 0 e 800kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio. Em relação a massa da matéria fresca de hastes o efeito significativo resultou em decréscimo de 9,3% em relação as doses 0 e 800kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio. Também foi verificado efeito significativo na área foliar, com aumento de 7,7% em relação as doses 0 e 800kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio. Barroso (2013) não encontrou influência significativa em relação a doses de Mg ao avaliar as variáveis número de hastes, número de folhas, massas das matérias fresca e seca de haste, folhas e raízes, avaliadas aos 21 DAE em batata cultivadas em hidroponia.

Aos 60 DAE não houve efeito de doses de sulfato de magnésio nos índices e bioindicadores estudados, exceto para o índice SPAD e de clorofila. Esse resultado por ser explicado pelo fato de que as plantas já estavam em fase de senescência, translocando os nutrientes da parte aérea para os tubérculos, não sendo mais necessário desenvolver as partes vegetativas.

4. CONCLUSÃO

- Índices e bioindicadores do estado de nitrogênio da batata são diferentemente influenciados por doses de sulfato de magnésio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLISON, M.F.; FOWLER, J.H.; ALLEN, E.J. Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) **Journal of Agricultural Science**, v.137, p.397-409, 2001.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1179-1184, 2006.

BALASUBRAMANIAN, V.; MORALES, A. C.; CRUZ, R. T.; ABDULRACHMAN, S. On-farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen management technologies for rice system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 53, n. 1, p. 59-69, 1999.

BARROSO, F. L. **Influência do magnésio sobre o desenvolvimento, produtividade e índices nitrogenados da batata semente básica, cultivada em substrato orgânico e em hidroponia**. Universidade Federal de Viçosa. 2013. 66p. (Dissertação de Mestrado).

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 do nitrogênio. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 50-57, 2011.

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**. Universidade Federal de Viçosa. 2012. 223p. (Tese de Doutorado).

BRAUN, H.; COELHO, F. S.; CASTRO SILVA, M. C.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; BUSATO, C. Absorção, metabolismo e diagnóstico do estado de nitrogênio nas plantas de batata. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 3, p. 185-195, 2013.

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.; CECON, R. P.; SILVA, M. C. C.; COELHO, F. S. Valor de índices agronômicos da planta associado à dose adequada de nitrogênio pra produção de tubérculos de cultivares de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2, p. S4098-S4103, 2008.

CAO, W.; TIBBITTS, T.W. Growth, carbon dioxide exchange and mineral accumulations in potatoes grown at different magnesium concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, v.15, n.9, p.1359-1371, 1992.

CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, v.133, n.3, p.692–704, 2008.

COELHO, E. L.; FONTES, P. C. R. Índices agronômicos do meloeiro associados à dose adequada de nitrogênio, em ambiente protegido e no campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.5, p. 974-979, 2005.

COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; FINGER, F. L.; CECON, 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, 2012.

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 de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1175-1183, 2010.

FISCHER E. S.; BREMER E. Influence of magnesium deficiency on rates of leaf expansion, starch and sucrose accumulation, and net assimilation in *Phaseolus vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, v. 89, n.2, p. 271–276, 1993.

FISCHER E. S.; LOHAUS G.; HEINEKE D.; HELDT H. W. Magnesium deficiency results in accumulation of carbohydrates and amino acids in source and sink leaves of spinach. **Physiologia Plantarum**. v. 102, n. 1, p.16–20, 1998.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa. UFV. 2001. 122 p.

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. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa: Editora Arka. 2011. 296 p.

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

GERENDÁS, J.; FÜHRS, H. The significance of magnesium for crop quality. **Plant and Soil**, v. 368, n. 1-2, p. 101-128, 2013.

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 da 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.

GOULAS, Y.; CEROVIC, Z.G.; CARTELAT, A.; MOYA, I. Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence. **Applied Optics**, v. 43, n. 23, p.4488-4496, 2004.

HATFIELD, J. L.; GITELSON, A. A.; SCHEPERS, J. S.; WALTHALL, C. L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. **Agronomy Journal**, v. 100, n. Supplement_3, p. S117- S131, 2008.

HAWKESFORD, M.; HORST W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; SKRUMSAGER MOLLER, I.; WHITE, P. **Functions of macronutrients. In: Marschner P (ed) Mineral nutrition of higher plants**; 3rd ed. Elsevier Ltd., p. 135–189, 2012.

HERMANS, C.; BOURGIS, F.; FAUCHER, M.; STRASSER, R. J.; DELROT, S.; VERBRUGGEN, N. Magnesium deficiency in sugar beets alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves. **Planta**, v. 220, n. 4, p.541–549, 2005.

HERMANS C.; JOHNSON G. N.; STRASSER R. J.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterization of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. **Planta**, v. 220, n.2, p. 344–355, 2004.

HERMANS, C.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterization of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, v.56, n. 418, p. 2153–2161, 2005.

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

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis. Englewood cliffs**, Prentice Hall. 1958. 489 p.

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. Supl.1, p. 2545-2554, 2012.

KIYOSHI T.; SHON Y. G.; LEE S. H.; KIM H. Y.; MOON M. S.; LEE J. J. The response to oxidative stress induced by magnesium deficiency in kidney bean plants. **Journal of Plant Biology**, v. 42, n. 4, p. 294–298, 1999.

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

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980, 251p.

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

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Ed. Petra Marschner. Academic press, 2012.

MARSCHNER, H.; ÇAKMAK, I. High light intensity enhances chlorosis and necrosis in leaves of zinc, potassium, and magnesium deficient bean (*Phaseolus vulgaris*) Plants. **Journal Plant Physiology**, v.134, n. 3, p.308–315, 1989.

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

MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ARAÚJO, R. F. Índices para avaliar o estado de nitrogênio da batata multiplicada por distintos materiais propagativos. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 384-392, 2011.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. The Annual **Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 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.

RODRIGUES, M. A. Establishment of continuous critical levels for indices of plant and presidedress soil nitrogen status in the potato crop. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 13/14, p. 2067 – 2085, 2004.

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.

ROSSATO, O. B.; ANDRADE-SANCHEZ, P.; GUERRA, S. P. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Sensores de reflectância e fluorescência na avaliação de teores de nitrogênio, produção de biomassa e produtividade do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 8, p. 1133-1141, 2012.

SAEG **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SAMBORSKI, S.; KOZAK, M.; AZEVEDO, R. A. Does nitrogen uptake affect nitrogen uptake efficiency, or vice versa?. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 30, n. 4, p. 419-420, 2008.

SAWYER, R. L.; DALLYN S. L. Magnesium fertilization of potatoes on long island. **American potato journal**, v. 43, n. 7, p 149-152, 1966.

SHAUL, O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. **Biomaterials**. v. 15, n. 3, p. 309–323, 2002.

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, n. 1, p.17-22, 2009.

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.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 2004. 719 p.

VERBRUGGEN, N.; Hermans, C. Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. **Plant and Soil**, v. 368, n. 1-2, p. 87-99, 2013.

WALLACE, T. **The Diagnosis of Mineral Deficiencies in Plants by Visual Symptoms**. Published by His Majesty's Stationary Office. 1943.

WU, W.; PETERS, J.; BERKOWITZ, G. A. Surface charge-mediated effects of Mg^{2+} on K^+ flux across the chloroplast envelope are associated with regulation of stromal pH and photosynthesis. **Plant Physiology**, v.97, n.2, p.580-587, 1991.

YANG, G. H.; YANG, L. T.; JIANG, H. X.; LI, Y.; WANG, P.; CHEN, L. S. Physiological impacts of magnesium-deficiency in Citrus seedlings: photosynthesis, antioxidant system and carbohydrates. **Trees**, v. 26, n. 4, p.1237–1250, 2012.

YIN, X.; GOUDRIAAN, J.; LANTINGA, E. A.; VOS, J.; SPIERTZ, H. J. A flexible sigmoid function of determinate growth. **Annals of Botany**. v. 91, n. 3, p.361–371, 2003.

CAPÍTULO 2

Produtividade e comportamento pós-colheita de tubérculos de batata influenciados por doses de magnésio

1. INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a quarta cultura alimentar mais importante no mundo depois do arroz, trigo e milho. É fonte de proteína de alta qualidade, vitaminas, sais minerais e carboidratos (Pilon, 2011). No Brasil é cultivada em aproximadamente 130.000 ha que propiciaram a produção anual de tubérculos superior a três e meio milhões de toneladas (Agrianual, 2013). A possibilidade de plantio da batata em todos os meses do ano (safra da seca, das águas e inverno) se torna um diferencial do Brasil em relação a outros países produtores, sendo a Ágata uma das principais cultivares plantadas no país (Silva et al., 2009).

Em Minas Gerais, houve aumento expressivo da produtividade da batata no decorrer das últimas décadas, passando de 15 t ha⁻¹, na década de 1960, para 30,50t ha⁻¹, em 2011, superando a média nacional que foi 26,5 t ha⁻¹, no mesmo ano (Ribeiro et al., 2012). Diversos fatores contribuem para o incremento da produtividade de tubérculos de batata, dentre os quais, o fornecimento de adequada dose de magnésio (Sawyer & Dallyn, 1966; Alisson et al., 2001).

O papel do magnésio (Mg) na função celular é ainda pouco entendida (Maguire & Cowan, 2002; Romani, 2011), mas sabe-se que é essencial para as plantas sendo constituinte da clorofila, ativador de mais de 300 enzimas necessárias à fotossíntese, respiração e formação de DNA e RNA (Brown et al., 2012) e está envolvido na regulação do transporte iônico e balanço catiônico nas plantas (Vitti et al., 2006; Bose et al., 2011). Também, o Mg tem papel importante sobre o enchimento do floema, na partição tanto de carboidratos, principalmente a sacarose, quanto à de massa de matéria seca entre raiz e parte aérea e na fixação de CO₂.

Plantas mal supridas de Mg exibem reduzido sistema radicular e concomitante acúmulo de sacarose nas folhas sugerindo alguma redução no transporte de sacarose da parte aérea às raízes (Fisher et al., 1998; Hermans & Verbruggen, 2005; Ding et al., 2006; Cakmak & Kirkby, 2008). Alteração na concentração de Mg²⁺

tem consequência significativa para a produção de energia pela planta (Murphy, 2000). A maior parte do ATP celular é complexado ao Mg^{2+} e a maioria das ATPases usam o Mg-ATP. Ademais, o Mg^{2+} ativa diversas enzimas envolvidas na síntese e metabolismo de ácidos orgânicos de raízes, como malato, citrato, oxalato e piruvato (Bose et al., 2011).

Embora seja importante para o crescimento adequado, alta dose de Mg pode retardar o crescimento e interferir com processos metabólicos das plantas (Venkatesan & Jayaganesh, 2010). Não é comum encontrar trabalhos sobre efeito negativo da adição de magnésio sobre o desenvolvimento das plantas (Barroso, 2013). Talvez porque a dose de Mg adicionada ao solo ainda seja pequena. Em espécies que não a batata é relatado a redução da espessura da polpa e o diâmetro de frutos de melão (Costa et al., 2010); redução nos teores de determinados nutrientes (Ca, Mg, S, Fe e K) nas folhas de porta enxerto de citrus (Marini et al., 2005); redução na área foliar de feijão e soja (Boaro et al., 1996; Nascimento et al., 2009) e diminuição na produção de milho (Rheinheimer et al., 2005). O Mg, tanto em excesso quanto em falta, pode restringir a produtividade e a qualidade das culturas (Shaul, 2002).

Em solo com deficiência, o aumento na oferta de Mg tende a aumentar a qualidade das culturas particularmente quando a variável associada à qualidade é dependente da fotossíntese e da translocação de Mg na planta (Gerendas & Fuhrs, 2013). Mas, os autores concluem que dose de Mg além daquela exigida para a produção máxima raramente induz melhoria da qualidade do produto. A batata é uma das culturas mais sensíveis à deficiência de Mg (Bolton, 1977), o excesso de Mg pode reduzir o teor de K em folhas e tubérculos de batata, sem contudo afetar a produção (Laughlin et al., 1966). Em condição de campo, raramente, o Mg limita o perceptível crescimento da planta, mas há estudos mostrando aumento de produtividade de tubérculos com a adição de Mg em solos deficientes (Sawyer & Dallyn, 1966; Talukder et al., 2009).

Além da produtividade, a manutenção da qualidade pós-colheita dos tubérculos de batata é importante para toda a cadeia produtiva e para os consumidores. Características como o esverdeamento e brotação são indesejáveis nos tubérculos pós - colhidos. Após a colheita os tubérculos não brotam por estarem dormentes, sendo que além de determinantes genéticos, a dormência é estabelecida durante a

tuberização. Portanto, é possível conjecturar que os fatores que influenciam a disponibilidade de fotoassimilados para a tuberização, dentre os quais o estado de Mg da planta, também possam afetar a quebra da dormência e a consequente brotação além de influenciar no desenvolvimento da cor verde no tubérculo. Na comercialização, os tubérculos esverdeados ou brotados são rejeitados pelo mercado consumidor. Mesmo com a importância do Mg no metabolismo das plantas, é pouco comum encontrar trabalhos sobre a importância do Mg na qualidade de produtos agrícolas e hortícolas (Gerendás & Fuhrs, 2013).

