

KAROLINE MATIELLO ALMEIDA

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FISIOLÓGICAS E
PRODUTIVIDADE DE BATATA INFLUENCIADAS PELO
MAGNÉSIO E CALAGEM**

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*.

Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes

Coorientador: Edson Marcio Mattiello

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2020

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa – Campus Viçosa**

T

A447c
2020
Almeida, Karoline Matiello, 1995-
Características químicas, fisiológicas e produtividade de batata
influenciadas pelo magnésio e calagem / Karoline Matiello Almeida. -
Viçosa, MG, 2020.
47 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 42-47.

1. *Solanum tuberosum* L. 2. Fertilizantes NPK. 3. Magnésio.
4. Solos - Correção Batata - Rendimento. 5. Batata - Qualidade.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa
de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.218913

KAROLINE MATIELLO ALMEIDA

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FISIOLÓGICAS E
PRODUTIVIDADE DE BATATA INFLUENCIADAS PELO
MAGNÉSIO E CALAGEM**

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: 17 de fevereiro de 2020

Assentimento:


Karoline Matiello Almeida
Autora


Paulo Cezar Rezende Fontes
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida, guiar e abençoar meus passos.

A minha família, pelo apoio e motivação que sempre me proporcionaram.

A Universidade Federal de Viçosa e, em especial, ao Departamento de Fitotecnia, pela estrutura e oportunidade da realização do curso.

Ao professor Paulo Cezar Rezende Fontes, pelos ensinamentos, orientação e paciência.

Ao Coorientador Edson Marcio Mattiello, pela disposição, atenção e ensinamentos.

Aos funcionários da Horta Nova de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia, pelo auxílio durante a condução da pesquisa.

A todos meus amigos da Pós-graduação, pelo apoio prestado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

BIOGRAFIA

KAROLINE MATIELLO ALMEIDA, filha de Maria Gorete Matiello e Júlio César Almeida, nasceu em 6 de março de 1995, em São Gabriel da Palha, ES.

No ano de 2018, graduou-se em Agronomia pela Instituição Federal do Espírito Santo - *Campus* Santa Teresa.

Em agosto de 2018, 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 fevereiro de 2020.

RESUMO

ALMEIDA, Karoline Matiello, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **Características químicas e fisiológicas da planta e produtividade de tubérculos de batata influenciados pelo magnésio e calagem.** Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes. Coorientador: Edson Marcio Mattiello.

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil e importante fonte de carboidratos e nutrientes, como o magnésio (Mg). A forma mais comum e menos onerosa para a adição de Mg no solo e nas plantas é por meio da aplicação de calcários. Em muitas situações, os teores de Mg no solo são insuficientes para garantir altas produtividades e qualidade da batata. Objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito da adição de Mg em formulação nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), na presença e ausência de calagem, sobre as características morfológicas e fisiológicas da batata, bem como na produtividade e qualidade dos tubérculos. A adubação complementar com Mg, variando de 1 a 6 % (massa massa⁻¹) no formulado NPK 5-30-10, foi feita no plantio da batata, com dose equivalente a 2 t ha⁻¹ em área com e sem a aplicação de calcário. A cultivar de batata foi a Asterix. Os folíolos completamente expandidos da quarta folha foram usados para avaliação de características fisiológicas, teores de Mg e Ca e metabolitos. Nos tubérculos foram avaliadas a porcentagem de matéria seca, teor de Mg, produtividade total e comercial. A adição de Mg no formulado NPK e a aplicação de calcário, aumentaram a taxa fotossintética da planta e os teores de Mg na folha e tubérculos de batata, além disso, reduziram o teor de açúcares solúveis. A aplicação de calcário aumentou em 21% a produtividade total e 39% a produtividade comercial dos tubérculos. Com aplicação de calcário, mesmo nas menores concentrações de Mg adicionadas ao formulado NPK, houve aumento dos teores de Mg nos tubérculos. Os métodos atuais de recomendação de calagem para a cultura da batata precisam ser melhorados. A aplicação de calcário e de Mg ao formulado NPK é recomendada para aumento da produtividade e qualidade da batata e pode ser estratégia importante para obter maior concentração de Mg nos tubérculos.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L. Formulado NPK. Magnésio. Correção do solo. Produtividade. Qualidade de tubérculos.

ABSTRACT

ALMEIDA, Karoline Matiello, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2020. **Plant chemical and physiological characteristics and potato tuber yield influenced by magnesium and liming.** Adviser: Paulo Cezar Rezende Fontes. Co-adviser: Edson Marcio Mattiello.

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the main vegetables grown in Brazil and an important source of carbohydrates and nutrients, such as magnesium (Mg). The most common and least expensive way to add Mg to the soil and plants is through the application of limestones. In many situations, the Mg content in the soil is insufficient to guarantee high yields and potato quality. The objective of this work was to evaluate the effect of adding Mg in formulation nitrogen, phosphorus and potassium (NPK), in the presence and absence of liming, on the morphological and physiological characteristics of the potato, as well as on the productivity and quality of the tubers. The complementary fertilization with Mg, varying from 1 to 6% (mass mass⁻¹) in the formulated NPK 5-30-10, was done when planting the potato, with a dose equivalent to 2 t ha⁻¹ in an area with and without the application of limestone. The potato cultivar was Asterix. The expanded leaflets of the fourth leaf were used to evaluate physiological characteristics, Mg and Ca contents and metabolites. In the tubers, the percentage of dry matter, Mg content, total and commercial productivity were evaluated. The addition of Mg in the formulated NPK and the application of limestone, increased the photosynthetic rate of the plant and the contents of Mg in the leaf and potato tubers, besides that, reduced the content of soluble sugars. Limestone application increased total productivity by 21% and commercial tuber productivity by 39%. With limestone application, even at the lowest concentrations of Mg added to the formulated NPK, there was an increase in Mg levels in the tubers. Current methods of liming recommendations for potato crops need to be improved. The application of liming and Mg to the formulated NPK is recommended to increase the productivity and quality of the potato and can be an important strategy to obtain a higher concentration of Mg in the tubers.

Keywords: *Solanum tuberosum* L. Formulated NPK. Magnesium. Soil correction. Yield. Quality of tubers.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Efeitos da combinação da calagem e da concentração de magnésio ao formulado NPK sobre o teor de na folha de batata aos 25 (a) e 65 (b) DAE. Com calagem —•—, Sem calagem --°--. * significativo a 5% de probabilidade pelo test t ----- 18
- Figura 2** - Efeito da calagem e da concentração de magnésio no formulado NPK sobre o teor de magnésio no tubérculo de batata. Com calagem —•—, Sem calagem --°--. *, ° significativo a 5% e 10% de probabilidade pelo test t ----- 20
- Figura 3** - Efeito da calagem e da concentração de magnésio ao formulado NPK sobre a concentração de clorofila *a* (a) e *b* (b) em folhas da batata aos 25 DAE. Com calagem —•—, Sem calagem --°--. *, " significativo a 5 e 20% de probabilidade pelo test t, respectivamente ----- 22
- Figura 4** - Efeito da calagem e da concentração de magnésio no formulado NPK sobre a taxa fotossintética da batateira. Com calagem —•—, Sem calagem --°--. °°, ° significativo a 15 e 10% de probabilidade pelo test t, respectivamente ----- 24
- Figura 5** - Efeitos da combinação da calagem e da concentração de magnésio ao formulado NPK sobre a concentração de glicose (a), frutose (b) e sacarose (c) na folha de batata 25 DAE. Com calagem —•—, Sem calagem --°--. **, * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo test t, respectivamente ----- 26
- Figura 6** - Efeitos da combinação da calagem e da concentração de magnésio ao formulado NPK sobre a concentração de aminoácidos totais na folha de batata aos 25 DAE. Com calagem —•—, Sem calagem --°--. *, " significativo a 5 e 20% de probabilidade pelo test t, respectivamente ----- 29
- Figura 7** - Efeitos da combinação da calagem e incremento de magnésio ao formulado NPK sobre a concentração de proteínas na folha de batata aos 25 DAE. Com calagem —•—, Sem calagem --°--. *, ° significativo a 5 e 10% de probabilidade pelo test t, respectivamente ----- 31
- Figura 8** - Efeitos da combinação da calagem e da concentração de magnésio ao formulado NPK sobre o teor de cálcio na folha de batata aos 25 DAE. Com calagem —•—, Sem calagem --°--. *, °° significativo a 5 e 15% de probabilidade pelo test t, respectivamente ----- 32

Figura 9 - Efeito da calagem e do incremento de magnésio no formulado NPK sobre a matéria seca da parte aérea da batata aos 65 DAE. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. * significativo a 5% de probabilidade pelo test t ----- 33

Figura 10 - Efeito da calagem e do incremento de magnésio no formulado NPK sobre a matéria seca dos tubérculos. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. ", °° significativo a 20 e 15% de probabilidade pelo test t, respectivamente ----- 35

Figura 11 - Efeito da calagem e da concentração de magnésio no formulado NPK sobre a produtividade de tubérculos comerciais de batata. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. * significativo a 5% de probabilidade pelo test t ----- 37

Figura 12 - Efeito da calagem e do incremento de magnésio no formulado NPK sobre a produtividade total da batata. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. * significativo a 5% de probabilidade pelo test t ----- 39

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Característica química do solo da camada de 0 – 20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento----- 13
- Tabela 2** - Mistura dos fertilizantes fosfato monoamônio (MAP), superfosfato simples (SS), cloreto de potássio (KCl) e óxido de magnésio (MgO) para obtenção de 10 kg do formulado 5-30-10, com variação de 0 a 6% de Mg----- 14
- Tabela 3** - Quantidade de magnésio provenientes da calagem e do NPK + Mg----- 14

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5 CONCLUSÕES	41
6 REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a base da alimentação de muitos povos (FILGUEIRA, 2003). No Brasil, em 2019, a produção foi 3,8 milhões de t, ocupando uma área de 125.865 ha, com produtividade média de 31,6t ha⁻¹ (IBGE, 2019). Mundialmente, é a terceira cultura alimentar mais importante, e, estima-se que mais de um bilhão de pessoas consumam batata diariamente no mundo (EMBRAPA, 2015). No Brasil, anualmente são consumidas cerca de 450.000 t de batatas pré-fritas. O volume total equivale à produção de mais de 30.000 ha de batata fresca (ABBA, 2018).

Dentre os diversos fatores que contribuem para o incremento da produtividade e qualidade de tubérculos de batata, destaca-se o fornecimento adequado de nutrientes, dentre os quais o magnésio (Mg). Na planta, este nutriente tem participação em diversos processos metabólicos e em reações como a formação de ATP nos cloroplastos, fixação de dióxido de carbono (CO₂), síntese proteica, formação de clorofila, partição e utilização de fotoassimilados, geração de espécies reativas de oxigênio e foto-oxidação em tecidos foliares (HERMANS et al., 2006). Dependendo do estado nutricional, cerca de 35% do Mg presente nas plantas está nos cloroplastos (CAKMAK e YAZICI, 2010) e cerca de 6 a 25% do Mg total está ligado à clorofila (MARSCHNER, 2012).