Acredita-se ser oportuno indagar sobre a necessidade da adição de Mg ao solo para a cultura da batata, especialmente em solo ácido, agravado por marcada competição catiônica na solução do solo, particularmente de Al^{3+} e Mn^{2+} . Também, a deficiência de Mg^{2+} pode ser acentuada em solo onde venha ocorrendo a contínua retirada de Mg pelas sucessivas culturas e com a tradicional aplicação de nitrogênio à cultura da batata que contribuí para o decréscimo no teor de Mg no solo (Teina et al., 2014). Adicionalmente, mais atenção deve ser dada à adição de Mg ao solo principalmente após seguidos períodos de cultivo com as normais altas adições anuais de potássio. Nessa situação, há o deslocamento do Mg^{2+} dos sítios de troca causado pela adsorção preferencial do potássio conduzindo a maior disponibilidade e possibilidade de lixiviação do Mg^{2+} da solução solo.

No mundo, ao longo dos anos, tem havido relatos que a adição de Mg no solo tem efeitos positivos de pequena magnitude sobre a produção de batata (Sawer & Dallyn, 1966; Hossner & Doll, 1970; Rojas et al., 2006; Talukder et al., 2009). Uma maneira eficaz para manter o suficiente teor de Mg nas plantas, proporcional margem de lucro da cultura, minimizar a poluição ambiental e promover o crescimento e a produção de tubérculos de batata é aplicar dose adequada de Mg no solo.

Mas há limitado conhecimento sobre adequada dose de Mg a ser aplicada na cultura da batata. Com o presente trabalho objetiva-se determinar a dose adequada de magnésio associada à maior produtividade comercial de tubérculos além de verificar o efeito pós-colheita de doses crescentes de Mg sobre o esverdeamento e a brotação dos tubérculos de batata.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido na Horta Nova, área de pesquisa do departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), sendo realizado da mesma maneira como descrito no item 2.1 do Capítulo 1.

2.2. Características avaliadas

2.2.1. Índice de velocidade de emergência (IVE)

Após o plantio foi feita avaliação diária para determinar a porcentagem de emergência das plantas em cada parcela. Com os valores obtidos, foi calculado o índice de velocidade de emergência das plantas conforme metodologia proposta por Maguire (1962).

2.2.2. Classificação dos tubérculos

Quando a parte aérea das plantas estava totalmente seca, os tubérculos foram arrancados e deixados sobre o solo por duas horas para o secamento da película. Posteriormente foram levados para um galpão e separados em classes 1, 2, 3 e 4 de acordo com o maior diâmetro transversal (PORTARIA Nº 69, de 21/02/1995 do MARA). Tubérculo 1 (maior ou igual a 85 mm); 2 (maior ou igual a 45 e menor que 85 mm); 3 (maior ou igual a 33 e menor que 45 mm); 4 (menor que 33 mm). Os tubérculos das classes 2 e 3 foram classificados como comerciais, pois não houve a produção da classe 1. Tubérculos não-comerciais foram aqueles pertencentes à classe 4, além dos podres, atacados por pragas, com defeitos de esverdeamento, embonecamento ou rachaduras.

2.2.3. Massas das matérias fresca e seca dos tubérculos comerciais

Após a classificação os tubérculos foram contados, pesados (massa da matéria fresca) e levados para o laboratório onde foram cortados em pequenos pedaços, colocados em placas de Petri e deixados sobre uma mesa para a secagem parcial.

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada de ar, a 70°C até a obtenção de massa constante. Posteriormente, foram pesadas, para obtenção da massa da matéria seca.

2.2.4. Índice de esverdeamento

Foram selecionados seis tubérculos de cada tratamento, sendo lavados, para retirar a terra aderida na casca, apenas três deles. Nos tubérculos não lavados foi apenas retirado o excesso de terra. As amostras foram colocadas em bandeja de isopor, e expostas a luz provenientes de quatro lâmpadas fluorescentes de 60W cada uma e também à luz natural. A intensidade da luz foi medida com um luxímetro diariamente. A intensidade de esverdeamento foi avaliada aos 15 e 25 dias após a colheita.

Foram atribuídas notas para cada tubérculo usando uma escala visual, proposta por Filgueira (1979), sendo: 1 = esverdeamento intenso; 2 = esverdeamento acentuado. 3 = intensidade regular de esverdeamento; 4 = leve indício de esverdeamento; e 5 = ausência completa de esverdeamento.

2.2.5. Brotação dos tubérculos: número de gemas brotadas

Após o término das avaliações de esverdeamento, aos 60 e 90 dias após a colheita, foram contadas as gemas brotadas nos tubérculos lavados e não lavados.

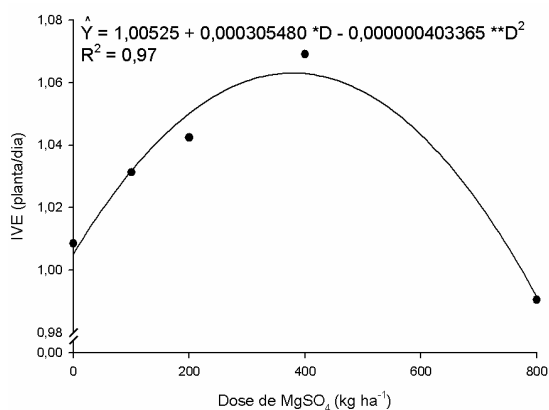
2.3. Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados por meio de análise de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” adotando-se o nível de até 10% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2 = \text{SQRegressão} / \text{SQTratamento}$) e no fenômeno em estudo. Utilizou-se os software Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1).

3. RESULTADOS

3.1. Índice de velocidade de emergência das plantas (IVE)

Houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre o índice de velocidade de emergência (IVE) das plantas. A equação de regressão ajustada e a representação gráfica da relação entre o IVE e doses de sulfato de magnésio encontram-se na Figura 1.



** e * - significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste "t", respectivamente.

Figura 1 – Relação entre índice de velocidade de emergência (IVE) e doses de sulfato de magnésio.

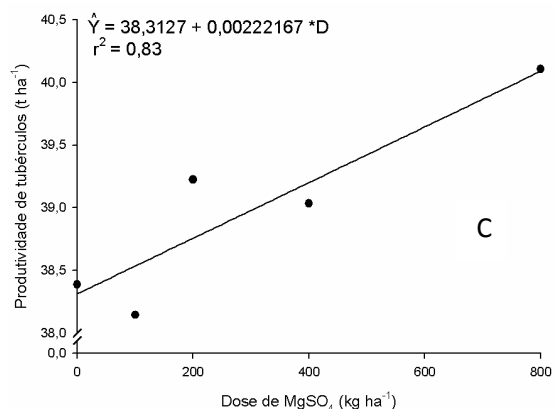
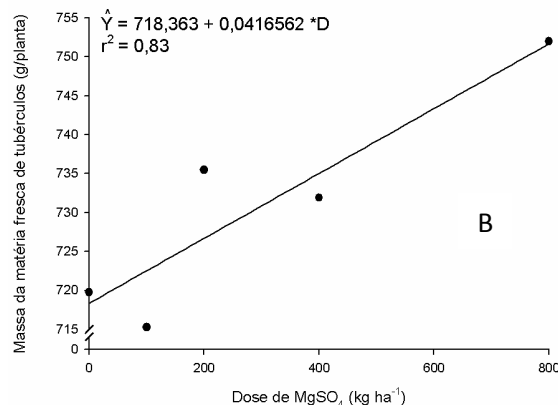
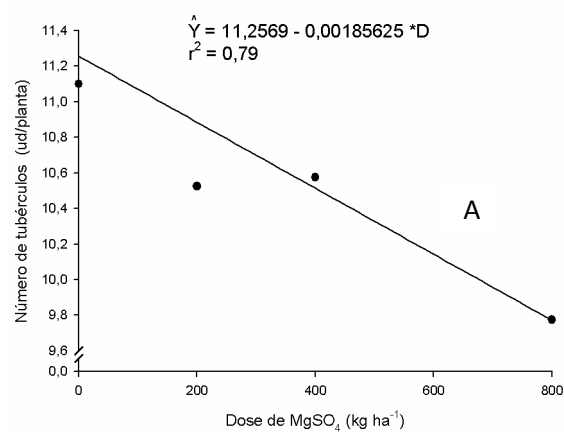
3.2. Número e massas das matérias fresca e seca de tubérculos comerciais

Não houve produção de tubérculos da classe 1, portanto a produção comercial refere-se aos tubérculos das classes 2 e 3. Houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre o número (NTC), massa da matéria fresca (MFTC) e produtividade (PTC) de tubérculos comerciais. O oposto foi verificado sobre a produção da massa da matéria seca de tubérculos comerciais (MSTC). Os modelos que representam a relação de doses de sulfato de magnésio com as variáveis descritas estão representados na Tabela 1. A representação gráfica de determinadas relações onde houve efeito significativo de dose de sulfato de magnésio encontra-se na Figura 2.

Tabela 1 – Equações de regressão ajustadas para número (NTC), massa da matéria fresca (MFTC), massa da matéria seca (MSTC) e produtividade de tubérculos comerciais (PTC), em função de doses de sulfato de magnésio (D) e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Unidade	Equações ajustadas	r ²
NTC	ud/planta	$\hat{Y} = 11,2569 - 0,00185625 *D$	0,79
MFTC	g/planta	$\hat{Y} = 718,363 + 0,0416562 *D$	0,83
MSTC	g/planta	$\hat{Y} = 114,0112$	-
PTC	t ha ⁻¹	$\hat{Y} = 38,3127 + 0,00222167 *D$	0,83

*- significativos a 5% de probabilidade pelo teste “t”.



* - significativos a 5 % de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 2 – Relação entre o número (A), massa da matéria fresca (B) e produtividade (C) de tubérculos comerciais e doses de sulfato de magnésio.

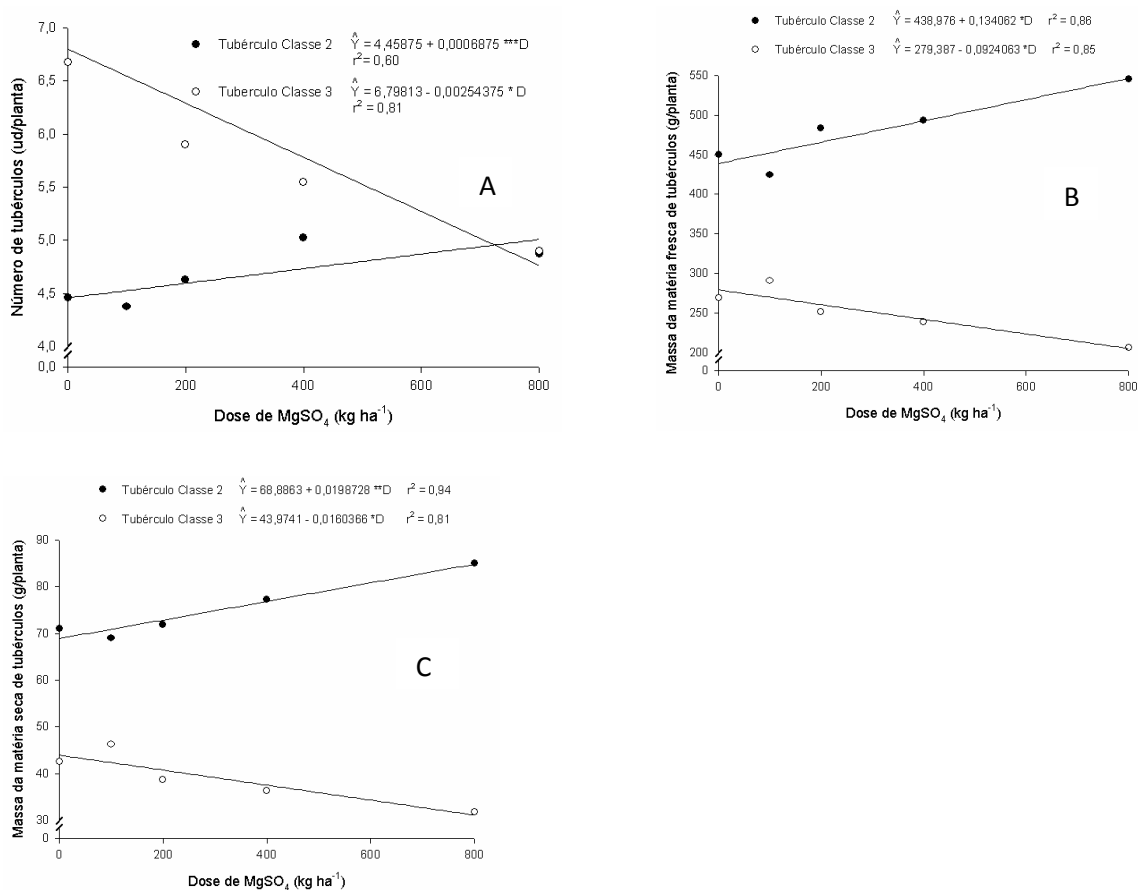
3.3. Número de tubérculos das classes 2 e 3 e correspondentes massas das matérias fresca e seca

Houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre o número de tubérculos das classes 2 (NTC2) e 3 (NTC3) e sobre as correspondentes massas das matérias fresca (MFT2, MFT3) e seca (MST2, MST3). Os modelos que representam a relação de doses de sulfato de magnésio com as variáveis descritas estão representados na Tabela 2. A representação gráfica de determinadas relações onde houve efeito significativo de dose de sulfato de magnésio encontra-se na Figura 3.

Tabela 2 – Equações de regressão ajustadas para número (NT2, NT3), massa da matéria fresca (MFT2, MFT3) e massa da matéria seca (MST2, MST3) dos tubérculos da classe 2 e classe 3, respectivamente, em função de doses de sulfato de magnésio (D) e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Unidade	Equações ajustadas	r ²
NT2	ud /planta	$\hat{Y} = 4,45875 + 0,0006875 \text{ ***D}$	0,60
NT3	ud /planta	$\hat{Y} = 6,79813 - 0,00254375 \text{ *D}$	0,81
MFT2	g /planta	$\hat{Y} = 438,976 + 0,134062 \text{ *D}$	0,86
MFT3	g /planta	$\hat{Y} = 279,387 - 0,0924063 \text{ *D}$	0,85
MST2	g /planta	$\hat{Y} = 68,8863 + 0,0198728 \text{ **D}$	0,94
MST3	g /planta	$\hat{Y} = 43,9741 - 0,0160366 \text{ *D}$	0,81

, * e * - significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste "t", respectivamente.



, * e * - significativos a 1, 5 e 10 % de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

Figura 3 – Relação entre o número (A), massas das matérias fresca (B) e seca (C) de tubérculos das classes 2 e 3 e doses de sulfato de magnésio.

3.4. Avaliação pós-colheita

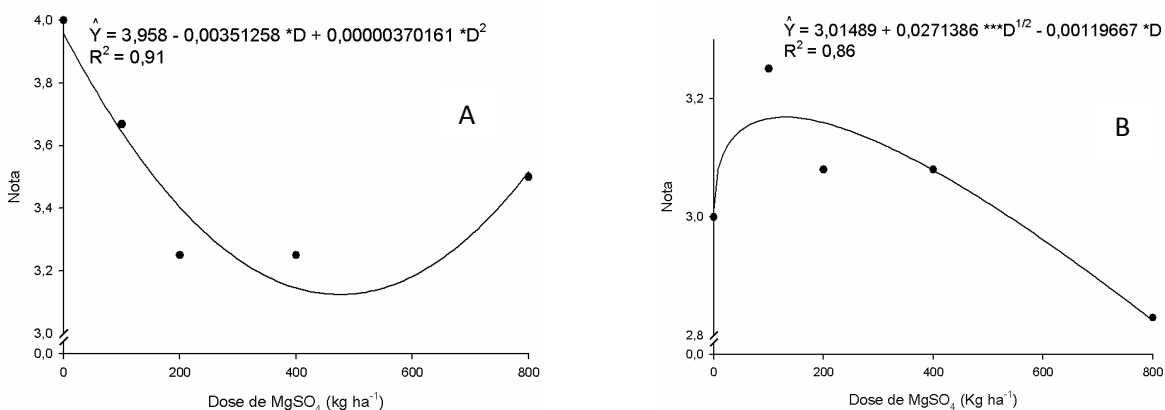
3.4.1. Esverdeamento pós-colheita de tubérculos lavados e não lavados

Após 15 dias de exposição à luz, houve efeito negativo de doses de sulfato de magnésio sobre o esverdeamento de tubérculos não lavados (ENL), mas não houve efeito sobre tubérculos lavados (EL). Resultado inverso foi verificado aos 25 dias de exposição à luz. Os modelos que representam a relação entre o esverdeamento de tubérculos lavados e não lavados com doses de sulfato de magnésio aos 15 e 25 dias de exposição à luz estão na Tabela 3. A representação gráfica das relações onde houve efeito significativo de dose de sulfato de magnésio sobre o esverdeamento de tubérculos encontra-se na Figura 4.

Tabela 3 – Equações de regressão ajustadas para esverdeamento de tubérculos não lavados (ENL) e esverdeamento de tubérculos lavados (EL) expostos 15 e 25 dias a luz artificial, em função das doses de sulfato de magnésio (D) e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	R ²
15 Dias		
ENL	$\hat{Y} = 3,958 - 0,00351258 *D + 0,00000370161 *D^2$	0,91
EL	$\hat{Y} = 3,45$	-
25 Dias		
ENL	$\hat{Y} = 3,73$	
EL	$\hat{Y} = 3,01489 + 0,0271386 ***D^{1/2} - 0,00119667 *D$	0,86

* e ***- significativos a 5 e 10% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.



* e *** - significativos a 5 e 10 % de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

Figura 4 – Relação entre a nota atribuída ao esverdeamento de tubérculos não lavados aos 15 dias (A) e lavados aos 25 dias (B) de exposição à luz artificial e doses de sulfato de magnésio

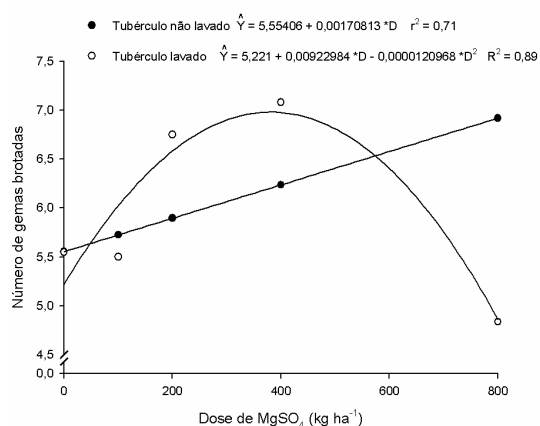
3.4.2. Brotação pós-colheita de tubérculos lavados e não lavados

Houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre o brotamento de tubérculos não lavados (BNL) e lavados (BL), após os períodos de 60 e 90 dias de exposição à luz artificial. Os modelos que representam a relação entre brotação de tubérculos lavados e não lavados e doses de sulfato de magnésio estão representados na Tabela 4 e ilustrado na Figura 5.

Tabela 4 – Equações de regressão ajustadas para a brotação de tubérculos não lavados (BNL) e tubérculos lavados (BL), aos 60 e 90 dias de exposição à luz artificial, em função das doses de sulfato de magnésio (D) e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Unidade	Equações ajustadas	R ² /r ²
60 dias			
BNL	ud/planta	$\hat{Y} = 5,55406 + 0,00170813 *D$	0,71
BL	ud/planta	$\hat{Y} = 5,221 + 0,00922984 *D - 0,0000120968 *D^2$	0,89
90 dias			
BNL	ud/planta	$\hat{Y} = 7,46387 + 0,0013987 **D$	0,91
BL	ud/planta	$\hat{Y} = 7,788 + 0,00121 ***D$	0,61

** , * e *** - significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.



* - significativos a 5 % de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 5 – Relação entre o número de gemas brotadas em tubérculos lavados e não lavados e doses de sulfato de magnésio, aos 60 dias após exposição.

4. DISCUSSÃO

Houve efeito de dose de sulfato de magnésio sobre o índice de velocidade de emergência (IVE) das plantas. No presente experimento, a dose de 378,66 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio resultou no maior IVE. Segundo Nunes (2004), quando a planta emerge mais rapidamente ela permanece menos tempo sob a superfície do solo, sendo menos susceptível a ataques de pragas e doenças. Por outro lado, é possível que menor sistema radicular seja desenvolvido, pois primeiramente a planta emite raízes e depois o caule. A interceptação da radiação solar é maior quanto maior for a área foliar da planta que é atingida mais rapidamente em condições de maior valor de IVE.

Com as doses de 0 e 800 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio houve atraso na velocidade de emergência das plantas, representado por menor valor de IVE. Esse fato coincide com maiores os valores dos índices fisiológicos ou bioindicadores na quarta folha, como comprimento, largura, área, massa fresca e massa seca, além de maior massa da matéria seca de raízes (Capítulo 1) talvez consequência de relativamente mais tempo para enraizar. Em doses intermediárias de sulfato de magnésio foram observados os maiores valores de IVE, ou seja, maiores taxas de emergência que podem ter refletido em menos tempo de desenvolvimento das raízes.

No presente experimento, seria possível conjecturar que o efeito do sulfato de magnésio seja efeito positivo dos íons Mg²⁺ e SO₄²⁻. Embora a resposta da cultura da batata ao enxofre (S) nem sempre seja evidente (Westennann, 2005), é possível observar aumento da produção de tubérculos com adição de 12 a 50 kg ha⁻¹ de S (Bari et al., 2001; Klikocka et al., 2005). Entretanto, no presente ensaio é adequado não considerar a contribuição de até 88 kg ha⁻¹ de S contidos na maior dose de sulfato de magnésio avaliada, pois todos os tratamentos receberam a dose uniforme de 180 kg ha⁻¹ de S, na forma dos 1800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples.

O número de tubérculos comerciais por planta sofreu efeito negativo e linear ao incremento de doses de sulfato de magnésio (Tabela 1). Com as doses de 0 e 800 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio houve aumento significativo de aproximadamente 12,36% no número de tubérculos da classe 2 e declínio de 29,98% no número de tubérculos da classe 3. Ou seja, com o incremento de doses de sulfato de magnésio foi observado aumento linear em relação ao número de tubérculos comerciais da

classe 2 e negativa em tubérculos da classe 3. O experimento não teve a produção de tubérculos da classe 1 e os tubérculos da classe 4 foram considerados não comerciais. Não houve incidência de coração oco nos tubérculos de ambas as classes. Fernandes et al. (2010) concluíram que número de tubérculos produzidos por planta não reflete em maior produtividade de tubérculos.

Houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre a massa da matéria fresca de tubérculos das classes 2 e 3. Considerando as doses de 0 e 800 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio, houve aumento significativo de aproximadamente 24,43% na massa da matéria fresca de tubérculos da classe 2. Em direção inversa, houve decréscimo de 26,46% na massa de matéria fresca de tubérculos da classe 3. Como resultante, houve aumento na massa da matéria fresca de tubérculos comerciais com o aumento de doses de sulfato de magnésio. Considerando as doses de 0 e 800 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio houve aumento de aproximadamente 107,25 g/planta na massa da matéria fresca de tubérculos da classe 2, e redução de aproximadamente 73,93 g/planta na massa da matéria fresca dos tubérculos da classe 3.

O aumento na massa da matéria seca de tubérculos da classe 2 seguiu a mesma tendência referente à produção de tubérculos dessa classe. Fato semelhante ocorreu em relação a tendência de declínio da massa da matéria seca de tubérculos da classe 3 e sua respectiva produção de tubérculos. Não houve efeito significativo de doses de sulfato de magnésio na massa da matéria seca de tubérculos comerciais.

A possível expectativa da maior dose de Mg ser excessiva para a produção comercial não se confirmou e não foi suficientemente elevada para provocar o decréscimo na massa de tubérculos comerciais. Uma das possíveis razões para a inexistência de sinais aparentes de toxicidade da dose de 800 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio poderia ser a capacidade tampão do solo e a eficiência de armazenamento vacuolar da planta para o Mg (Hawkesford et al., 2012). Ademais, a toxicidade Mg pode aparecer mais comumente em solos serpentinos com alta relação de magnésio:cálcio (Brady et al., 2005) e em regiões semiáridas onde a condição de estresse hídrico pode concentrar o pool metabólico de Mg, tornando-o estressante às plantas (Hawkesford et al., 2012). Nestes casos, com o desenvolvimento e ou a intensificação do estresse, processos importantes na planta,

como fotossíntese, sínteses de proteína e de clorofila e metabolismos energéticos e lipídicos são negativamente afetados de forma mais acentuada (Parida & Dasa, 2005).

Estudando doses de Mg em batata cultivada em hidroponia, Barroso (2013) observou que número, massa fresca e massa seca de tubérculos foram influenciados por doses crescentes de Mg^{2+} em solução, com ponto máximo de 5,84 ud/planta, 314,60 g e 53,37 g respectivamente. Moreira (2008), avaliando produção de batata semente básica em substrato com diferentes doses de sulfato de magnésio concluiu que houve aumento do número de tubérculos com incremento de doses, independente do material de propagação, broto ou mini-tubérculo, atingindo valores estimados de 3,4 e 9,8 ud/planta, respectivamente. Também, foi verificado pela autora que houve aumento das massas das matérias fresca e seca de tubérculos apenas quando foi utilizado broto como material de propagação.

Houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre a produtividade de tubérculos comerciais que atingiu o valor de 40,09 t ha⁻¹ com a dose de 800kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio, resultado superior ao encontrado por Fernandes et al. (2010) na “safra de inverno” e por Feltran & Lemos (2005) na “safra das águas” (37,27 kg ha⁻¹ e 28,60 kg ha⁻¹ de tubérculos totais, respectivamente) para mesma cultivar.