Devido à importância para a fotossíntese e translocação de assimilados, estudos evidenciam o efeito da aplicação de Mg na melhoria de qualidade da batata (CIECKO et al., 2010.; KOCH, 2018.; ZENGİN et al., 2008). Além disso, também há diversos trabalhos avaliando o efeito positivo do Mg sobre o crescimento e a produção da batata (BARROSO, 2013.; EL-HADIDI et al., 2017.; FERNANDES et al. 2011b.; TALUKDER et al, 2009.; ZENGİN et al, 2008).

Estima-se que mais de 70% dos brasileiros tenham dietas deficientes em Mg (ARAÚJO et al., 2013), cuja quantidade diária sugerida para adultos é 310 a 420 mg (NAVARRE et al., 2019). Hermans et al. (2013) comentam que 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. Nesse sentido, é importante nos atentarmos não somente com a produtividade das culturas, mas também com a qualidade nutricional dos alimentos ingeridos.

O deliberado aumento da concentração de determinado mineral da planta durante o crescimento tem sido chamado de biofortificação (WHITE e BROADLEY, 2005), que visa aumentar a disponibilidade do elemento na parte comestível das plantas (HIRSCHI,

2009). Geralmente, 0,5g de Mg são ingeridos por kg de batata consumido, dependendo de fatores como local de produção, dose e modo de aplicar o Mg (NAVARRE et al., 2019).

A aplicação de calcários tem sido a forma mais comum e de menor custo para adição de Mg ao solo. No entanto, o uso de corretivos de acidez com baixo teor de Mg e a elevada demanda do nutriente para obtenção de altas produtividades da batata, têm tornado a resposta ao Mg frequente em diversas culturas. Assim, nutrição complementar com Mg será necessária para atingir maiores produtividades e qualidade da batata. A adição de Mg em fórmula NPK é uma alternativa viável para a possível suplementação do nutriente. Porém, poucos trabalhos têm avaliado as proporções mais adequadas nos formulados NPK normalmente utilizados na cultura.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo, avaliar o efeito da adição de Mg em formulação NPK, na presença e ausência de calagem, sobre as características morfológicas e fisiológicas da batata, bem como na produtividade e qualidade dos tubérculos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Unidade de Pesquisa e Extensão do Departamento de Agronomia (Horta Nova), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG, entre maio a agosto do ano de 2019. A área apresenta altitude de 693m, latitude sul 20°45' e longitude oeste 42°51', e classificação climática de Koppen (1948) do tipo Cwa. O solo onde foi instalado o experimento é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico (EMBRAPA, 2006). Aos 35 dias antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solos na camada de 0-20 cm de profundidade, para caracterização do mesmo (Tabela 1). Esta profundidade foi determinada em razão da maior concentração e desenvolvimento das raízes de batata nesta camada.

Tabela 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	t	T	V	P-rem
H ₂ O	mgdm ⁻³		-----cmol _c dm ⁻³ -----							%	mgL ⁻¹
4,81	61,9	65	1,93	0,38	0,00	5,2	2,48	2,48	7,68	32,3	30,0

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.

Aproximadamente 15 dias antes da implantação do experimento, a área foi preparada com a prévia dessecação das plantas existentes, gradagem e aração. No dia do plantio, o solo foi sulcado, seguindo com a aplicação do calcário e adubação. A calagem foi aplicada superficialmente nas parcelas que estavam designadas a receber o corretivo, o que representa, metade da área experimental, sendo aplicada a lanço, na dose de 2,8 t há⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT de 76%, teor de CaO e MgO de 30 e 10%, respectivamente. Após aplicação, o calcário foi incorporado com enxadão. Para terminar a dose de calcário necessária, foram efetuados cálculos, elevando-se a saturação de bases à 60%, passando do pressuposto de que, a maioria dos bataticultores trabalham com o mínimo possível de corretivo, pois existe uma crença entre os produtores, de que, a elevação do pH do solo, por meio da aplicação de corretivos de acidez, induz a ocorrência de sarna (*Streptomyces scabies*) na batata, uma das principais doenças da cultura.

Para a adubação, os fertilizantes mistos foram obtidos a partir da mistura de grânulos utilizando as fontes fosfato de monoamônio (MAP), superfosfato simples (SS), cloreto de potássio (KCl) e óxido de magnésio (MgO), de modo a obter o formulado 5-30-10, com teores de Mg variando de 0 a 6 %, conforme detalhamento da Tabela 2. Este formulado foi obtido em razão das necessidades nutricionais da cultura, características do solo onde foi implantado o experimento, além de ser utilizado por muitos bataticultores.

Tabela 2 - Mistura dos fertilizantes fosfato monoamônio (MAP), superfosfato simples (SS), cloreto de potássio (KCl) e óxido de magnésio (MgO) para obtenção de 10 kg do formulado 5-30-10, com variação de 0 a 6% de Mg.

Tratamento	NPK+Mg	MAP	SS	KCl	MgO	Areia
	-----%-----	----- kg -----				
1	5-30-10 + 0 Mg	5	2,22	1,67	0	1,11
2	5-30-10 + 1 Mg	5	2,22	1,67	0,18	0,93
3	5-30-10 + 2 Mg	5	2,22	1,67	0,36	0,75
4	5-30-10 + 4 Mg	5	2,22	1,67	0,72	0,38
5	5-30-10 + 6 Mg	5	2,22	1,67	1,09	0,02

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial completo 2 x 5, (com e sem calagem e cinco concentrações de Mg no NPK 5-30-10), sendo essas, 0, 1, 2, 4 e 6 % de MgO. Cada parcela teve dimensão de 1,8 m de comprimento e 3,2 m de largura, sendo 4 linhas com 6 plantas por linha. O espaçamento foi de 0,30x0,8 m (linhas x entre-linhas). As duas fileiras laterais e as duas plantas das extremidades das fileiras úteis foram consideradas bordaduras. As plantas medianas de cada linha foram consideradas plantas úteis.

O plantio foi realizado no dia 27/05/2019, utilizando-se tubérculos de batata-mente Asterix, de tamanho uniforme e massa média de 70g com brotos de aproximadamente 2 cm. A data de emergência foi considerada quando cerca de 90 % das plantas já estavam com pelo menos uma haste emergida, que ocorreu no dia 10/06/2019. A adubação de plantio foi realizada com dose equivalente de 2000 kg ha⁻¹ de 5-30-10 (160 g m⁻¹ no sulco). As quantidades de Mg aplicadas por meio da calagem ou da adubação com NPK em cada tratamento são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de magnésio provenientes da calagem e do NPK + Mg.

Tratamento	Calcário	NPK+Mg (%)	Mg (kg ha ⁻¹)
1	sem	0	0
2	sem	1	20
3	sem	2	40
4	sem	4	80
5	sem	6	120
6	com	0	168
7	com	1	188
8	com	2	208
9	com	4	248
10	com	6	288

A aplicação de micronutrientes foi realizada 4 dias após a emergência das plantas com a aplicação dos fertilizantes segundo as recomendações para a cultura (FONTES, 2005): 10 kg ha⁻¹ de B (bórax); 15 kg ha⁻¹ de Zn (sulfato de zinco); 10 kg ha⁻¹ de Cu (sulfato de cobre) e 0,5 kg ha⁻¹ de Mo (molibdato de sódio). Os fertilizantes foram misturados com areia em um recipiente e distribuídos ao lado das plantas no sulco de plantio, seguindo com irrigação.

Aos 25 dias após a emergência (DAE) foi realizada a avaliação da taxa fotossintética líquida (A_N), coleta de material foliar para análise de metabólitos e determinação de nutrientes (Ca e Mg), adubação de cobertura e amontoa. Foi determinado o período de 25 DAE em razão das plantas estarem com tamanho ideal para realizar a amontoa (em torno de 25-30 cm de altura), e, além disso, é o período em que as plantas iniciam a fase de estolonização e tuberização.

Para determinação da taxa fotossintética líquida (A_N), utilizou-se o analisador IRGA LCpro-SD, com luz actínica constante (1500 μmol fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e temperatura do ambiente ($27 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,9$). As medições foram realizadas em um folíolo completamente expandido da quarta folha, no período de 7:30 às 10:30 da manhã.

Para a quantificação dos metabólitos, coletaram-se dois folíolos simples completamente expandidos da quarta folha. Assim que colhidas, as amostras de folhas foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido. As amostras foram liofilizadas antes da extração do metabólito. Aproximadamente 15 mg de folhas secas foram submetidas à extração metanólica com metanol, conforme descrito por Lisec et al. (2006) exceto pela adição do padrão ribitol. Os teores de clorofilas *a* e *b* foram determinados conforme descrito por Wellburn (1994). A partir da fração solúvel em metanol, as concentrações de glicose, frutose e sacarose foram determinadas como descrito por Fernie et al. (2001) e aminoácidos totais descrito por Yemm et al. (1955). A partir da fração insolúvel em metanol, o conteúdo total de proteínas solúveis (BRADFORD, 1976) foi determinado. Todos os compostos foram normalizados para a massa seca.

Para determinação dos teores de Ca e Mg nas folhas, coletaram-se dois folíolos simples completamente expandidos da quarta folha. O material colhido foi colocado para secagem em estufa de ventilação forçada à 60°C e moída em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh. Posteriormente, foram encaminhadas ao laboratório de análise de rotina para determinação do nutriente. Os teores foram determinados por espectrofotometria de emissão de chama com fonte de indução de plasma acoplada (ICP/OES).

Para a adubação de cobertura, foi utilizado 120 kg ha⁻¹ de N, com ureia, sendo distribuída ao lado das plantas. Em seguida, foi realizado a amontoa movimentando o

solo para a base das plantas em ambos os lados das fileiras, formando um camalhão com cerca de 20 cm de altura, estimulando o desenvolvimento de estolões e protegendo os tubérculos do solo, além de incorporar a ureia aplicada anteriormente.

A cultura no campo foi irrigada por aspersão convencional, semanalmente, ou assim que necessário, seguindo o procedimento adotado por Nunes (2004). O solo foi mantido próximo a capacidade de campo. A cultura foi conduzida no campo de acordo com as recomendações de Fontes, (2005), sendo o controle de pragas e doenças realizado com a aplicação de defensivos químicos registrados para a cultura.

Aos 65 DAE avaliaram-se os teores de Mg e Ca da quarta folha e matéria seca da parte aérea da planta. Para quantificação da matéria seca da parte aérea, coletou-se aleatoriamente, uma planta por parcela, que foi condicionado em saco de papel e colocado em uma estufa de circulação forçada de ar à 70°C até atingir massa constante, quando foi pesado em balança analítica com precisão de 0,01g para a determinação da matéria seca. Para a determinação do teor de Mg e Ca na folha, seguiu-se a mesma metodologia descrita aos 25 DAE.

As plantas foram colhidas aos 100 DAE, sendo quantificadas a produtividade total e comercial dos tubérculos, o teor de matéria seca dos tubérculos e teor de Mg dos tubérculos. Para a quantificação da produtividade total e comercial, três plantas úteis de cada parcela foram arrancadas e os tubérculos deixados sobre o solo por duas horas para a fixação da periderme. Posteriormente, os tubérculos foram lavados e separados em comerciais e não comerciais, tubérculos com podridões, ataques de pragas e doenças, defeitos de esverdeamento, embonecamento ou rachaduras foram classificados como não comerciais. Após a separação, os tubérculos foram pesados em balança analítica com precisão de 0,01g para a quantificação de matéria fresca.

Em seguida, foi retirada uma amostra de tubérculo comercial de cada parcela, sendo pesada e, posteriormente, colocada em estufa a 70 °C, até atingir massa constante para determinar o teor de matéria seca de tubérculos, onde:

$$\text{TMS} = (\text{MS}/\text{MF}) \times 100$$

Em que: TMS = teor de matéria seca (%), MF = massa da matéria fresca de tubérculos (g) e MS = massa da matéria seca de tubérculos (g).

Para determinação dos teores Mg dos tubérculos, a amostra seca do tubérculo comercial de cada parcela foi moída em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20

mesh. Posteriormente, os teores de Mg foram dosados por espectrofotometria de emissão de chama com fonte de indução de plasma acoplada (ICP/OES).

Os dados foram submetidos a análise de variância e o efeito das concentrações de Mg no formulado NPK, na presença e ausência da calagem, foi avaliado por meio de análise de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão e pelos valores de coeficiente de determinação (R^2), com as devidas correções com o quadrado médio da anova geral, adotando-se o nível de até 20% de probabilidade pelo test t. A análise de variância e confecção dos gráficos foram feitas com auxílio do R Core Team (2018).

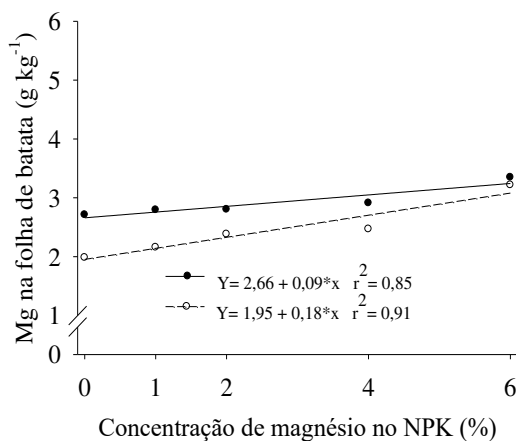
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas avaliações feita aos 25 e 65 DAE observou-se aumento linear dos teores de Mg na folha da batata com o aumento da concentração do nutriente no formulado NPK (Figura 1). A elevação dos teores foliares de Mg ocorreu tanto na presença quanto na ausência da calagem, porém foram sempre maiores nas plantas que receberam o corretivo de acidez (Figura 1).

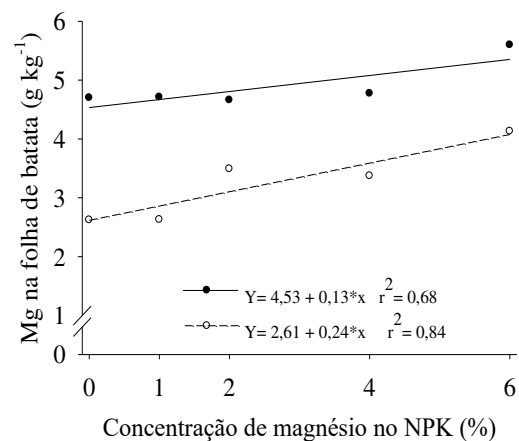
Aos 25 DAE e com a calagem, os teores foliares de Mg variaram de 2,7 para 3,2g kg⁻¹, nos tratamentos com zero e 6 % de Mg no formulado NPK, respectivamente (Figura 1, a). Quando não se realizou a calagem, os teores foliares de Mg variaram de 1,95 para 3,03g kg⁻¹, nos tratamentos com zero e 6 % de Mg no formulado NPK, respectivamente (Figura 1, a). Aos 65 DAE e com calagem, os teores foliares de Mg variaram de 4,53 para 5,31 g kg⁻¹, nos tratamentos com zero e 6 % de Mg no formulado NPK, respectivamente (Figura 1, b). Quando não se realizou a calagem, os teores foliares de Mg variaram de 2,61 para 4,05g kg⁻¹, nos tratamentos com zero e 6 % de Mg no formulado NPK, respectivamente (Figura 1, b). Isso representou um incremento de 18 e 55 % (aos 25 e 65 DAE) nos teores foliares de Mg com e sem a aplicação de calcário, respectivamente.

Figura 1 - Efeitos da combinação da calagem e da concentração de magnésio ao formulado NPK sobre o teor de na folha de batata aos 25 (a) e 65 (b) DAE. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. * significativo a 5% de probabilidade pelo test t.

a)



b)



Fonte: Produção do próprio autor.

A concentração de Mg no tecido foliar em ambos os períodos avaliados foi maior do que aqueles sugeridos por (MARTINEZ et al., 1999), de 1- 1,2 g kg⁻¹, mesmo no tratamento que não recebeu calagem e adubação NPK com Mg. Vale lembrar que o solo já possuía uma concentração deste nutriente (0,38 cmol_cdm⁻³, Tabela 1), o que pode ter

favorecido para o incremento no tecido foliar da batata. Entretanto, mesmo estando supostamente dentro da faixa adequada, percebe-se que, na ausência de calagem, a adição de Mg em formulados NPK é importante para aumentar a concentração foliar deste nutriente, uma vez que houve um incremento de 55 % nos teores foliares de Mg sem a aplicação de calcário. Maiores patamares de produtividade da batata, bem como diferenças de variedades podem influenciar no teor crítico do nutriente na folha, neste caso, aumentando-o. Assim, a adição complementar com Mg é necessária para atingir maiores produtividades e qualidade da batata, principalmente pelo fato de o nutriente estar envolvido na fotossíntese e translocação de fotoassimilados na planta.

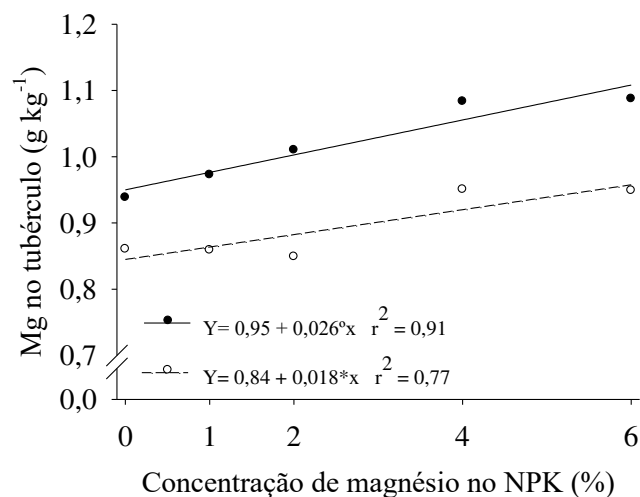
Observa-se também que aos 65 DAE os teores foliares de Mg foram aparentemente maiores quando comparados aos 25 DAE, tanto na presença quanto na ausência de calcário (Figura 1). Tais resultados provavelmente possam estar relacionados com a maior disponibilidade deste nutriente na solução do solo e conseqüentemente, maior absorção pelas plantas, ao longo do tempo. Para o êxito da calagem e obtenção do potencial completo de correção da acidez do solo, é necessário tempo para a reação do calcário, esta reação é influenciada tanto pelo teor de água presente no solo, quanto pelo poder de neutralização (PN) e poder relativo de neutralização total (PRNT) do calcário. O calcário utilizado no experimento possuía PN de 77% e PRNT de 76%, ou seja, teoricamente, 77% do calcário solubilizou no solo em período de três meses. No caso do óxido de magnésio utilizado no formulado NPK, por apresentar baixa solubilidade em água, e ser produto calcinado, é necessário que o fertilizante entre em contato com os ácidos orgânicos provenientes das exsudações radiculares e da decomposição da matéria orgânica para ser solubilizado, liberando Mg^{2+} trocável para a solução do solo. Os ácidos orgânicos permitem o enfraquecimento das ligações Mg-oxigênio da superfície do MgO, promovendo a dissolução do mesmo. Como a solubilidade do fertilizante depende de diversos fatores, provavelmente, a disponibilidade de Mg pelo material não ocorreu em um curto período de tempo.

Além disso, Fernandes et al. (2011b), estudando a extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata, verificaram que a época de maior demanda por macronutrientes pelas cultivares ocorreu na fase inicial de enchimento dos tubérculos (42 a 70 DAP). Acredita-se que esse fato também possa vir a explicar a razão pela qual, aos 65 DAE, a absorção e conseqüentemente a concentração de Mg no tecido vegetal da batata foi maior, quando comparado aos 25 DAE.

Verificou-se que, o incremento de Mg no formulado NPK promoveu aumento linear do teor de Mg no tubérculo (Figura 2). A elevação do teor de Mg no tubérculo

ocorreu tanto na presença quanto na ausência da calagem, porém foi maior nas plantas que receberam o corretivo de acidez (Figura 2). Para aqueles tratamentos que receberam a calagem, o teor de Mg no tubérculo variou de 0,95 para 1,11 g kg⁻¹, nos tratamentos com zero e 6 % de Mg no formulado NPK, respectivamente. Quando não se realizou a calagem, o teor de Mg no tubérculo variou de 0,84 para 0,95 g kg⁻¹, nos tratamentos com zero e 6 % de Mg no formulado NPK, respectivamente. Isso representou incremento de 17 % e 13 % nos teores de Mg nos tubérculos com e sem a aplicação de calcário, respectivamente.

Figura 2 - Efeito da calagem e da concentração de magnésio no formulado NPK sobre o teor de magnésio no tubérculo de batata. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. *, ° significativo a 5% e 10% de probabilidade pelo test t.



Fonte: Produção do próprio autor.

Tubérculos de batata (com casca) apresentam teor médio de 0,95 g kg⁻¹ de Mg (NEPA, 2011.; FERNANDES et al., 2008). A adição de Mg ao formulado NPK 5-30-10, associado a calagem, promoveu aumento no teor de Mg nos tubérculos, indicando que seria possível realizar uma biofortificação da cultura. Plantas de batata fertilizada com NPK + 6% de Mg apresentaram teores de até 1,11 g kg⁻¹ de Mg no tubérculo, o que representa aumento de 17% em relação aos teores normalmente encontrados (NEPA, 2011.; FERNANDES et al., 2008). Entretanto, essa concentração de Mg no formulado não foi a que permitiu a maior produtividade ou porcentagem de tubérculos comerciais. A adição de 3,5% de Mg ao formulado NPK permitiu maior produtividade e porcentagem de tubérculos comerciais de batata (33,6 t ha⁻¹ e 87%, respectivamente), com teor de Mg no tubérculo de 1,04/kg, o que representa um incremento 9,5% de Mg no tubérculo em relação aos teores normalmente encontrados (NEPA, 2011.; FERNANDES et al., 2008).