O presente experimento foi instalado em área experimental plana pouco susceptível à erosão, em Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico (Hapludult), com teor de 0,70 cmol_c dm⁻³ de Mg, considerado valor médio, pH de 5,30 e 2,69 dag kg⁻¹ de matéria orgânica. Segundo Doll & Thurlow (1965), a resposta das plantas de batata é aparente e esperada em solos arenosos, ácidos, pH em torno de 5,50 e que contenham menos do que 0,35 cmol_c dm⁻³ de Mg trocável. Em MG, de modo não específico para batata, o nível crítico de Mg trocável no solo é 0,90 cmol_c.dm⁻³ (Ribeiro et al., 1999). Para SP é recomendado fazer a calagem para elevar o teor de Mg no solo ao mínimo de 0,80 cmol_c dm⁻³ (Fernandes et al., 2011). Na Inglaterra, o nível crítico no solo é 26 mg.dm⁻³ ou 0,214 cmol_c.dm⁻³ de Mg (MAFF, 2000). Valor menor que 0,45 cmol_c.dm⁻³ é considerado abaixo do ótimo para os estados de Wisconsin e Oregon, nos USA (Kelling et al., 1999; Horneck et al., 2011). Mengel & Kirkby (2001) consideram o nível crítico como sendo 0,20 – 0,30 cmol_c dm⁻³ ou 4 % de Mg no complexo de troca (Mg trocável/CTC). Em Bangladesh, o nível crítico de

Mg no solo para batata é $0,49 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ (Talukder et al., 2009). Comumente, a concentração de Mg nos latossolos brasileiros varia de 0,2 a $3,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Vendrame et al., 2013). Para mais acertada interpretação dos resultados obtidos na análise de solo são necessários experimentos de calibração específicos para a cultura da batata visando a determinação de nível apropriado do Mg no solo. Isso ainda não está amplamente disponível, mas sabe-se que a eficiência do fertilizante magnésiano depende, pelo menos, da textura, pH e teor de matéria orgânica do solo (Staugaitis & Rutkauskiene, 2012).

Na Inglaterra, em oito experimentos, sendo seis com nível de Mg no solo acima do nível considerado crítico para a batata, não foi observado efeito significativo de dose de Mg sobre a produção de tubérculos comerciais (Allison et al., 2001). Mas, em todos os experimentos, exceto um, a testemunha apresentou menor produtividade absoluta do que os tratamentos onde as plantas foram adubadas com 45 ou 90 kg ha^{-1} de Mg, correspondente a 500 ou 1000 kg ha^{-1} de sulfato de magnésio, incorporados na camada de 5 cm superficial do solo. Em Long Island foi avaliado o efeito da aplicação de Mg em solo considerado deficiente nesse nutriente, $0,21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Sawer & Dallyn, 1966). Os autores observaram diferença na produção de tubérculos quando se comparou a testemunha (dose 0 de Mg) com os demais níveis (14, 28, 40 e 80 kg ha^{-1} de Mg), não havendo diferença significativa entre os níveis. Hossner & Doll (1970) mostraram que houve resposta da produtividade da batata ao Mg em solo arenoso somente quando o teor no solo foi abaixo de $0,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Acima deste valor, a produtividade não foi influenciada nem por nível de Mg e nem pela relação Mg/K. Também, a produtividade diminuiu quando o teor de Mg dos pecíolos, aos 42 dias, era inferior a $0,15 \text{ dag} \cdot \text{kg}^{-1}$. Na Colômbia, Rojas et al. (2006) encontraram 36 kg ha^{-1} de Mg como a dose mais apropriada para a cultura da batata. Em Bangladesh, em solo com $0,74 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg, ficou evidenciada a necessidade de aplicar 13 kg ha^{-1} de Mg que propiciaram aumento de 31% na produtividade de tubérculos de batata (Talukder et al., 2009). Os autores encontraram que acima deste valor houve redução na produtividade de tubérculos e na eficiência do uso de Mg que foi 512,25 kg de tubérculo por kg de Mg adicionado. No presente trabalho, a eficiência do uso de Mg foi 50,1 kg de tubérculo comercial por kg de Mg adicionado.

Houve incremento da produção de tubérculos comerciais na ordem de 1,777 t ha⁻¹ entre os tratamentos com as doses 0 e 800 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio. Considerando o custo de R\$ 28,00 o saco de 25 kg de sulfato de magnésio, o produtor terá um gasto extra de R\$ 896,00, com a utilização de 800 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio, sem considerar o custo de adição do mesmo. Considerando o preço médio de R\$ 1,80 kg de batata, haveria lucro de R\$ 2.302,00 ha⁻¹.

É um desafio relacionar o teor de Mg obtido pela análise do solo com a biodisponibilidade e a produção das plantas especialmente em situações limiares de deficiência / suficiência e como traduzir essa relação em estratégias de adubação. Mesmo assim, somando-se o teor de Mg originalmente existente no solo (0,700 cmol_c dm⁻³ de Mg ou 170 kg ha⁻¹ de Mg) com a dose que propiciou a maior produtividade comercial de tubérculos (72 kg ha⁻¹ de Mg ou 0,296 cmol_c dm⁻³) obtem-se o valor de 0,996 cmol_c dm⁻³ de Mg ou 242 kg ha⁻¹ de Mg ou 2.689 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio. Isto é, a resposta de produção comercial de tubérculos à doses de sulfato talvez pudesse sofrer inflexão neste ponto. Tal hipótese poderá ser avaliada em outros ensaios.

A produção de 40,09 t ha⁻¹ de tubérculos comerciais estava associada aos teores de 0,624; 0,459 e 0,413 dag kg⁻¹ de Mg na massa da matéria seca de folhas, hastes e raízes, respectivamente, determinados aos 21 DAE (Capítulo 3). Tais valores podem ser referenciais para a interpretação do estado de Mg na planta. Nesta data, o valor do teor de Mg na quarta folha foi de 0,904 dag kg⁻¹ sem contudo diferenciar-se do valor da testemunha não adubada com sulfato de magnésio. Situação inversa ocorreu aos 60 DAE com os teores de Mg nas folhas, hastes e quarta folha. Nesta data não houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre os valores das duas primeiras variáveis e apenas sobre o valor do teor de Mg na quarta folha que atingiu 1,64 dag kg⁻¹ com a dose de 800 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio.

O presente experimento foi realizado em período de temperatura amena, período de 17/06 a 23/09 de 2013, com a cultivar Ágata. Resultados diferentes dos obtidos no presente ensaio poderão ser alcançados em período mais quente do ano, na safra das águas, pois a deficiência de Mg aumenta a suscetibilidade de plantas ao estresse por calor, aumentando o dano celular oxidativo causado por espécies reativas de oxigênio – ROS (Mengutay et al., 2013). Ademais, quando a deficiência de Mg é combinada com o estresse por calor há redução acentuada no crescimento

de raízes, redução acentuada nas concentrações de carboidratos solúveis em folha nova, aumento substancial nas concentrações de carboidratos nas folhas fontes e aumento nas atividades de enzimas antioxidantes, como a ascorbato peroxidase, glutaciona redutase e superóxido dismutase. Normalmente, em período quente, há maior estresse por calor e maior evapotranspiração da cultura da batata com a possibilidade de haver mudanças na partição de assimilados na planta e redução na produção. Acima de 30 °C a eficiência do uso da radiação solar decresce linearmente com o aumento da temperatura podendo zerar a 35 °C (Franke et al., 2011) resultando em menor disponibilidade de carbono a qual regula a absorção de nutrientes pelas plantas (Thornley, 1998; Hermans et al., 2006). Entretanto, a nutrição adequada de magnésio pode reduzir os efeitos adversos do estresse por calor na cultura da batata como ocorrido em milho e trigo (Mengutay et al., 2013).

Após 15 dias de armazenamento, os tubérculos não lavados e oriundos dos tratamentos que receberam sulfato de magnésio tornaram-se mais verdes do que aqueles oriundos da testemunha, não adubada com Mg. Ainda aos 15 dias de armazenamento, não foi verificado o efeito do Mg sobre o esverdeamento dos tubérculos lavados. Após 25 dias de armazenamento, os efeitos dos tratamentos no esverdeamento foram iguais para os tubérculos não lavados. Por outro lado, os tubérculos lavados e oriundos do tratamento com a maior dose de Mg esverdearam mais intensamente do que aqueles tubérculos oriundos dos demais tratamentos. Assim, a adição da maior dose de sulfato de magnésio proporcionou tubérculos com maior intensidade de esverdeamento após períodos de armazenamento.

A lavagem de tubérculos para a comercialização é comum no Brasil, porém de acordo com Rasocha et al.(2006), esse procedimento pode causar diversos problemas aos tubérculos, inclusive esverdeamento. Por isso, a lavagem em época próxima a comercialização poderia minimizar o esverdeamento do produto (Braun, 2007).

A exposição de tubérculos de batata à luz fluorescente induz o esverdeamento dos mesmos de maneira tempo-dependente (Morales et al., 1988; Braun et al., 2009). Concomitantemente ao esverdeamento ocorrem as sínteses de glicoalcalóides e de clorofilas, vias rotas distintas e independentes (Maga & Fitzpatrick, 1980; Grunenfelder et al., 2006) sendo a concentração dos mesmos maior na epiderme do tubérculo verde do que no tubérculo inteiro. Os glicoalcalóides

são um grupo de compostos que podem ser prejudiciais a saúde humana (Gerendás & Führs, 2013).

Estudando o efeito de doses de N em relação a exposição à luz artificial de tubérculos lavados e não lavados, Braun (2007) concluiu que houve efeito significativo para a cultivar Ágata apenas para os tubérculos não lavados, aos 25 dias de exposição. Segundo esse autor, os tubérculos não lavados tem a proteção contra a incidência de luz devido ao resíduo de solo que fica aderido a casca, fato esse também comprovado nesse experimento. Moreira et al. (2011) concluíram que depois dos 15 dias de exposição algumas cultivares, inclusive a Ágata, apresentaram variação de cor facilmente perceptíveis. Fernandes et al. (2011) observaram que em 30 dias de exposição à luz, a cultivar Ágata apresentou aumento linear na diferença de cor da película. Singh et al. (2007) observaram que não houve efeito do esverdeamento na quebra da dormência, no crescimento do broto e na perda de peso de tubérculos de cultivares de batata.

A manutenção da qualidade pós-colheita dos tubérculos é importante para toda a cadeia produtiva e para os consumidores. Um dos fatores de perda da qualidade comercial é a brotação dos tubérculos. Dependendo de condições internas e externas, os tubérculos passam a brotar, inicialmente pela gema apical que se torna dominante inibindo o crescimento de outras gemas por determinado período de tempo. Bisognin et al. (2007) concluíram que após o início da brotação dos tubérculos de batata há aumento da porcentagem de tubérculos brotados, da respiração e da perda de massa fresca. É sabido que durante a brotação dos tubérculos de batata ocorre a remobilização de compostos, principalmente amido e proteínas, além da perda de água que causa a flacidez dos mesmos. Entretanto, os mecanismos moleculares que desencadeiam o início da brotação tubérculo ainda não são claros (Sonnewald & Sonnewald, 2014).

No presente experimento, houve efeito de doses de sulfato de magnésio no brotamento de tubérculos, expresso em número de brotos/tubérculo, não lavados e lavados quando foram expostos a 60 e 90 dias a luz artificial. Aos 60 dias, em tubérculos não lavados, o número de brotações foi linear crescente em função do aumento na dose de sulfato de magnésio, enquanto em tubérculos lavados foi observado maior número de brotações com a dose de 381,5 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio. Na segunda avaliação, realizada aos 90 dias, houve aumento linear na

brotação dos tubérculos lavados e não lavados, em função de doses de sulfato de magnésio.

Os brotos são caules subterrâneos formados nas extremidades dos estólons pelo encurtamento dos nós, que são as gemas com sucessiva deposição de assimilados, principalmente amido e proteínas. Durante esse processo, tuberização, cessa a atividade meristemática nas gemas, apicais e axilares, e os tubérculos não brotam, pois estão em dormência. Isto é, há ausência de crescimento visível do meristema (Lang et al., 1987). O período de dormência é controlado por fatores ambiental, fisiológico e hormonal, com a disponibilidade de sacarose sendo pré-requisito para o início do processo de quebra de dormência e desenvolvimento das gemas (Sonnewald & Sonnewald, 2014). Assim, a sacarose serve simultaneamente como nutriente e molécula sinalizadora. Uma vez que a competência fisiológica é alcançada, a brotação é também controlada pelo balanço de fitormônios. Após um período de tempo, a endodormência é perdida e os tubérculos ficam fisiologicamente aptos a brotarem (Sonnewald & Sonnewald, 2014).

Dependendo da finalidade do tubérculo há necessidade que o início da brotação seja mais precoce ou tardia. Em relação a comercialização, é interessante a brotação mais tardia, pois de acordo com Bisognin et al. (2008) o aumento no período de dormência resulta em retardamento do envelhecimento fisiológico e minimização das perdas quantitativas e qualitativas dos tubérculos, influenciando positivamente no armazenamento dos tubérculos refletindo no equilíbrio da oferta do produto no mercado. Quando o tubérculo é destinado ao plantio a precocidade do brotamento pode se tornar mais interessante.