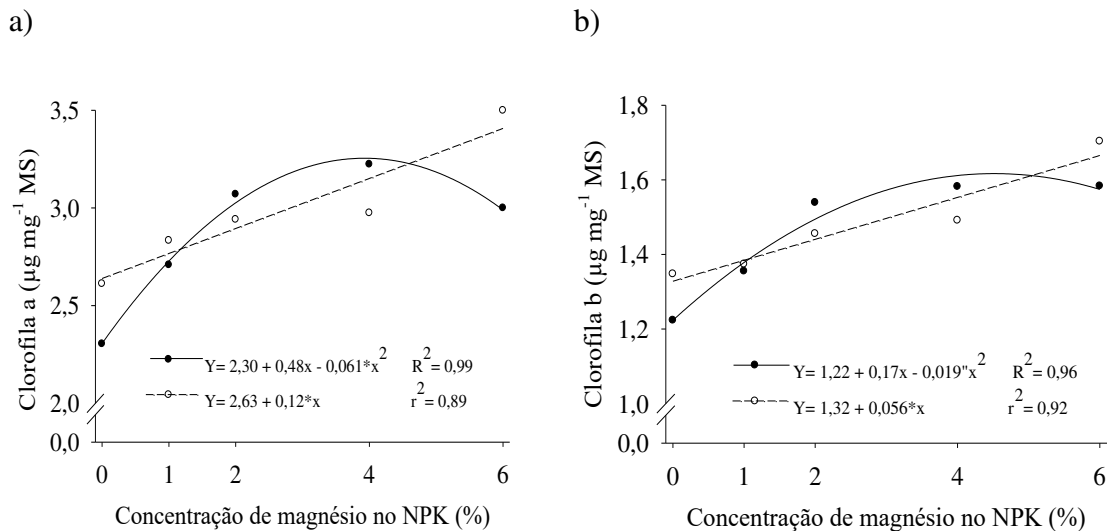
Mais de 70% da população brasileira encontra-se deficiente em Mg (ARAÚJO et al., 2013), e de acordo com Dibaba et al. (2014), a deficiência de Mg está associada a níveis mais altos de inflamação e risco cardiovascular. Sendo assim, o incremento de Mg nos tubérculos de batata observado neste trabalho, pode ser alternativa importante para possível biofortificação da cultura, que pode vir a diminuir a deficiência do nutriente no organismo humano. 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 do nutriente pode atingir níveis tóxicos 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 (LOPES, 2018). Estudando as características da planta e do solo e produtividade de tubérculos de batata em função da aplicação de Mg, Lopes (2018) verificou que não foi possível biofortificar os tubérculos de batata com Mg, mas, encontrou até $0,92 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg, valor este, abaixo do obtido com 3,5% de Mg no formulado NPK + aplicação de calcário.

Ainda analisando o teor de Mg no tubérculo de batata, percebe-se que a aplicação de calcário no solo aumentou 13% o teor de Mg nos tubérculos, quando comparado com aqueles tratamentos que não receberam calagem (Figura 2). Nesse sentido, além de melhorar as condições químicas do solo, a calagem também possibilita ganhos na qualidade nutricional da batata com Mg. Outro fator importante a ser analisado é que a aplicação de calcário no solo + 0% de Mg no formulado forneceu teor de $0,95 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg (teor de Mg geralmente encontrado nos tubérculos). Para obter este mesmo teor de Mg no tubérculo de batata sem aplicação de calcário no solo, é necessário aplicar o formulado NPK + 5,8% de Mg, o que corresponde a 120 kg ha^{-1} de óxido de magnésio.

Aos 25 DAE, para os tratamentos que receberam calagem, a concentração de Chl *a* no tecido foliar da batata variou de 2,30 para $3,24 \mu\text{g mg}^{-1}$ MS, com zero e 3,93% de Mg ao formulado NPK, respectivamente (Figura 3,a). Nos tratamentos que não receberam a calagem, houve um aumento linear da concentração de Chl *a* com o incremento de Mg no formulado NPK, tendo uma variação de 2,63 para $3,35 \mu\text{g mg}^{-1}$ MS nos tratamentos com zero e 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente (Figura 3,a). O mesmo efeito é encontrado para a concentração de clorofila *b*. Para os tratamentos que receberam calagem, a concentração de Chl *b* no tecido foliar da batata variou de 1,2 para $1,6 \mu\text{g mg}^{-1}$ MS, nos tratamentos com zero e 4,47% de Mg ao formulado NPK, respectivamente

(Figura 3,b). Nos tratamentos que não receberam a calagem, houve um aumento linear da concentração de Chl *b* com o incremento de Mg no formulado NPK, tendo uma variação de 1,32 para 1,65 $\mu\text{g mg}^{-1}$ MS nos tratamentos com zero e 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente (Figura 3,b).

Figura 3 - Efeito da calagem e da concentração de magnésio ao formulado NPK sobre a concentração de clorofila *a* (a) e *b* (b) em folhas da batata aos 25 DAE. Com calagem —●—, Sem calagem - -○- -. *, " significativo a 5 e 20% de probabilidade pelo test t, respectivamente.



Fonte: Produção do próprio autor.

As clorofilas são os pigmentos naturais mais abundantes presentes nas plantas e ocorrem nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais. Elas são responsáveis pela captação da radiação luminosa que pode ser convertida em energia bioquímica na forma de ATP, NADPH e carboidratos. Por essa razão, são estreitamente relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente, ao seu crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes. As clorofilas são moléculas formadas por complexos derivados da porfirina, tendo como átomo central o Mg (SCHOEFS, 2002), portanto, o papel do Mg na síntese de clorofilas é descrito na literatura (TAIZ e ZAIGER, 2016). Como a disponibilidade de Mg afeta o teor de clorofila, uma resposta comum à deficiência deste nutriente é a redução das concentrações de clorofila, como demonstrado em vários estudos (MENGUTAY et al., 2013.; TRÄNKNER et al., 2016). Provavelmente, por esta razão, o aumento dos teores de Mg no formulado NPK, aumentou a concentração de Chl *a* e *b* nas folhas de batata.

Estudando o crescimento e teores de clorofila e carotenoides em três cultivares de soja em função da adubação com Mg, Nascimento et al. (2009) observaram que para as cultivares BRS 154 e BRS 66 houve um aumento nas concentrações de clorofila com o

aumento nas concentrações de Mg no solo. Da mesma forma, Moreira et al. (2015) estudando alterações induzidas por Mg no desempenho fotossintético de arroz, também verificaram aumentos na concentração de Chl *a* e *b* com o aumento das concentrações de Mg em solução nutritiva.

No presente estudo, observou-se que, plantas de batata que receberam aplicação de calcário e adição do formulado NPK + 6% de Mg apresentaram decréscimo na concentração de Chl *a* e *b*, o que indica a redução de 8 e 2,6% na produção de clorofila *a* e *b*, respectivamente, em comparação à condição de máxima concentração de clorofila. Esses resultados mostram a importância de se encontrar concentrações adequadas de Mg no formulado, para não ocorrer excesso e desbalanço de nutrientes nos cultivos e conseqüentemente de Chl nas plantas. Na ausência da calagem e, portanto, menor disponibilidade de Mg no solo, não houve redução da concentração de clorofila, mesmo na maior concentração de Mg no formulado (6%).

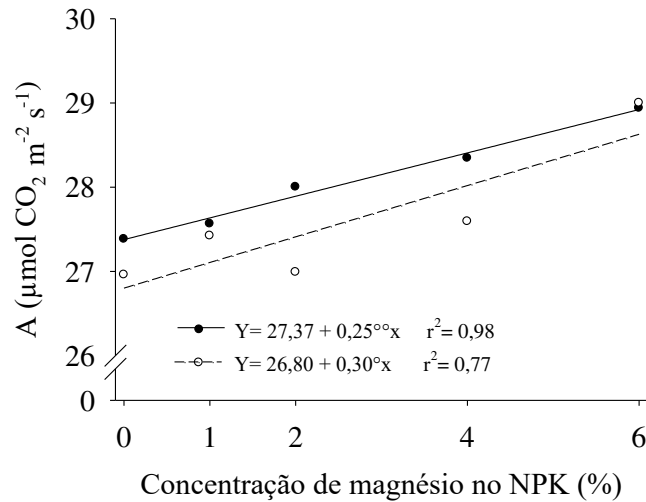
O Mg tem papel fundamental para o crescimento e desenvolvimento das plantas, entre os processos metabólicos e as reações particulares influenciados pelo Mg inclui a formação de clorofila (WIEND, 2007). Entretanto, de acordo com Huber e Maury (1980), um excesso de Mg pode alterar o pH do estroma, tornando-o ácido, e essa acidificação afeta o bombeamento de H⁺ através do tilacoide. Além disso, a acidificação estromal pode diminuir a ativação das clorofilas (HUBER, 1978), que funcionam em pH abaixo do ideal, em torno de 7 a 7,6 (HUBER e MAURY, 1980). De acordo com Von Elbe (2000), o pH básico (9,0) torna a clorofila mais estável ao calor, quando comparada ao pH ácido (3,0).

Estudando a caracterização da toxicidade do Mg, sua influência na via de síntese de aminoácidos e características bioquímicas do chá, Venkatesan e Jayaganesh (2010), também verificaram que o Mg adicionado ao solo, aumentou o teor de clorofila das folhas de chá até 750 mg kg⁻¹ de solo, posteriormente, com maiores concentrações de Mg, o teor de clorofila diminuiu acentuadamente.

Aos 25 DAE, observa-se aumento linear da fotossíntese nas folhas de batata com o aumento da concentração de Mg no formulado NPK (Figura 4). A elevação da taxa fotossintética ocorreu tanto na presença quanto na ausência da calagem, porém foi sempre maior nas plantas que receberam o corretivo de acidez. Com a calagem, a taxa fotossintética variou de 27,37 para 28,87 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nos tratamentos com zero e 6 % de Mg no formulado NPK, respectivamente. Quando não se realizou a calagem, a taxa fotossintética variou de 26,80 para 28,6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, nos tratamentos com zero e 6 % de Mg no formulado NPK, respectivamente. Assim, a adição de 6% de Mg no

formulado NPK em relação a não adição, representou um incremento de 5,5 e 6,7 % na taxa fotossintética da batata com e sem a aplicação de calcário, respectivamente.

Figura 4 - Efeito da calagem e da concentração de magnésio no formulado NPK sobre a taxa fotossintética da batateira. Com calagem —•—, Sem calagem ---. °°, ° significativo a 15 e 10% de probabilidade pelo test t, respectivamente.



Fonte: Produção do próprio autor.

As taxas fotossintéticas em plantas C3 de modo geral variam entre 10 e 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (TAIZ e ZEIGER, 2013), valor este, abaixo do obtido neste trabalho com batata, que também é classificada como planta C3.

O aumento da atividade fotossintética em razão do aumento das concentrações de Mg no formulado NPK ocorreu, provavelmente, devido às diversas funções deste mineral no metabolismo vegetal. Além disso, estes resultados indicam que as plantas estavam deficientes e, portanto, os critérios de recomendações de calagem e adubações atuais, muita das vezes realizada por muitos produtores, não atendem as restrições das plantas. Por possuir funções-chave, diversos processos fisiológicos e bioquímicos críticos são adversamente afetados pela deficiência do Mg na planta, levando a prejuízos no crescimento e na produção da mesma (MARSCHNER, 2012). Incluem entre os processos metabólicos e as reações particularmente influenciadas pelo Mg a fotofosforilação oxidativa (como a formação de ATP nos cloroplastos), a fixação fotossintética do CO_2 , a síntese proteica, a formação de clorofila, o carregamento de fotoassimilados via floema, dentre outros (CAKMAK e YAZIC., 2010). O aumento da fotossíntese em folhas com suprimento de Mg é geralmente associada ao aumento na fixação fotossintética de CO_2 , visto que este nutriente atua como cofator e ativador alostérico de enzimas de fixação de CO_2 (MARSCHNER, 2012), além de estar envolvido na transferência de energia via

trifosfato de adenosina (IGAMBERDIEV e KLECZKOWSKI, 2003) e controle de pH (WU et al., 1991). A atividade da Rubisco é dependente de Mg e pH, e a ligação do Mg a esta enzima promove aumento na sua afinidade (K_m) com o CO_2 , bem como a velocidade máxima (V_{max}) da reação. Sendo assim, a maior concentração de Mg no formulado NPK aumentou a taxa fotossintética das plantas avaliadas nesse trabalho.

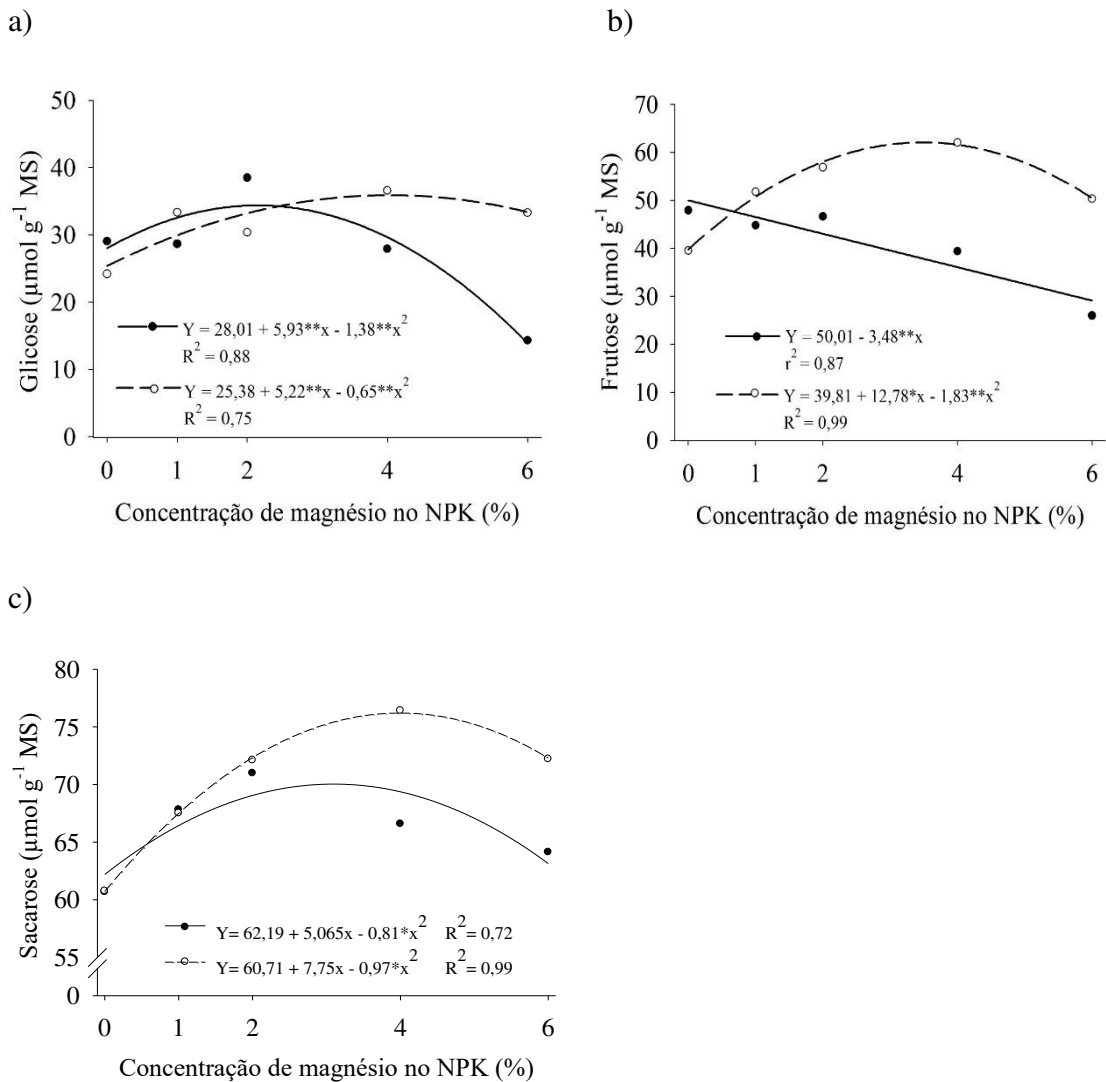
O aumento na fotossíntese também pode ocorrer em função do papel que o Mg desempenha na cadeia transportadora de elétrons (CTE) plastidial. Durante o transporte de elétrons entre os centros de reação PSI e PSII, prótons são bombeados do estroma para o lúmen do tilacoide, que se torna mais ácido, induzindo a um gradiente de prótons através da membrana do tilacoide. Esse transporte de prótons induzido pela luz para o lúmen do tilacoide é contrabalançado pelo transporte de Mg do lúmen do tilacoide ao estroma (KRAUSE, 1977). O gradiente de potencial eletroquímico, que se estabelece, através da membrana do tilacoide é necessário para a síntese de ATP (ALLEN, 2002).

Percebe-se ainda que na dose de zero % de Mg no formulado, a aplicação da calagem, aumentou a taxa fotossintética ajustada em 2,13% quando comparada com aqueles tratamentos que não receberam calagem. A calagem é uma das práticas agrícolas menos onerosas e efetiva na melhoria das condições do ambiente em que as plantas se desenvolvem, principalmente, pela elevação do pH, neutralização do Al^{3+} trocável, fornecimento de Ca e de Mg, além de possibilitar maior desenvolvimento radicular das plantas e influenciar na disponibilidade de outros nutrientes, caracterizando assim, um insumo de vital importância para o desenvolvimento das culturas em solos ácidos.

Estudando a capacidade fotossintética, estado nutricional e crescimento de milho com aplicação de $MgSO_4$ via foliar, Jezek et al. (2015) verificaram uma diminuição da taxa fotossintética com a deficiência deste nutriente. As folhas controle, que estavam bem nutridas apresentaram taxas de assimilação estáveis de cerca de $21 \mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$, enquanto diminuição contínua foi observada na deficiência de Mg de $6,8 \mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$ no dia 37 a $2,0 CO_2 m^{-2} s^{-1}$ no dia 51. Estudando as características fotossintéticas de batata cv. Baronesa e seu genótipo transformado geneticamente para resistência ao PVY, Bacarin et al. (2008) obtiveram valor médio para taxa fotossintética da batata em $9,90 \mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$, em situação experimental diferente deste trabalho.

Na Figura 5, encontram-se as concentrações de glicose, frutose e sacarose da folha de batata, aos 25 DAE.

Figura 5 - Efeitos da combinação da calagem e da concentração de magnésio ao formulado NPK sobre a concentração de glicose (a), frutose (b) e sacarose (c) na folha de batata 25 DAE. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. **, * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo test t, respectivamente.



Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando a concentração de glicose em folhas de batata aos 25 DAE (Figura 5, a), percebe-se que para aqueles tratamentos que receberam calcário, sua concentração variou de 28,01 para 34,32 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, nos tratamentos com zero e 2,14% de Mg no formulado NPK, respectivamente. Para aqueles tratamentos que não receberam calcário a concentração de glicose no tecido foliar da batata variou de 25,37 para 35,9 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, nos tratamentos com zero e 4% de Mg no formulado NPK, respectivamente.

Analisando os resultados da concentração de frutose nas folhas de batata aos 25 DAE (Figura 5, b), percebe-se que para aqueles tratamentos que receberam calagem, a concentração de frutose variou de 50 para 29,12 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, nos tratamentos com zero e 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente. Para aqueles tratamentos que não receberam o calcário, a concentração de frutose no tecido foliar da batata variou 39,80

para 62,02 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, nos tratamentos com zero e 3,49% de Mg no formulado NPK, respectivamente.

Analisando a concentração de sacarose nas folhas da batata aos 25 DAE (Figura 5, c), percebe-se que para aqueles tratamentos que receberam a calagem, a concentração de sacarose variou de 62,19 para 70,11 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, nos tratamentos com zero e 3,13% de Mg no formulado NPK, respectivamente. Para aqueles tratamentos que não receberam calcário a concentração de sacarose variou de 60,71 para 76,19 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, nos tratamentos com 0 e 4% de Mg no NPK, respectivamente.

A glicose é um monossacarídeo simples e pode ser encontrada na sua forma natural, numa variedade imensa de plantas, que a produzem através da fotossíntese e a armazenam na forma de amido. A frutose também é um monossacarídeo simples e está presente na sua forma natural nos tubérculos, possui estrutura molecular na forma de hexose, onde se encontra majoritariamente ligada à glicose, formando o dissacarídeo sacarose, estando também presente na sua forma livre, em maior ou menor quantidade (WHITE, 2008). Nesse sentido, como a frutose e glicose são precursoras da sacarose, o déficit de uma ou de ambas, prejudica a formação da sacarose.

A síntese de carboidratos ocorre nas folhas (fonte) e são translocados para outras partes da planta (dreno), na forma de sacarose. Esse carboidrato desempenha papel fundamental nas plantas, pois é uma molécula importante na distribuição de fotoassimilados e é fonte de carbono para manter o metabolismo da célula e o crescimento e desenvolvimento da planta, havendo constantes alterações nas relações fonte-dreno, ao longo da vida do vegetal (ROITSCH e GONZÁLEZ, 2004).