5. CONCLUSÕES

- A maior produtividade comercial, 40 t ha⁻¹ de tubérculos de batata, é obtida com 800kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio.
- Aos 15 dias após a colheita, em tubérculos não lavados, a intensidade de esverdeamento é menor com a dose de 0 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio e aos 25 dias, em tubérculos lavados, com a dose estimada de 128,57 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio.

- Independentemente de lavar ou não os tubérculos, após 90 dias de armazenamento, há efeito linear crescente de doses de sulfato de magnésio sobre o número de gemas brotadas nos tubérculos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

AGRIANUAL 2013: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: **Informa Economics South**, 2013, 480p.

AITKEN, R. L.; DICKSON, T.; HAILES, K. J.; MOODY, P. W. Response of field-grown maize to applied magnesium in acidic soils in north-east Australia. **Australian Journal of Agricultural Research** v. 50, p. 191–198, 1999.

ALLISON, M.F.; FOWLER, J.H.; ALLEN, E.J. Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (*Solanum tuberosum*). **Journal of Agricultural Science**, v.137, p.397-409, 2001.

ANDREU, M. A.; PEREIRA, A. S. Estimación da qualidade industrial da batata (*Solanum tuberosum* L.) através do uso da isoenzima glutamato oxaloacetato transaminase. **Revista de Investigaciones Agropecuárias**, v.33, p.5-14, 2004.

BARI, M.S.; RABBANI, M.G.; RAHMAN, M.S.; ISLAM, M.J.; HOQUE, T.M.R. Effect of zinc, boron, sulphur and magnesium on the growth and yield of potato. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.4, n.9, p.1090-1093, 2001.

BARROSO, F. L. **Influência do magnésio sobre o desenvolvimento, produtividade e índices nitrogenados da batata semente básica, cultivada em substrato orgânico e em hidroponia**. Viçosa-MG: UFV. 2013. 66p. (Dissertação de Mestrado).

BISOGNIN, D. A.; BENEDETTI, M.; SEGATTO, F. B.; COSTA, L. C.; RITTER, C. E. L.; BRACKMANN, A. Efeito do CO₂ e etileno no período de dormência de minitubérculos de batata cv. Macaca. **Horticultura Brasileira**, v.25, n. 2, p. 138-142, 2007.

BRADY, K. U.; KRUCKEBERG, A. R.; BRADSHAW, H. Evolutionary ecology of plant adaptation to serpentine soils. **Annual Review Ecology Evolution and Systematics**, v. 36, p.243–266, 2005.

BRAUN, H. **Qualidade pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata influenciada por doses de nitrogênio**. Viçosa – MG. UFV. 2007. 223p. (Dissertação de Mestrado).

BRAUN, H.; FONTES, P. C. R.; SILVA, M. C. C. S.; COELHO, F. S. Nutrição: nitrogênio e glicoalcalóides em tubérculos de batata. **Batata Show**, v.23, 2009.

BOARO, C. S. F.; RODRIGUES, J. D.; PEDRAS, J. F.; RODRIGUES, S. D.; DELACHIAVE, M. E.; MISCHAN, M. M. Níveis de magnésio em solução nutritiva e o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv Carioca): Avaliação de parâmetros biométricos. **Scientia Agricola**, v.53, n. 2, p.54-60, 1996.

BOLTON, J. Liming effects on the response of potatoes and oats to phosphorus, potassium and magnesium fertilizers. **The Journal of Agricultural Science**, v. 89, n. 1, p. 87-93, 1977.

BOSE, J.; BABOURINA, O.; RENGEL, Z. Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. **Journal of Experimental Botany**, v 62, n.7. p. 2251 – 2264, 2011.

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J. Eats roots and leaves. Can edible horticultural crops address dietary calcium, magnesium and potassium deficiencies? **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 69, n. 4, p. 601–612, 2010.

BROWN, C.R.; HAYNES, K.G.; MOORE, M.; PAVEK, M.J.; HANE, D.C.; LOVE, S.L.; NOVY, R.G.; MILLER JR., J.C. Stability and broad-sense heritability of mineral content in potato: Calcium and magnesium. **American Journal Potato Research**, v. 9, n.4, p. 255–261, 2012.

CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H. Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium and magnesium deficiency in bean plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, n.9, p.1251–1257, 1994.

CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, v.133, n.3, p.692–704, 2008.

COSTA, S. A. D.; QUEIROGA, F. M.; PEREIRA, F. H. F.; MARACAJÁ, P. B.; SOUSA, A. L. Efeito de doses de magnésio na produção e qualidade de frutos de melão. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.5, n.4, p.118-123, 2010.

DANIELS, J.; PEREIRA, A. S.; FORTES, G. R. L. Verticalização da produção da batata-semente por produtores de agricultura familiar no Rio Grande do Sul. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 4p. 2000 (Comunicado Técnico).

DING, Y.; LUO, W.; XU, G. Characterization of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. **Annals of Applied Biology**, v. 149, n. 2, p. 111-123, 2006.

DOLL, E. C.; THURLOW, D. L. **Soil management and fertilization for potatoes grown on mineral soils**. East Lansing: Michigan State University. 1965. 6p.

EVANGELISTA, R. M.; NARDIN, I.; FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Qualidade nutricional e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 8, p. 953-960, 2011.

FELTRAN, J.C.; LEMOS, L.B. Características agronômicas e distúrbios fisiológicos em cultivares de batata. **Científica**, v.33, p.106-113, 2005.

FELTRAN, J.C.; LEMOS, L. B.; VIEITES, R. L. Technological quality and utilization of potato tubers. **Scientia Agricola**. v.61, n. 6, p.593–597, 2004.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; EVANGELISTA, R. M.; SILVA, B. L.; SOUZA SCHLICK, G. D. Produtividade e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata produzidos na safra de inverno. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 502-508, 2011.

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.

FILGUEIRA, F. A. R. Esverdeamento em cultivares européias e brasileiras de batatas expostas à luz natural indireta. Goiânia: **EMGOPA**, 1979. 6 p. (Comunicado Técnico, 23).

FINGER, L. F.; FONTES, P. C. R. Manejo pós-colheita da batata. **Informe Agropecuário**, v.20, n.197, p. 105-111, 1999.

FISCHER, E. S.; LOHAUS, G.; HEINEKE, D.; HELDT, H.W. Magnesium deficiency results in accumulation of carbohydrates and amino acids in source and sink leaves of spinach. **Physiologia Plantarum**, v. 102, n. 1, p. 16-20, 1998.

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

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

FRANKE, A. C.; STEYN, J. M.; RANGER, K. S.; HAVERKORT, A. J. Developing environmental principles, criteria, indicators and norms for potato production through field surveys and modelling. **Agricultural Systems**, v. 104, p. 297–306, 2011.

GERENDÁS, J.; FÜHRS, H. The significance of magnesium for crop quality. **Plant and Soil**, v. 368, n. 1-2, p. 101-128, 2013.

GRUNENFELDER, L.; HILLER, L. K.; KNOWLES, N. R. Color indices for the assessment of chlorophyll development and greening of fresh market potatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v.40, p.73-81, 2006.

GUGALA, M.; ZARZECKA, K.; IWONA, M. Potato tuber content of magnesium and calcium depending on weed control methods. **Journal of Elementology**, v.17, n.2, p. 247-254, 2012.

GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M.; MINAMI, K. Métodos de produção de mudas, distribuição de matéria seca e produtividade de plantas de beterraba. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, p. 505-509, 2002.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; SKRUMSAGER MOLLER, I.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: Marschner P (ed) **Mineral nutrition of higher plants**; 3rd ed. Elsevier Ltd., p. 135–189, 2012.

HERMAN, C.; HAMMOND, J. P.; WHITE, P. J.; VERBRUGGEN, N. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? **Trends in Plant Science** v.11, n.12, p.610- 617, 2006.

HERMANS, C.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterization of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, v.56, n. 418, p. 2153–2161, 2005.

HOSSNER, L.R.; DOLL, E.C. Magnesium fertilization of potatoes as related to liming and potassium. **Soil Science Society American Journal**, v.31, n.5, p.772-774, 1970.

HORNECK, D. A.; SULLIVAN, D. M.; OWEN, J. S.; HART, J. M. **Soil test interpretation guide**. Oregon State University. EC 1478. 2011. 12 p.

HUBER, D. M. Fertilizers and soil-borne diseases. **Soil Use and Management**, v. 6, n.4, p. 168-172, 1990.

KELLING, K. A.; BUNDY, L. G.; COMBO, S. M.; PETERS, J. B. **Optimum soil test for Wisconsin**. University of Wisconsin. 8p. 1999.

KLIKOČKA, H.; HANEKLAUS, S.; BLOEM, E.; SCHNUG, E. Influence of sulfur fertilization on infection of potato tubers with *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, n. 5, p. 819-833, 2005.

LANG, G. A. Dormancy: a new universal terminology. **HortScience**, v.22, n. 5, p. 817-820, 1987.

LAUGHLIN, W.M. Effect of soil applications of potassium, magnesium sulfate and magnesium sulfate spray on potato yield, composition and nutrient uptake. **American Potato Journal**, v.43, n.11, p. 403-411, 1966.

MAFF. **MINISTRY OF AGRICULTURE, FISHERIES AND FOOD**. Organic foods. Food Safety Information Bulletin, 1998.

MAGA, J. A.; FITZPATRICK, T. J. Potato glycoalkaloids. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 12, n. 4, p. 371-405, 1980.

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

MAGUIRE, M. E.; COWAN, J. A. Magnesium chemistry and biochemistry. **Biometals**, v.15, n.3, p. 203–210, 2002.

MAIER, N. A.; MCLAUGHLIN, M. J.; HEAP, M.; BUTT, M.; SMART, M. K.; WILLIAMS, C. M. J. Effect of current-season application of calcitic lime on soil pH, yield and cadmium concentration in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 47, n. 1, p. 29-40, 1997.

MARINI, F. S.; MARINHO, C. S.; MUNIZ, R. A.; CARVALHO, A. J. C.; MONNERAT, P. H. Doses de sulfato de magnésio em substrato orgânico sobre o crescimento e nutrição de porta-enxertos cítricos. **Laranja**, v.26, n.1, p.135-149, 2005.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p

MENGUTAY, M.; CEYLAN, Y.; KUTMAN, U.B.; ÇAKMAK, I. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. **Plant and Soil**, v.368, n.1-2, p.57-72, 2013.

MORALES, W. R. J.; ARAUJO, J. M. A.; FONTES, P. C. R. Efeito do armazenamento, da luz e da fritura nos glicoalcalóides de batata. **Horticultura Brasileira**, v.6, n.1, p.6-8, 1988.

MOREIRA, M. A. **Características da planta e produção de batata semente básica em substrato com diferentes materiais de propagação**. Departamento de Fitotecnia, UFV, Viçosa, 174p. 2008. (Tese de doutorado).

MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ARAÚJO, R. F. Índices para avaliar o estado de nitrogênio da batata multiplicada por distintos materiais propagativos. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 384-392, 2011.

MURPHY, E. Mysteries of magnesium homeostasis. **Circulation Research**, v.86, n.3, p.245–248, 2000.

NASCIMENTO, R.; DEUNER, S.; FERREIRA, L. S.; BADINELLI, P. G.; KERBER, R. S. Crescimento e teores de clorofila e carotenoides em três cultivares de soja em função da adubação com magnésio. **Revista Ceres**, v.56, n. 3, p.364-369, 2009.

NUNES, J. C. S. **Sistema de preparo do solo para plantio manual e mecanizado da batateira irrigada por aspersão e gotejamento**. Viçosa: UFV, 120p. 2004. (tese de doutorado).

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.

OLIVEIRA, V. R. de; ANDRIOLO, J. L.; BISO GNIN, D. A.; PAULA, A. L. de; TREVISAN, A. P.; ANTES, R. B. Qualidade de processamento de tubérculos de batata produzidos sob diferentes disponibilidades de nitrogênio. **Ciência Rural**, v.36, p.660-663, 2006.

PARIDA, A. K.; DASA, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, n.3, p.324-349, 2005.

PEREIRA, A. S.; FRITSCH NETO, R.; SILVA R. S.; BENDER, C. I.; SCHÜNEMANN, A. P.; FERRI, N. M.; VENDRUSCOLO, J. L.. Genótipos de batata com baixo teor de açúcares redutores. **Horticultura Brasileira**. v.25, n. 2, p.220-223, 2007.

PETERSON, L.R.; BARKER, G.W.; HOWARTH, M.J. Development and structure of tubers. **Potato Physiology**, p.123-152, 1985.

PILON, C. **Aplicação de silício solúvel via solo e foliar na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) sob deficiência hídrica**. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, São Paulo. 2011. (Dissertação de mestrado em Agronomia).

PORTELA, E.; LOUZADA, J. Deficiências de magnésio em solos e culturas do Norte de Portugal. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 30, n. 2, p. 67-86, 2007.

RASOCHA, V.; HAUSVATER, E.; DOLEZAL, P. Evaluation of characteristics affecting the market value of table potatoes after washing. **Plant Soil Environment**, v.52, n.6, p. 245–249, 2006.

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

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

RIBEIRO, J. D. R.; RIBEIRO, G. H. M. R.; PINTO, C. A. B. P. Evolução e desafios da bataticultura em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 33, n. 270, p. 7-13, 2012.

ROJAS, L. A.; GÓMEZ, C.; VILLANEDA, E. Effect of sources and doses of magnesium on two varieties of potato in highland soils of colombia. In: **The 18th World Congress of Soil Science**. 2006.

ROMANI, A. M. Cellular magnesium homeostasis. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.512, n.1, p.1-23, 2011.

SAEG **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SAWYER, R. L.; DALLYN, S. L. Magnesium fertilization of potatoes on Long Island. **American Potato Journal**, v. 43, n. 7, p. 249-252, 1966.

SHAUL, O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. **Biometals**, v.15, n. 3, p. 307–321, 2002.

SILVA, A. C. F. Batata: alguns aspectos importantes. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.4, n.4, p.38-41, 1991.

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**, v.68, p.295- 302, 2009.

SINGH, B.; EZEKIEL, R.; MEHTA, A. Effect of post-harvest greening on sprouting behaviour of potato tubers under controlled conditions. **Potato Journal**, v.34, n.1-2, p.67-68, 2007.

SONNEWALD, S.; SONNEWALD, U. Regulation of potato tuber sprouting. **Planta**, v.239, p.27-38, 2014.

STAUGAITIS, G.; RUTKAUSKIENE, R. Effect of magnesium fertiliser on Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) in different types of soil with different carbonate content levels. **Agriculture (Zemdirbyste)**, v.99, n.4, p.347–355, 2012.

TALUKDER, M. M. R.; WU, J. C.; LAU, S. K.; CUI, L. C.; SHIMIN, G.; LIM, A. Comparison of Novozym 435 and Amberlyst 15 as heterogeneous catalyst for production of biodiesel from palm fatty acid distillate. **Energy Fuels**, v. 23, n. 1, p. 1–4, 2009.

TEINA, B.; KAUERA, K.; EREMEEVA, V.; LUIKB, A.; SELGEA, A.; LOITA, E. Farming systems affect potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber and soil quality. **Field Crops Research**, v.156, n.1, p.1–11, 2014.

THORNLEY, J. H. M. Modelling shoot: root relations: the only way forward? **Annals of Botany**, v.81, p.165-171, 1998.

VENDRAME, P. R. S.; BRITO, O. R.; MARTINS, E. S.; QUANTIN, C.; GUIMARÃES, M. F.; BECQUER, T. Acidity control in Latosols under long-term pastures in the Cerrado region, Brazil. **Soil Research**, v. 51, p. 253–261, 2013.

VENKATESAN, S.; JAYAGANESH, S. Characterisation of magnesium toxicity, its influence on amino acid synthesis pathway and biochemical parameters of tea. **Research Journal of Phytochemistry**, v.4, n. 2, p. 67–77, 2010.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. **Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 299-325, 2006.

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

WILKINSON, S. R.; WELCH, R. M.; MAYLAND, H. F.; GRUNES, D. L. Magnesium in plants: Uptake, distribution, function, and utilization by man and animals. **Metal Ions in Biological Systems**, v. 26, p. 33–56, 1990.

CAPÍTULO 3

Biofortificação de tubérculos de batata com magnésio

1. INTRODUÇÃO

Recentemente tem havido crescente preocupação não somente com a produtividade, mas também com a qualidade dos alimentos incluindo-se a composição mineral dos mesmos ou ionoma (Broadley & White, 2010; Rosanoff, 2012; Reid et al., 2013), resultante dos processos de absorção, translocação e acúmulo iônico. Tais processos são essenciais para o crescimento das plantas e conseqüentemente para a nutrição e saúde humana e também para a fortificação das plantas (Guerinot & Salt, 2001).

O deliberado aumento da concentração mineral da planta (ionoma) durante o crescimento tem sido chamado de biofortificação (White & Broadley, 2005). Este processo visa aumentar a disponibilidade de elementos essenciais na parte comestível das culturas, seja por métodos agrônômico ou genético (Hirschi, 2009). O termo ionoma foi introduzido na literatura para estender o existente termo anterior metaloma com o objetivo de incluir todos os nutrientes minerais encontrados nos organismos (Lahner et al., 2003).

Há tempos, o ionoma das plantas tem sido avaliado, mas a idéia de fortificar os alimentos em pré-colheita com os nutrientes essenciais para uma dieta saudável é relativamente nova (Grusak & DellaPenna, 1999) e é uma área desafiadora em nutrição mineral. A biofortificação de plantas com magnésio está ganhando cada vez mais atenção como uma alternativa para a suplementação humana (White & Broadley, 2009; Grzebisz, 2011).

O magnésio (Mg) é o segundo mais abundante cátion intracelular e o quarto elemento mais abundante no corpo humano (Swaminathan, 2003) sendo importante principalmente na função de transmitir os impulsos nervosos e regularizar as contrações musculares. O magnésio ativa mais de 75 % das enzimas do corpo, é co-fator de mais de 300 reações enzimáticas além de ser requerido para a formação, transferência, armazenamento e utilização de ATP (Saito & Nishiyama, 2005).

O magnésio continua a ser um elemento desconsiderado tanto na nutrição humana quanto na nutrição mineral das culturas, um paradoxo tendo em vista as funções essenciais que o mesmo desempenha nas células de todos os organismos (Hermans et al., 2013). Segundo esses autores, a carência do Mg ou hipomagnesemia pode acarretar sintomas como tremor, insônia, câimbras, inquietação, arritmia, ataque cardíaco, disfunção muscular, diabetes tipo 2, estresse inflamatório, enxaqueca e transtorno do déficit de atenção. O distúrbio eletrolítico devido à deficiência de Mg pode afetar todos os órgãos e acredita-se que a incidência de hipomagnesemia atinja até 15% da população podendo aumentar consideravelmente em pacientes hospitalares.

No início do século 21, a saúde humana tem sido ameaçada por doenças e sintomas possivelmente relacionadas a insuficiente absorção de magnésio (Grzbisz, 2011). Esse autor comenta que os vegetais estão com a concentração de Mg cerca de 24% menor do que há 50 anos devido ao chamado efeito da diluição induzida pelo decréscimo do mineral no solo, principalmente em áreas de produção intensiva. Adicionalmente, o autor salienta que pelo mais intenso e rápido crescimento das espécies estudadas, a concentração de Mg nas plantas tem decrescido ao longo do tempo, no denominado efeito da diluição genética.

Ainda assim, a principal fonte de Mg para os seres humanos são os produtos de origem vegetal (Karley & White, 2009) sendo a concentração de Mg na parte aérea seca das plantas variável de 0,01 a 0,10 dag kg⁻¹ (Broadley et al., 2004). A maior parte do Mg (75%) está associada às proteínas, 15 a 20 % associado às clorofilas (Wilkinson et al., 1990) e o restante armazenado, principalmente, nos vacúolos (Karley & White, 2009). Os tubérculos de batata podem ser considerados fonte de Mg onde a concentração na porção comestível varia de 15 a 50 mg 100g⁻¹ (Nepa, 2011; Grzebisz, 2011). Uma porção de 100g de tubérculo de batata proporcionaria cerca de 5 a 10% da quantidade diária recomendada de Mg a um adulto do sexo masculino (Brown et al., 2012).

Nas plantas, uma das funções do Mg é ser constituinte da molécula de clorofila, tendo papel fundamental no transporte de carboidratos (Marschner, 2012). O mineral, na solução do solo, entra nas células das raízes via canais catiônicos permeáveis ao Mg e via proteínas transportadoras que provêm o influxo do Mg na membrana plasmática (Shaul, 2002). Da solução do solo é transportado pelos vasos

do xilema para a biomassa aérea pelo movimento de transpiração da água. O Mg é um nutriente móvel no floema sendo translocado das folhas para os drenos principais, frutos, sementes e tubérculos (White & Broadley, 2009). Na batata, os principais drenos são os tubérculos.

Aumento na dose de fertilizante contendo Mg promove aumento na concentração de Mg nas folhas e talvez maior partição para os tubérculos pois o estado nutricional de Mg influencia a mobilidade de aminoácidos e açúcares no xilema e floema das plantas (Ruan, et al., 2012), além de menor incidência de doenças nos tubérculos de batata (Huber & Jones, 2013).

Porém, o excesso de Mg pode ser tóxico para as plantas. Assim a estratégia de biofortificação dos tubérculos com Mg necessita considerar além do efeito sobre a produtividade comercial também o efeito da adição de Mg sobre a partição e acúmulo nos tubérculos e não necessariamente o acúmulo no dossel da planta. Isto é, caso ocorra “consumo luxuoso” no dossel da planta o Mg deve ser partido para o órgão de interesse, os tubérculos da batata.

O possível “consumo de luxo” pelo dossel da planta e a possibilidade de biofortificar os tubérculos com Mg via aplicação de doses crescentes de fertilizante magnésiano não foram avaliados em trabalhos experimentais com a cultura da batata no campo. O presente trabalho tem o objetivo principal de determinar a viabilidade de biofortificar os tubérculos de batata cultivada no campo via aplicação pré-plantio de sulfato de magnésio ao solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido na Horta Nova, área de pesquisa do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O experimento foi realizado da mesma maneira ao descrito no item 2.1 do Capítulo 1.

2.2. Características avaliadas

2.2.1. Teor e conteúdo de magnésio (Mg) na massa da matéria seca de folhas, hastes, tubérculos, raízes e quarta folha aos 21 e 60 DAE

As plantas colhidas aos 21 e 60 DAE foram separadas em folhas, hastes, tubérculos, raízes e quarta folha. Esses órgãos foram pesados para a obtenção da massa da matéria fresca, secados em estufa com circulação forçada de ar, a 70°C, até atingirem massa constante, e novamente pesados para obtenção da massa da matéria seca. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 20 mesh. No laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Fitotecnia da UFV, as amostras foram submetidas a digestão nítrico-perclórica (Malavolta et al., 1997) e analisadas quanto ao teor de Mg, em espectrofotômetro de absorção atômica (Blanchar et al., 1965).

O resultado da análise forneceu o teor de Mg na massa da matéria seca de cada órgão que foi expresso em dag kg^{-1} . Multiplicando-se o teor de Mg pela massa da matéria seca (g) foi calculado o acúmulo de Mg em cada órgão (g /planta).

2.2.2. Teor e conteúdo de magnésio (Mg) na massa da matéria seca de tubérculos, na colheita final, aos 88 DAE

Amostras de tubérculos comerciais (classes 2 e 3), após pesadas para a obtenção da massa da matéria fresca, foram cortadas e colocadas em recipientes expostos ao ar livre para pré secagem. Posteriormente as amostras foram picadas e colocadas em estufas com circulação forçada de ar, a 70°C até atingirem massa constante, quando foram novamente pesadas com a finalidade de se obter a massa da matéria seca. Em laboratório, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 mesh, submetidas a digestão nítrico-perclórica (Malavolta et al., 1997) e analisadas em espectrofotômetro de absorção atômica para a determinação do teor de Mg (Blanchar et al., 1965).

O resultado da análise forneceu o teor de Mg na massa da matéria seca do tubérculo que foi expresso em dag kg^{-1} . Multiplicando-se o teor de Mg pela massa seca (g) foi calculado o acúmulo de Mg (g/planta) no tubérculo de cada classe.

2.3. Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados por meio de análise de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” adotando-se o nível de até 10% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2 = \text{SQRegressão} / \text{SQTratamento}$) e no fenômeno em estudo. Utilizou-se o software Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1).

3. RESULTADOS

3.1. Teor de magnésio (Mg) na massa da matéria seca de folhas, hastes, tubérculos, raízes e quarta folha aos 21 e 60 DAE, e na massa da matéria seca de tubérculos da classe 2 e 3 aos 88 DAE

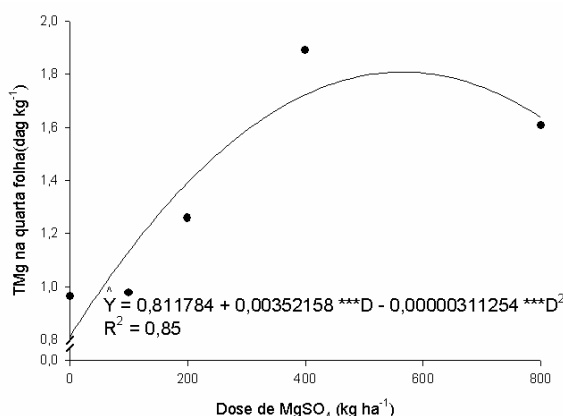
Houve efeito linear de doses de sulfato de magnésio sobre o teor de magnésio (Mg) na massa da matéria seca de folhas (TMgF), hastes (TMgH), tubérculos (TMgT) e raízes (TMgR), aos 21 DAE. Também, houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre a massa da matéria seca de tubérculos (TMgT), raízes (TMgR) e quarta folha (TMgQF), aos 60 DAE. Os modelos que representam a relação entre doses de sulfato de magnésio com as variáveis descritas em 3.1. estão representados na Tabela 1. A representação gráfica entre a relação entre o teor de Mg na quarta folha aos 60 DAE e doses de sulfato de magnésio encontra-se na Figura 1.