O carregamento de sacarose no floema é um processo ativo, catalisado por cotransporte de sacarose, vinculado ao transporte de íons hidrogênio, envolvendo um gradiente de prótons através da membrana plasmática de células do floema. O gradiente de prótons necessário para o cotransporte de H^+ e sacarose é catalisado pela enzima H^+ -ATPase, situada na membrana plasmática de células do tubo crivado (TAIZ e ZEIGER, 2013). Quando a disponibilidade de Mg é insuficiente, a exportação de sacarose é dificultada, e as folhas acumulam de três a doze vezes mais sacarose, quando comparadas às folhas com suprimento adequado de Mg, indicando que a deficiência desse nutriente causa inibição severa no transporte de sacarose das folhas para os órgãos dreno (CAKMAK et al., 1994). Assim, é mais provável que a redução no carregamento do floema ocorra porque as moléculas de ATP, necessárias ao fornecimento de energia para o transporte ativo dos solutos, são queladas com um Mg (SALISBURY e ROSS, 2012), formando o complexo Mg-ATP (IGAMBERDIEV e KLECZKOWSKI, 2003), essencial

para o bom funcionamento da H^+ -ATPase (BUSH, 1989). Logo, uma queda na concentração de Mg-ATP nos locais de carregamento do floema reduz o transporte de sacarose (CAKMAK e KIRKBY, 2008).

Com o acréscimo de Mg no formulado NPK, plantas de batata que receberam aplicação de calcário, apresentaram menor concentração de açúcares solúveis em suas folhas (Figura 5). Provavelmente, a melhoria das condições químicas do solo com a aplicação do corretivo de acidez, favoreceu para maior disponibilidade de nutrientes, como por exemplo fósforo e potássio, ambos nutrientes também contribuem para o transporte de fotoassimilados nas culturas, além de proporcionar maior produção de matéria seca na folha e diluição na concentração dos açúcares. Além disso, a maior concentração de Mg adicionada ao solo em virtude da aplicação do corretivo de acidez, propiciou maior concentração deste nutriente na folha (Figura 1) e por atuar na partição de fotoassimilados, provavelmente, beneficiou a translocação destes açúcares da folha para os tubérculos. Por influenciar na partição de carboidratos e a alocação de biomassa entre parte aérea e sistema radicular (CAKMAK e KIRKBY, 2008), aumentos substanciais no acúmulo de carboidratos em folhas deficientes de Mg, juntamente com o aumento nas relações de matéria seca parte aérea/raiz, indicam que a exportação de fotoassimilados da fonte para órgãos drenos é prejudicada pela deficiência de Mg (CAKMAK; et al., 1994).

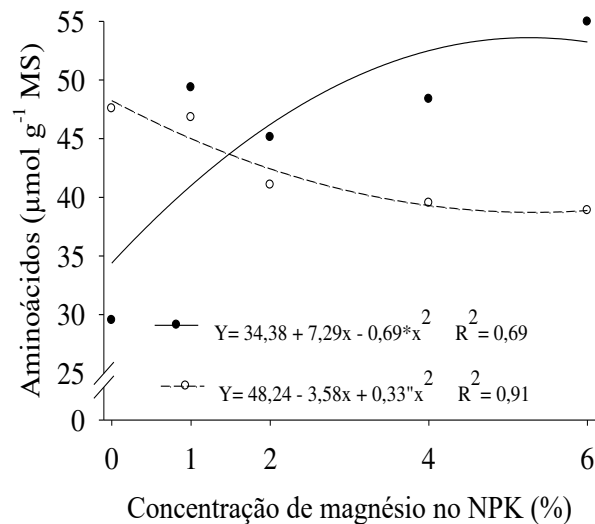
Portanto, a calagem juntamente com suplementação de Mg em formulações NPK são de vital importância para garantir maior partição de fotoassimilados na planta e conseqüentemente, maior crescimento dos tubérculos.

Estudando o efeito do potássio e Mg na nutrição da batata e qualidade dos tubérculos, Koch (2018) também verificaram um aumento acentuado das concentrações totais de açúcar solúvel nas folhas das plantas que encontravam-se inadequadamente nutridas com Mg e K.

Aos 25 DAE, observou-se que plantas de batata ao receberem calcário apresentaram acréscimo na concentração de aminoácidos nas folhas com o aumento das concentrações de Mg no formulado NPK (Figura 6). Efeito contrário ocorreu para aquelas plantas não receberam calcário, onde apresentaram decréscimo na concentração de aminoácidos com o incremento de Mg no formulado NPK. Para aqueles tratamentos que receberam calagem, a concentração de aminoácidos na folha de batata variou de 34,38 para 53,61 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, nos tratamentos com zero e 5,28% de Mg no formulado NPK, respectivamente. Para aqueles tratamentos que não receberam calagem, a concentração de aminoácidos na folha variou de 48,24 para 38,53 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, nos tratamentos com

zero e 5,42% de Mg no formulado NPK, respectivamente. Isso representou um incremento de 56 e 27% na concentração de aminoácidos nas folhas de batata com e sem calagem, respectivamente.

Figura 6 - Efeitos da combinação da calagem e da concentração de magnésio ao formulado NPK sobre a concentração de aminoácidos totais na folha de batata aos 25 DAE. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. *, " significativo a 5 e 20% de probabilidade pelo test t, respectivamente.



Fonte: Produção do próprio autor.

Os aminoácidos estão presentes em todas as plantas, existem cerca de 20 aminoácidos essenciais possuindo concentrações e funções distintas. Suas principais funções são a síntese de proteínas, o preparo de substâncias reguladoras do metabolismo vegetal e ativador de metabolismos fisiológicos. Além disso, os aminoácidos têm como função interagir com a nutrição da planta, aumentando a eficiência da absorção, transporte e assimilação de nutrientes (CASTRO e CARVALHO, 2014). A importância dos aminoácidos nas plantas, é indiscutível, pois estão envolvidos em grande parte do metabolismo primário e secundário, levando à síntese de vários compostos que influenciam na produção e na qualidade dos frutos (ALBUQUERQUE e DANTAS, 2010).

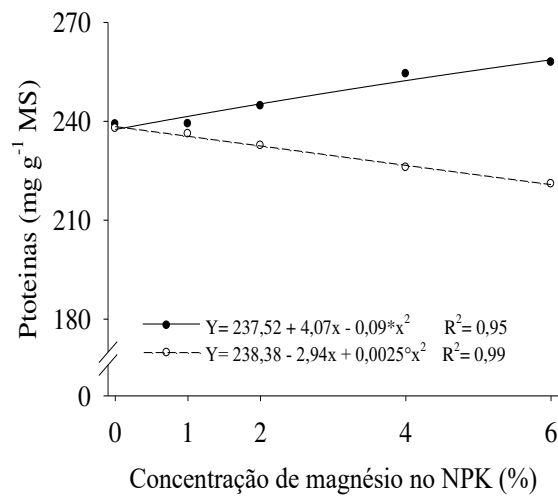
A incorporação de calcário ao solo associada a elevação das concentrações de Mg no formulado NPK, aumentou a concentração de aminoácidos nas folhas de batata (Figura 6), provavelmente, tal fato ocorreu devido a melhoria nas condições químicas do solo, com a correção de acidez. Os efeitos da aplicação de calagem são positivos, pois segundo Ridley et al. (2001) aumentam a possibilidade de movimento descendente de Ca^{2+} móvel e Mg^{2+} , que acompanham o NO_3^- . A maior parte do nitrogênio é absorvida pelas plantas

na forma de nitrato (NO_3^-), que, ao ser absorvido pelas raízes, pode ser reduzido ou armazenado nos vacúolos, ou translocados para a parte aérea, onde será reduzido ou armazenado nos vacúolos foliares (TAIZ e ZIEGER, 2004). A redução de nitrato (NO_3^-) para nitrito (NO_2^-) ocorre no citosol e envolve a ação da enzima nitrato redutase (NR), e, logo a seguir, ele é convertido a amônio (NH_4^+) no plastídio, através da enzima redutase do nitrito (RNi) (CRAWFORD, 1995). As enzimas glutamina sintetase (GS) e a glutamato sintase (GOGAT) convertem o NH_4^+ em aminoácidos e seus metabólitos (BURRIS, 1999.; CRAWFORD, 1995) e o íon Mg é responsável por ativar a glutamato sintase (GS) nos plastídios (FAQUIN, 2005), portanto, nota-se a importância de utilizar o formulado NPK + Mg associado à calagem para garantir maior concentração de aminoácidos nas folhas de batata.

Além disso, a calagem aumenta a disponibilidade de molibdênio, que por sua vez, é um elemento importante no metabolismo do nitrogênio por fazer parte do complexo enzima nitrogenase e redutase do nitrato (TAIZ e ZIEGER, 2004). Nesse sentido, a produção de aminoácidos e, conseqüentemente, de proteínas são afetados pela deficiência de molibdênio.

Nas avaliações feitas aos 25 DAE, percebe-se que para os tratamentos que receberam calagem, houve aumento linear da concentração de proteína na folha da batata com o aumento da concentração do nutriente no formulado NPK (Figura 7). Para aqueles tratamentos que não receberam calagem, percebe-se um decréscimo da concentração de proteínas na folha de batata com o aumento das concentrações de Mg no formulado NPK. Para aqueles tratamentos que receberam calagem, a concentração de proteínas na folha de batata variou de 237,5 para 258,7 mg g^{-1} MS, nos tratamentos com zero e 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente. Para aqueles tratamentos que não receberam calagem, a concentração de proteínas na folha variou de 238,4 para 220,9 mg g^{-1} MS, nos tratamentos com zero e 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente.

Figura 7 - Efeitos da combinação da calagem e incremento de magnésio ao formulado NPK sobre a concentração de proteínas na folha de batata aos 25 DAE. Com calagem —●—, Sem calagem ---○---. *, ° significativo a 5 e 10% de probabilidade pelo test t, respectivamente.



Fonte: Produção do próprio autor.

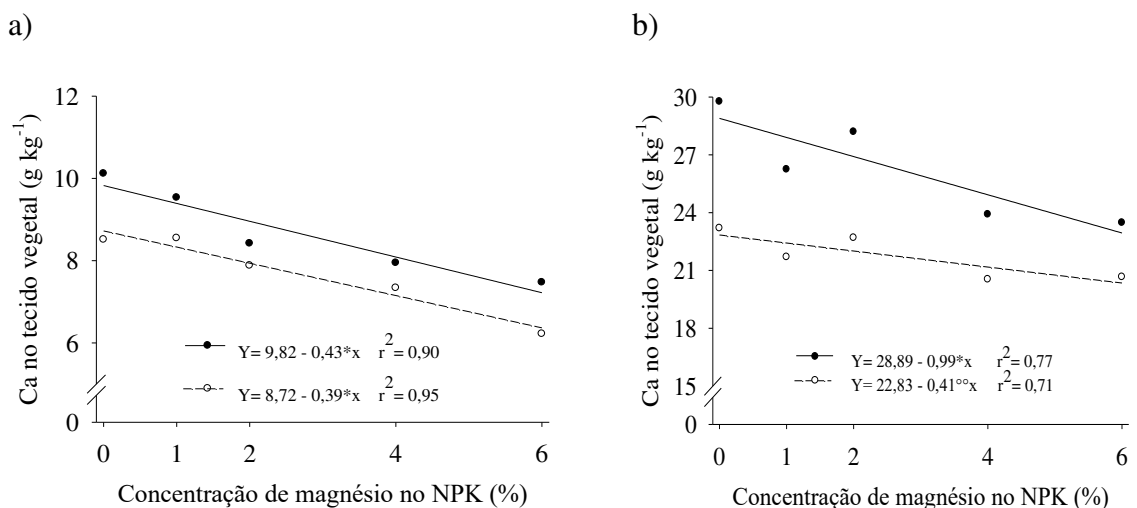
A produção de proteína na folha de batata seguiu o mesmo efeito encontrado para a produção de aminoácidos, possivelmente pelo fato de que os aminoácidos são os constituintes básicos da síntese de proteína. Tais proteínas, por sua vez, constituem diversas funções dentro de um ser vivo, sendo partes integrantes de componentes celulares (TAIZ e ZIEGER, 2004). Além disso, os ribossomos são estruturas macromoleculares responsáveis pela biossíntese de proteínas, e, a forma ativa dos ribossomos requer agregação de duas subunidades, exigindo que o Mg forme uma ponte entre as subunidades. Portanto, a biossíntese de proteínas é fortemente reduzida sob deficiência de Mg, levando a concentrações aumentadas de aminoácidos precursores (MARSCHNER, 2012).

A ativação preliminar dos aminoácidos, obrigatória no processo da síntese proteica exige Mg, e a transferência dos aminoácidos ativados para formar a cadeia polipeptídica ou proteica também necessita de Mg. Assim, o Mg participa de uma série de processos vitais da planta que requerem e fornecem energia como a fotossíntese, respiração, síntese de macromoléculas, carboidratos, lipídeos, proteínas e absorção iônica.

Aos 25 e 65 DAE, percebe-se que o aumento das concentrações de Mg no formulado NPK favoreceu para um decréscimo dos teores de Ca no tecido vegetal da batata (Figura 8). Aos 25 dias, para os tratamentos que receberam calagem, o teor de cálcio no tecido vegetal da batata variou de 9,82 para 7,24 g kg⁻¹ nas concentrações de

zero e 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente (Figura 8,a). Para aqueles tratamentos que não receberam calagem, o teor de cálcio no tecido vegetal da batata variou de 8,72 para 6,38 g kg⁻¹ nas concentrações de zero e 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente (Figura 8,a). Aos 65 DAE e para aqueles tratamentos que receberam calagem, o teor de Ca no tecido vegetal da batata variou de 28,89 para 22,95 g kg⁻¹, nas concentrações de zero e 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente (Figura 8,b). Para aqueles tratamentos que não receberam calagem, o teor de Ca no tecido vegetal da batata variou de 22,83 para 20,37 g kg⁻¹ nas concentrações de zero de 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente (Figura 8,b).

Figura 8 - Efeitos da combinação da calagem e da concentração de magnésio ao formulado NPK sobre o teor de cálcio na folha de batata aos 25 DAE. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. *, °° significativo a 5 e 15% de probabilidade pelo test t, respectivamente.



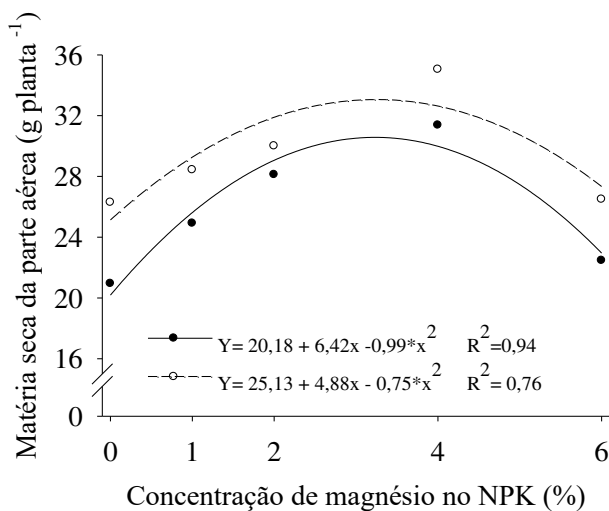
Fonte: Produção do próprio autor.

Essa relação Ca:Mg é muito discutida do ponto de vista agrônomo por haver uma competição entre ambos nutrientes pelos sítios de adsorção no solo. Ca e o Mg possuem propriedades químicas muito similares, como grau de valência, raio iônico, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja uma competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes. Como consequência, a presença excessiva de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro (ORLANDO FILHO et al., 1996). Sendo assim, neste trabalho, a maior presença do Mg no solo pode ter prejudicado a absorção do Ca pelas plantas de batata. Estudando, a extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata, Fernandes et al. (2011,b) encontraram teor foliar de 16,4 g de Ca/kg na cultivar Asterix, valor este superior ao obtido neste trabalho aos 25 DAE e inferior ao obtido com 65 DAE.

O Ca é indispensável para os pontos de crescimento (meristemas) onde se processa a divisão mitótica na planta, bem como no desenvolvimento radicular, atuando nos processos de alongamento celular, desintoxicação dos íons hidrogênio e divisão celular. Os cátions de cálcio se combinam com grupos carboxílicos de ácido pectico dando origem ao pectato de cálcio que juntamente com o pectato de Mg, formam lamela média da parede celular, responsável pela ligação das células adjacentes (MASCARENHAS, 1977).

Analisando a matéria seca da parte aérea da batata (MSPA) (Figura 9), observa-se que para aqueles tratamentos que receberam calcário, os teores de MSPA variaram de 20,18 para 30,58 g planta⁻¹, nos tratamentos com zero e 3,24% de Mg no formulado NPK, respectivamente. Para os tratamentos que não receberam calcário, os teores de MSPA variaram de 25,13 para 33,07 g planta⁻¹, nos tratamentos com 0 e 3,25% de Mg no formulado NPK, respectivamente. Concentrações mais elevadas de Mg no formulado NPK levaram a diminuição da MSPA, inclusive com valores estatisticamente próximos aos do tratamento com menor concentração de Mg no NPK.

Figura 9 - Efeito da calagem e do incremento de magnésio no formulado NPK sobre a matéria seca da parte aérea da batata aos 65 DAE. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. * significativo a 5% de probabilidade pelo test t.



Fonte: Produção do próprio autor.

Provavelmente, nas menores concentrações de Mg no formulado, a produção de MSPA foi menor em razão do limitado suprimento deste nutriente ao solo. De acordo com Silva et al. (2014), o Mg possui forte correlação com a produção de massa de matéria seca das plantas, e isto é atribuído as suas diversas funções na planta, principalmente, com sua capacidade de interagir com ligantes nucleofílicos, como os grupos fosforílicos,

por meio de ligações iônicas, e agindo como elemento de ligação e, ou, formando complexos de diferentes estabilidades.

Entretanto, um excesso deste mineral também pode causar alguns distúrbios nas plantas. De acordo com Martinez et al. (1999), a faixa descrita como adequada para a concentração de Mg no tecido foliar da batata é de 1 – 1,2 g kg⁻¹ de matéria seca, percebe-se na Figura 1, que em ambos os fatores analisados (com e sem calagem), mesmo nas menores concentrações de Mg no formulado NPK o teor de Mg no tecido foliar da batata estava supostamente acima do indicado como adequado pelos autores. Entretanto, na concentração de 6% de Mg no formulado NPK, o teor de Mg no tecido foliar da batata estava maior quando comparado com as outras concentrações do nutriente no formulado, chegando a 5,31 g kg⁻¹ e 4,05 g kg⁻¹ para os tratamentos com e sem calagem, respectivamente, indicando uma possível fitotoxidez oculta, que por sua vez, possa vir a influenciar no crescimento e assimilação de nutrientes pela cultura, afetando também a produção de matéria seca da planta. Voisin (1973) enunciou a lei do máximo, dizendo que o excesso de um nutriente no solo reduz a eficácia de outros e, por conseguinte, pode diminuir o crescimento e/ou o rendimento das colheitas. Em outras palavras, a dose de determinado nutriente pode ser tão elevada, que causa toxidez do próprio nutriente ou inibe a ação de outro, reduzindo o crescimento e produção da cultura.

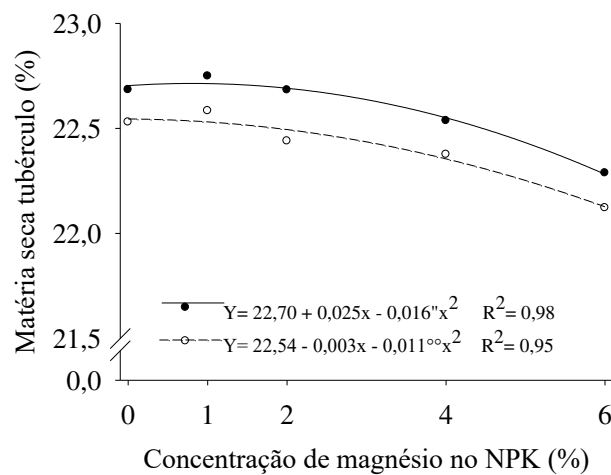
Além disso, conforme mencionado anteriormente, o aumento das concentrações de Mg no formulado NPK diminuíram a absorção de Ca pela planta (Figura 8), e, devido as funções exercidas por este nutriente na planta, como por exemplo, permeabilidade e estrutura da parede celular, alongação e divisão celular, além da translocação de carboidratos e nutrientes, possivelmente, esse decréscimo na sua absorção possa ter contribuído para um menor desenvolvimento da cultura, afetando a produção de matéria seca pela mesma, principalmente na concentração de 6% de Mg no formulado, onde houve menor absorção de Ca pela cultura.

Ainda analisando a produção de MSPA da batata, percebe-se que a ausência de calagem no solo e, por conseguinte, plantas com uma menor concentração de Mg no tecido vegetal, aumentaram em 24,5% sua produção de MSPA (Figura 9). A baixa concentração de Mg em plantas favorece o acúmulo de carboidrato não estrutural nas folhas (amido, açúcar) (CAKMAK e KIRKBY, 2008) e este efeito foi evidenciado neste trabalho (Figura 5), onde, as plantas que não receberam aplicação de calcário, acumularam açúcares solúveis nas folhas. Esse acúmulo de carboidratos (açúcares solúveis) é o principal responsável pela maior produção de matéria seca dessas folhas quando comparado com plantas supridas com uma maior quantidade de Mg. Isso ocorre

em razão do Mg influenciar a partição de carboidratos e a alocação de biomassa entre parte aérea e raiz (CAKMAK e KIRKBY, 2008), sendo a sacarose o principal composto orgânico envolvido no transporte entre esses órgãos (HERMANS et al., 2004). Aumentos substanciais no acúmulo de carboidratos em folhas deficientes de Mg, juntamente com o aumento nas relações de matéria seca parte aérea/raiz, Cakmak et al. (1994), indicam que a exportação de fotoassimilados da fonte para órgãos drenos é prejudicada pela deficiência deste mineral.