O valor do maior teor de magnésio na massa da matéria seca dos órgãos da batata aos 21, 60 e 88 DAE e a respectiva dose de sulfato de magnésio associada ao mesmo encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1 – Equações de regressão ajustadas para a variável (Y), teor de magnésio na massa da matéria seca de folhas, hastes, tubérculos, raízes e quarta folha (TMgF, TMgH, TMgT, TMgR e TMgQF), aos 21 e 60 dias após a emergência (DAE) e na massa da matéria seca de tubérculos das classes 2 (TMgT2) e classe 3 (TMgT3), aos 88 DAE, expressas em dag kg⁻¹, em função de doses de sulfato de magnésio (D), expressa em kg ha⁻¹, e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	R ² /r ²
21 DAE		
TMgF	$\hat{Y} = 0,495456 + 0,000161187 *D$	0,71
TMgH	$\hat{Y} = 0,353411 + 0,000132109 *D$	0,82
TMgT	$\hat{Y} = 0,133792 + 0,0000191719 *D$	0,79
TMgR	$\hat{Y} = 0,305548 + 0,000134070 **D$	0,88
TMgQF	$\hat{Y} = 0,9043$	-
60 DAE		
TMgF	$\hat{Y} = 0,5704$	-
TMgH	$\hat{Y} = 0,6357$	-
TMgT	$\hat{Y} = 0,116797 + 0,0000167187 *D$	0,79
TMgR	$\hat{Y} = 0,224120 + 0,000220414 **D$	0,97
TMgQF	$\hat{Y} = 0,811784 + 0,00352158 ***D - 0,00000311254 ***D^2$	0,85
88 DAE		
TMgT2	$\hat{Y} = 0,0848$	-
TMgT3	$\hat{Y} = 0,0844$	-

, * e * - significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.



*** - significativo a 10% de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 1 – Relação entre o teor de Mg na quarta folha (TMg) e doses de sulfato de magnésio, aos 60 dias após emergência.

Tabela 2 – Valor ajustado do maior teor de magnésio na massa da matéria seca dos órgãos da batata (dag kg^{-1}) nas determinações realizadas aos 21, 60 e 88 dias após a emergência (DAE) e a respectiva dose de sulfato de magnésio (kg ha^{-1}) associada ao mesmo.

Órgãos	21 DAE		60 DAE		88 DAE	
	Teor (dag kg^{-1})	Dose (kg ha^{-1})	Teor (dag kg^{-1})	Dose (kg ha^{-1})	Teor (dag kg^{-1})	Dose (kg ha^{-1})
Folha	0,624	800	0,570	0 – 800	-	-
Haste	0,460	800	0,636	0 – 800	-	-
Tubérculos	0,149	800	0,130	800	-	-
Raiz	0,413	800	0,400	800	-	-
Quarta Folha	0,904	0 – 800	1,809	566	-	-
Tubérculos Classe 2	-	-	-	-	0,0848	0 – 800
Tubérculos Classe 3	-	-	-	-	0,0844	0 – 800

3.2. Conteúdo de magnésio (Mg) na massa da matéria seca de folhas, hastes, tubérculos, raízes e quarta folha aos 21 e 60 DAE, e na massa da matéria seca de tubérculos da classe 2 e 3, aos 88 DAE

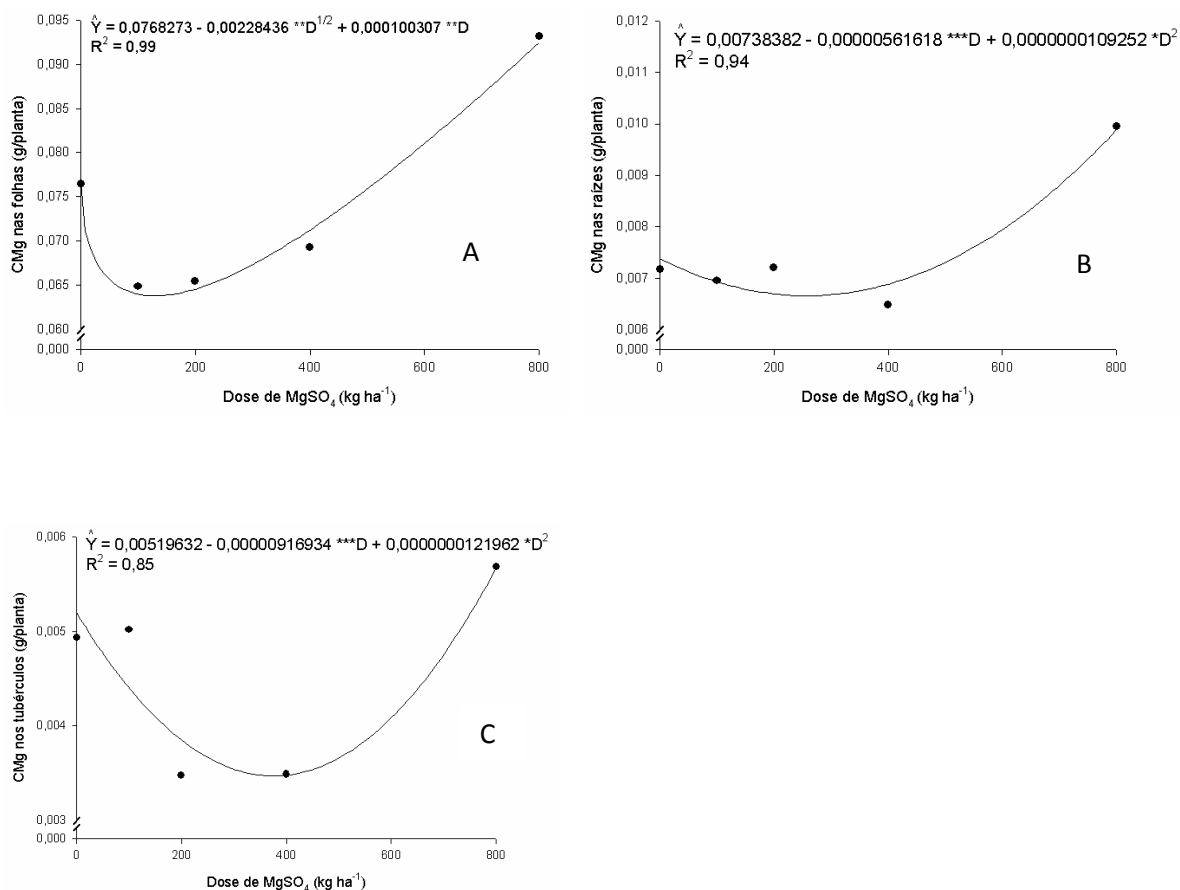
Aos 21 dias após a emergência, houve efeito de doses de sulfato de magnésio sobre o conteúdo de magnésio na massa da matéria seca de folhas (CMgF), hastes (CMgH), tubérculos (CMgT) e raízes (CMgR). Os modelos que representam as relações descritas em 3.2 estão na Tabela 3. A representação gráfica da relação onde houve efeito significativo de doses de sulfato de magnésio sobre o conteúdo de Mg na massa da matéria seca encontra-se na Figura 2, exceto para o conteúdo de Mg nas hastes.

O valor do maior conteúdo de magnésio na massa da matéria seca dos órgãos da batata, nas respectivas doses de sulfato de magnésio, encontra-se na Tabela 4.

Tabela 3 – Equações de regressão ajustadas para as variáveis (Y) conteúdo de magnésio na massa da matéria seca de folhas, hastes, tubérculos, raízes e quarta folha (CMgF, CMgH, CMgT, CMgR, CMgQF) aos 21 e 60 dias após a emergência (DAE) e para o conteúdo de magnésio na massa da matéria seca de tubérculos da classe 2 (CMgT2) e classe 3 (CMgT3) aos 88 DAE, expressas em g/planta, em função de doses de sulfato de magnésio (D) e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	R ² /r ²
21 DAE		
CMgF	$\hat{Y} = 0,0768273 - 0,00228436 **D^{1/2} + 0,000100307 **D$	0,99
CMgH	$\hat{Y} = 0,0126804 + 0,00000320790 *D$	0,67
CMgT	$\hat{Y} = 0,00519632 - 0,00000916934 ***D + 0,0000000121962 *D^2$	0,85
CMgR	$\hat{Y} = 0,00738382 - 0,00000561618 ***D + 0,0000000109252 *D^2$	0,94
CMgQF	$\hat{Y} = 0,0053$	-
60 DAE		
CMgF	$\hat{Y} = 0,0901$	-
CMgH	$\hat{Y} = 0,0386$	-
CMgT	$\hat{Y} = 0,1433$	-
CMgR	$\hat{Y} = 0,0080$	-
CMgQF	$\hat{Y} = 0,0101$	-
88 DAE		
CMgT2	$\hat{Y} = 0,0631$	-
CMgT3	$\hat{Y} = 0,0332$	-

, * e * - significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste "t", respectivamente.



*, ** e *** - significativo a 5,1 e 10 % de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

Figura 2 – Relação entre o conteúdo de Mg nas folhas (A), raízes (B) e tubérculos (C) e doses de sulfato de magnésio, aos 21 dias após emergência.

Tabela 4 – Valores ajustados do maior conteúdo de magnésio na massa da matéria seca dos órgãos batata (mg/planta) em determinação realizada aos 21, 60 e 88 dias após a emergência (DAE) e a respectiva dose de sulfato de magnésio (kg ha^{-1}).

Órgãos	21 DAE		60 DAE		88 DAE	
	Conteúdo (mg/planta)	Dose (kg ha^{-1})	Conteúdo (mg/planta)	Dose (kg ha^{-1})	Conteúdo (mg/planta)	Dose (kg ha^{-1})
Folha	92,4	800	90,1	0 – 800	-	-
Haste	15,2	800	38,6	0 – 800	-	-
Raiz	9,8	800	8,0	0 – 800	-	-
Tubérculos	5,6	800	143,3	0 – 800	-	-
Quarta Folha	5,3	0 – 800	10,1	0 – 800	-	-
Tubérculo 2	-	-	-	-	63,1	0 – 800
Tubérculo 3	-	-	-	-	33,2	0 – 800

4. DISCUSSÃO

Aos 21 DAE, o teor de Mg na massa da matéria seca da quarta folha da batata (QF) não foi influenciado por doses de sulfato de magnésio (Tabela 1). Isto é, aos 21 DAE, o teor de 0,904 dag kg⁻¹ na QF refletiu um adequado estado de Mg da planta e indicou o efeito de doses de sulfato de magnésio na futura produtividade de massa da matéria seca de tubérculos comerciais (Capítulo 2). Mills & Jones (1996) consideram a faixa de Mg de 0,50 a 1,50 dag kg⁻¹ como suficiente para batata no início do ciclo, enquanto Walworth (1993) menciona valores entre 0,26 a 1,25 dag kg⁻¹.

Aos 21 DAE, o teor de Mg na massa da matéria seca de folhas, hastes, tubérculos e raízes aumentou com o incremento na dose de sulfato de magnésio alcançando os maiores valores de 0,624, 0,460, 0,149 e 0,413 dag kg⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Tal comportamento pode ser considerado “concentração de luxo”, pois os teores de 0,495, 0,353, 0,134 e 0,306 dag kg⁻¹ verificados nas folhas, hastes, tubérculos e raízes das plantas no tratamento testemunha (Tabela 1), não adubadas com magnésio, também estão associados à maior produtividade de massa da matéria seca de tubérculos comerciais na colheita final. Isto é, a adição de sulfato de magnésio induziu a “concentração de luxo” de Mg em folhas, hastes, raízes e tubérculos no início do ciclo da planta.

Ainda aos 21 DAE, o conteúdo de Mg nas folhas foi maior com a maior dose de Mg estudada (Tabela 3), alcançando 92,4 mg/planta (Tabela 4). Tal valor correspondeu a 4,93 kg ha⁻¹ de Mg acumulado nas folhas. Parte deste acúmulo pode ser considerada como “consumo de luxo”, pois o conteúdo de Mg com a dose zero seria 76,8 mg/planta (Tabela 3). Isto é, o “consumo de luxo” nas folhas com a aplicação da maior dose de Mg foi de, aproximadamente, 20%. Assim, aos 21 DAE as folhas foram biofortificadas com Mg.

Tanto o teor quanto o conteúdo de Mg na quarta folha QF, aos 21 DAE, não foram influenciados por doses de sulfato de magnésio (Tabelas 1 e 3) não refletindo, nesta data, o “consumo de luxo” do dossel. Portanto, a QF não é apropriada para ser amostrada ao se desejar avaliar o “consumo de luxo” de Mg.

No início da senescência do dossel, aos 60 DAE, a “concentração de luxo” de Mg somente foi verificada nas raízes e tubérculos (Tabela 2). Moreira (2008), em produção de batata semente básica em vaso, verificou que a adição de Mg ao

substrato aumentou o teor de Mg na massa da matéria seca de folhas e hastes quando utilizou mini-tubérculos como material de propagação, ao passo que ao ser utilizado broto apenas o teor de Mg na massa de matéria seca de folhas foi aumentado.

Aos 60 DAE, não foi verificado efeito significativo de doses de sulfato de magnésio sobre o conteúdo de Mg nos órgãos (folhas, hastes, tubérculos, raízes e quarta folha). O acúmulo de Mg nas folhas, hastes, tubérculos e raízes foi 90,1; 38,6; 143,3 e 8,0 mg/planta, respectivamente. O conteúdo de Mg em plantas de batata cultivadas em vaso com substrato atingiu valores estimados, em mg/planta, de 71,9; 29,9; 57,0 e 10,2 nas folhas, hastes, tubérculos e raízes, respectivamente (Moreira, 2008).

Na colheita final, aos 88 DAE, tanto o teor quanto o conteúdo de Mg na massa da matéria seca de tubérculos das classes 2 e 3 não foram influenciados por doses de Mg (Tabela 1 e 3). Os teores foram 0,0848 e 0,0844 dag kg⁻¹, respectivamente. O teor de Mg na massa da matéria seca do tubérculo de batata é condicionado por diversos fatores como variedade, propriedade do solo, condições climáticas e práticas culturais. Na massa da matéria seca do tubérculo de batata, o teor de Mg normalmente varia de 0,066 a 0,166 dag kg⁻¹ (Bretzloff, 1971; Tekalign & Hammes, 2005; Yildirim & Tokusolu, 2005; Giacomo et al., 2007; Moreira, 2008; Srek et al., 2010; Braun et al., 2011; Subramanian et al., 2011; Brown et al., 2012; Nassar et al., 2012; Teina et al., 2014). Embora Lombardo et al. (2014) citam valor variando de 0,018 a 0,031 dag kg⁻¹ dependendo do ano. Também Nassar et al. (2012) listam valores de Mg na massa da matéria seca do tubérculo de batata variando até 10 vezes, correspondendo a 0,0148 até 0,120 dag kg⁻¹. Os trabalhos de Wadas et al. (2008) e Gugala et al. (2012) confirmaram os efeitos de diferentes condições ambientais sobre o conteúdo de magnésio no tubérculo. Adicionalmente, limitada disponibilidade de Mg no solo afeta a produção e o conteúdo de Mg nos tubérculos.

Aos 88 DAE, a exportação de Mg pelos tubérculos (conteúdo) alcançou 96,3 mg/planta, correspondentes a 5,136 kg ha⁻¹ de Mg. A exportação de Mg pelos tubérculos de batata depende fundamentalmente do teor de Mg e da produção de massa da matéria seca no tubérculo. Há relatos no Brasil de valores de 2,40 a 4,80 kg ha⁻¹ (Paula et al., 1986); 3,38 a 6,89 kg ha⁻¹ (Braun et al., 2011) e 5,00 a 8,00 kg ha⁻¹ (Fernandes et al., 2011).

A mais alta dose de sulfato de magnésio não foi tóxica para as plantas e o “consumo de luxo”, de mais 20 % de Mg verificado nas folhas, aos 21 DAE (Tabela 1), não foi partido para os tubérculos de batata na colheita final. Apesar da biofortificação de plantas com Mg estar recentemente ganhando a atenção como alternativa para suplementação humana (White & Broadley, 2009; Grzebisz, 2011), no presente trabalho a estratégia de biofortificação dos tubérculos com Mg não aconteceu. Processos fundamentais e complexos que determinam as quantidades de massa de matéria seca produzida e de Mg absorvida além da partição de Mg para os tubérculos determinam o conteúdo de Mg nos tubérculos de batata (Nunes et al., 2006). Tais processos são influenciados por diversos fatores como cultivar, época da safra e localidade. A combinação de diversos fatores experimentais no presente trabalho, principalmente solo não responsivo em termos de produção de massa da matéria seca à aplicação do fertilizante sulfato de magnésio, dose de sulfato de magnésio relativamente pequena, ciclo cultural relativamente curto e característica varietal, podem ter impedido de haver a biofortificação dos tubérculos com Mg.

5. CONCLUSÕES

- Houve indução da “concentração de luxo” de Mg em folhas, hastes e raízes de batata, no início do ciclo da planta devido às doses de sulfato de magnésio;
- O “consumo de luxo” de Mg pela planta não pode ser caracterizado pela análise de Mg da quarta folha;
- O teor de Mg na massa da matéria seca da quarta folha não foi influenciado por doses de sulfato de magnésio e atingiu o valor médio de $0,904 \text{ dag kg}^{-1}$;
- Não foi possível biofortificar os tubérculos de batata com Mg usando doses de até 800 kg ha^{-1} de sulfato de magnésio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBA – ASSOCIAÇÃO DA BATATA BRASILEIRA, **Batata variedades**. Disponível em: [http:// www. abbabatatabrasileira.com.br/abatata_variedades.htm](http://www.abbabatatabrasileira.com.br/abatata_variedades.htm), acesso em 24/04/2014.

BEAR, F. E.; PRINCE, A. L.; TOTH, S. J.; PURVIS, E. R. Magnesium in plants and soils. **Agricultural Experiment Station**, Bull 760. 1951.

BLANCHARD, R. W.; REHM, G.; CALDWELL, A. C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceeding – Soil Science Society of American**, v. 29, n.1, p. 71-72, 1965.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solos e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, n. 133, p. 73-85, 1974.

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 do nitrogênio. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 50-57, 2011.

BRETZLOFF, C.W. Calcium and magnesium distribution in potato tubers. **American Journal Potato Research**, v.48, n.3, p.97-104. 1971.

BROADLEY M. R.; BOWEN H. C.; COTTERILL H. L.; HAMMOND J. P; MEACHAM M. C.; MEAD A, WHITE P. J. Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 396, p. 321–336, 2004.

BROADLEY, M. R.; WHITE, P.J. Eats roots and leaves. Can edible horticultural crops address dietary calcium, magnesium and potassium deficiencies? **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 69, n. 4, p. 601–612, 2010.

BROWN, C. R.; HAYNES, K. G.; MOORE, M.; PAVEK, M. J.; HANE, D. C.; LOVE, S. L.; NOVY, R. G.; MILLER Jr., J. C. Stability and broad-sense heritability of mineral content in potato: calcium and magnesium. **American Journal Potato Research**, v.89, n. 4, p.255-261. 2012.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I – Macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2039-2056, 2011.

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

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

GERENDÁS, J.; FÜHRS, H. The significance of magnesium for crop quality. **Plant and Soil**, v. 368, n.1-2, p. 101-128, 2013.

GIACOMO, F.; SIGNORE, A.D.; GIACCIO, M. Determining the geographic origin of potatoes using mineral and trace element content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, p.860-866. 2007.

GRUSAK, M. A.; DELLAPENNA, D. Improving the nutrient composition of plants to enhance human nutrition and health. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, n. 1, p.133-161, 1999.

GUGALA, M.; ZARZECKA, K.; IWONA, M. Potato tuber content of magnesium and calcium depending on weed control methods. **Journal of Elementology**, v.17, n.2, p. 247-254, 2012.

GUERINOT, M. L.; SALT, D. E. Fortified foods and phytoremediation: two sides of the same coin. **Plant Physiology**, v. 125, n. 1, p. 164–167, 2001.

GRZEBISZ, W. Magnesium-food and human health. **Journal of Elementology**, v. 16, n.2, p. 299–32, 2011.

HERMANS, C.; CONN, S. J.; CHEN, J.; XIAO, Q.; VERBRUGGEN, N. An update on magnesium homeostasis mechanisms in plants. **Metallomics**, v. 5, n. 9, p. 1170-1183, 2013.

HIRSCHI, K. D. Nutrient biofortification of food crops, **The Annual Review of Nutrition**, v. 29, p. 401–402, 2009.

HUBER, D. M.; JB JONES, J. B. The role of magnesium in plant disease. **Plant and Soil**, v. 368, n. 1-2, p. 73-85, 2013.

KARLEY, A. J.; WHITE, P. J. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 291–298, 2009.

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

LAHNER, B.; GONG, J.; MAHMOUDIAN, M.; SMITH, E. L.; ABID, K. B.; ROGERS, E. E.; GUERINOT, M. L.; HARPER, J. F.; WARD, J. M.; MCINTYRE, L.; SALT, D. E. Genomic scale profiling of nutrient and trace elements in *Arabidopsis thaliana*. **Nature Biotechnology**, v. 21, n. 10, p. 1215-1221, 2003.

LOMBARDO, S.; PANDINO, G.; MAUROMICALE, G. The mineral profile in organically and conventionally grown “early” crop potato tubers. **Scientia Horticulturae**, v.167, n.6, p.169–173. 2014.

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

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 2012. Ed. Petra Marschner. Academic press, 2012.

MELO, P. C. T.; GRANJA, N. P.; FILHO, H. S. M.; SUGAWARA, A. C.; OLIVEIRA, R. F. Análise do crescimento da cultivar de batata Ágata. **Batata Show**, v. 3. n. 8, p. 16-17, 2003.

MILLS, H. A.; JONES JR., J.B. **Plant analysis handbook II**. 2. ed. Athens: Micro-Macro, 1996. 422 p

MONDY, N. I.; GOSSELIN, B.; PONNAMPALAM, R. Effect of soil applications of magnesium sulfate and dolomite on the quality of potato tubers. **American Potato Journal**, v. 64, n. 1, p. 27-34, 1987.

MOREIRA, M. A. **Características da planta e produção de batata semente básica em substrato com diferentes materiais de propagação**. (Tese de Doutorado), Departamento de Fitotecnia, UFV, Viçosa, 174p. 2008.

NASSAR, A.M.K.; SABALLY, K.; KUBOW, S. Some Canadian-grown potato cultivars contribute to a substantial content of essential dietary minerals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p.4688-4696. 2012.

NEPA – UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4. ed. Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161 p.

NUNES, J. C. S.; FONTES, P. C. R.; ARAÚJO, E. F.; SEDIYAMA, C. Potato plant growth and macronutrients uptake as affected by soil tillage and irrigation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12, p. 1787-1792, 2006.

NUTTI, M.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. **A biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes**. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2006. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/liv_geol_med3.pdf. Acesso em: 04 abr. 2014.

PAULA, M. B.; FONTES, P. C. R.; NOGUEIRA, F. D. Produção de matéria seca e absorção de macronutrientes por cultivares de batata. **Horticultura Brasileira**, v.4, p.10-16, 1986.

REID, J. B.; TROLOVE, S. N.; TAN, Y.; JOHNSTONE, P. R. Luxury uptake of magnesium by peas *Pisum sativum*. **Annals of Applied Biology**, v. 163, n. 1, p. 151–164, 2013.

ROSANOFF, A. **Changing crop magnesium concentrations: impact on human health**. **Plant and Soil** [Online]. Disponível em: URL

<http://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1471-5/fulltext.html>> 2012.
Acesso em 23 de abril 2014.

RUAN, J.; MA, L.; YANG, Y. Magnesium nutrition on accumulation and transport of amino acids in tea plants. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.92, n.7, p.1375-1383, 2012.

SAEG **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SAITO, N.; NISHIYAMA, S. Magnésio apresenta propriedade antienvhecimento. **Clin Calcium**, v. 15, n. 11, p. 29-36, 2005.

SHAUL O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. **Biometals**, v. 15, n. 3, p. 309–323, 2002.

SREK, P.; HEJCMAN, M.; KUNZOVÁ, E. Multivariate analysis of relationship between potato (*Solanum tuberosum* L.) yield, amount of applied elements, their concentrations in tubers and uptake in a long-term fertilizer experiment. **Field Crops Research**, v.118, n. 2, p.183-193, 2010.

SUBRAMANIAN, N. K.; WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R.; RAMSAY, G. The three-dimensional distribution of minerals in potato tubers. **Annals of Botany**, v.107, n.4, p.681-691, 2011.

SWAMINATHAN, R. Magnesium metabolism and its disorders. **The Clinical Biochemistry Reviews**, v. 24, n. 2, p. 47–66, 2003.

TEINA, B.; KAUERA, K.; EREMEEVA, V.; LUIKB, A.; SELGEA, A.; LOITA, E. Farming systems affect potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber and soil quality. **Field Crops Research**, v.156, n.1, p.1–11, 2014.

TEKALIGN T.; HAMMES P.S. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth. Growth analysis, tuber yield and quality. **Scientiae Horticulture**, v.105, n. 1, p. 29-44, 2005.

WADAS, W.; JABLONSKA, C. R.; KUROWSKA, A. Effect of using covers in early crop potato culture on the content of phosphorus and magnesium in tubers. **Journal of Elementology**, v.13, n.2, p.275–280. 2008.

Walworth, J.L.; Muniz, J.E. A compendium of tissue nutrient concentrations for field-grown potatoes. **American Potato Journal**, v.70, p. 578-596, 1993.

WHITE P. J.; BROADLEY M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, v. 10, n. 12, p. 586–593, 2005.

WHITE P.J.; BROADLEY M.R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v. 182, p. 49–84. 2009.

WILKINSON S. R.; WELCH R. M.; MAYLAND H. F.; GRUNES D. L. Magnesium in plants: Uptake, distribution, function, and utilization by man and animals. **Metal Ions in Biological Systems**, v. 26, p. 33–56, 1990.

YILDRIM Z.; TOKUSODLU, O. Some analytical quality characteristic of potato (*Solanum tuberosum* L.) minitubers (cv. NIF) developed via in vitro cultivation. **Journal Environmental Agriculture Food Chemistry**, v.4, n.3, p.916-925, 2005.