Analisando a porcentagem de matéria seca dos tubérculos da batata (Figura 10), observa-se um pequeno decréscimo desta variável com o aumento da concentração de Mg no formulado NPK. O decréscimo da MS dos tubérculos ocorreu tanto na presença quanto na ausência da calagem, porém foram sempre maiores nas plantas que receberam o corretivo de acidez. Com a calagem, a porcentagem de MS variou de 22,7 para 22,3%, nos tratamentos com zero e 6 % de Mg no formulado NPK, respectivamente. Quando não se realizou a calagem, a porcentagem de MS variou de 22,5 para 22,2% nos tratamentos com zero e 6 % de Mg no formulado NPK, respectivamente.

Figura 10 - Efeito da calagem e do incremento de magnésio no formulado NPK sobre a matéria seca dos tubérculos. Com calagem —●—, Sem calagem ---○---. *, °° significativo a 20 e 15% de probabilidade pelo test t, respectivamente.



Fonte: Produção do próprio autor.

O teor de matéria seca do tubérculo é importante parâmetro de qualidade da batata. Ele estima o potencial dos tubérculos em produzir produtos processados com apropriados atributos de qualidade, devido a menor absorção de óleo, maior crocância das fatias fritas, maior textura, sabor e maior rendimento de chips (BRAUN et al., 2011). Cacace et al. (1994) relataram que as cultivares de batata podem ser agrupadas em alto teor MS

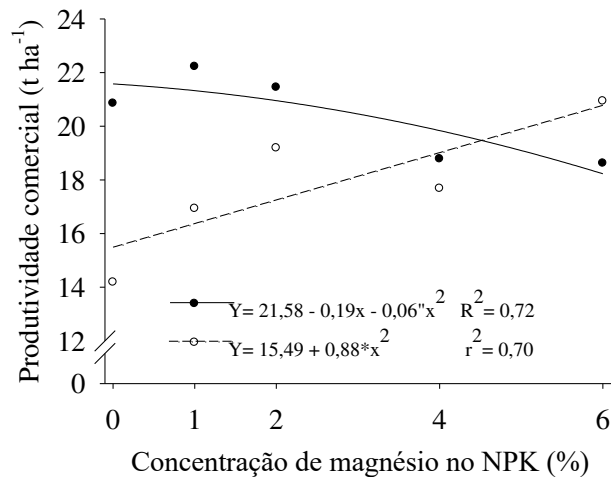
(superior a 20%); teor intermediário (18 a 19,9%) e baixo teor de MS (inferior a 17,9%). No entanto, os autores ainda salientam que teores acima 24% são indesejados por produzirem fatias quebradiças. Portanto, de acordo com essa classificação, mesmo os menores teores de MS obtidos com a dose de 6% de Mg em ambos os fatores estudados (com e sem calagem), estariam classificados como alto teores de MS. Estes resultados encontram-se superiores quando comparados com Braun et al. (2010), que estudando os carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio, obtiveram média de 16,63% de MS para cultivar Asterix. Feltran et al. (2004), avaliando a qualidade tecnológica e utilização de tubérculos de batata, obtiveram média 19,1% de MS de tubérculos para a mesma cultivar.

O aumento na concentração de Mg no formulado NPK favoreceu para diminuição da matéria seca dos tubérculos e, portanto, maior concentração de água. Estudando doses de Mg em batata cultivada em hidroponia, Barroso (2013) observou que a massa seca de tubérculos foi influenciada por doses crescentes de Mg em solução, com ponto máximo de 53,37g. O aumento da concentração de Mg na solução nutritiva também reduziu a matéria seca de tubérculos.

Plantas que receberam aplicação de calcário, apresentaram maiores valores de matéria seca dos tubérculos. Provavelmente, tal resultado, possa estar relacionado com a menor concentração de açúcares nas folhas destas plantas. Conforme comentado anteriormente, e evidenciado neste trabalho, plantas com uma maior concentração de Mg acumulam uma menor quantidade de açúcares nas folhas (Figura 5), e conseqüentemente ocorre uma maior partição desses fotoassimilados para os tubérculos (CAKMAK et al.; 1994), o que influencia positivamente na tuberização e porcentagem de MS dos tubérculos.

Analisando os resultados da produtividade dos tubérculos comerciais de batata (Figura 11), percebe-se que para aqueles tratamentos que receberam a calagem, a produtividade variou de 21,58 para 20,22 t ha⁻¹ nos tratamentos com zero e 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente. Para aqueles tratamentos que não receberam calagem, a produtividade de TC variou de 15,49 para 20,77 t ha⁻¹ nos tratamentos com zero e 6% de Mg no formulado NPK, respectivamente.

Figura 11 - Efeito da calagem e da concentração de magnésio no formulado NPK sobre a produtividade de tubérculos comerciais de batata. Com calagem —●—, Sem calagem - -○-. * significativo a 5% de probabilidade pelo test t.



Fonte: Produção do próprio autor.

Tratamentos que não receberam aplicação de calcário, aumentaram de forma linear sua produtividade de tubérculos comerciais com o aumento da concentração de Mg no formulado NPK. Em contrapartida, houve um decréscimo da produtividade comercial para os tratamentos que receberam o corretivo de acidez. Ainda assim, mesmo com esse decréscimo, a produtividade comercial dos tratamentos que receberam o corretivo de acidez foi maior em comparação àqueles que não receberam o corretivo, exceto na concentração de 6% de Mg no NPK.

Foram classificados como tubérculos comerciais, aqueles que possuíam diâmetro maior que 20 mm, sem defeitos, como rachadura, embonecamento, esverdeamento, podridões e ataques de pragas e doenças. O aumento de Mg, como um elemento mineral essencial para plantas e microrganismos, pode ter tido efeitos tanto indiretos quanto diretos nas doenças. A nutrição equilibrada é fundamental para a expressão da resistência a doenças, uma vez que a nutrição faz parte de um sistema interdependente delicadamente equilibrado, influenciado pela genética da planta e pelo meio ambiente. Os patógenos de murcha de *Fusarium*, por exemplo, tendem a ser menos graves quando o Mg adequado está disponível, além disso, o Mg aumenta a resistência dos tecidos à degradação por algumas enzimas pectolíticas de patógenos macerantes, o que também favorece a resistência à algumas doenças (HUBER e JONES, 2013). Além disso, o Mg é necessário durante a fase de desenvolvimento do tubérculo e, se o suprimento for restrito, o tamanho do tubérculo e a produção serão reduzidos. Klein et al. (1982) relataram que o aumento

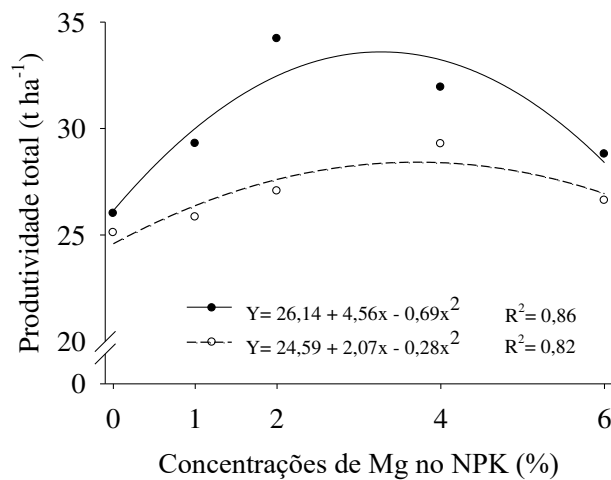
da oferta de Mg aumentou a firmeza das batatas cultivadas em solo que não apresentava deficiência de nutrientes.

Na concentração de 6% de Mg no formulado NPK + aplicação de calcário, houve uma diminuição de 6% na produtividade de tubérculos comerciais em comparação a maior produtividade comercial obtida com 0% de Mg no formulado NPK. Provavelmente, esse aumento de 6% na concentração de Mg no formulado favoreceu para ocorrência de tubérculos menores e/ou com algum defeito para comercialização.

Com zero % de Mg no formulado NPK, a aplicação de calcário aumentou em 39% a produtividade de tubérculos comerciais. Além de melhorar as condições químicas do solo, o calcário utilizado possuía 30% de Ca, e, por participar da lamela média das paredes celulares, o cálcio também pode afetar a qualidade da batata. Cerca de 60% do cálcio celular encontra-se localizado na parede celular (lamela média), onde exerce a função estabilizante, o que pode influir na textura, na firmeza e na maturação dos frutos (HANSON et al., 1993). O cálcio é o terceiro elemento mais absorvido pela cultura, sendo fundamental para o processo de tuberização e crescimento dos tubérculos (FILGUEIRA, 2003). Melhorias nos teores de Ca, portanto, podem influir no armazenamento e qualidade dos tubérculos, uma vez que órgãos como o tubérculo é naturalmente deficiente em Ca por possuírem baixa taxa transpiratória, tornando os tubérculos mais suscetíveis aos danos mecânicos (CONSORTE, 2001). Nas parcelas onde houve ausência de calagem, não havia ausência total de Ca no solo, em razão da sua presença no solo previamente ao plantio da batata ($1,93 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 1), tal como, pela sua concentração (18%) no fertilizante superfosfato simples que foi utilizado. Entretanto, com o fornecimento do calcário, a concentração de Ca no solo aumentou em relação aquelas parcelas que não receberam o corretivo de acidez, o que pode ter contribuído para uma maior tuberização da batata e conseqüentemente, produção de tubérculos maiores e com um padrão mais aceitável para o comércio.

Analisando a produtividade total dos tubérculos da batata (Figura 12), observa-se que para aqueles tratamentos que receberam a calagem, a produtividade total variou de 26,13 para 33,6 t há⁻¹ com zero e 3,5% de Mg no formulado NPK, respectivamente. Para aqueles tratamentos que não receberam calagem, a produtividade variou de 24,58 para 28,4 t há⁻¹ com zero 3,7% de Mg no NPK, respectivamente. Indicando que, com a aplicação de calcário + a dose ótima de 3,27% de Mg no formulado NPK é possível obter aumento em torno de 21% da produtividade. Em contrapartida, quando não se realiza a calagem e adiciona-se a dose ótima de 3,7% de Mg no formulado NPK, é possível obter aumento de apenas 14% na produtividade.

Figura 12 - Efeito da calagem e do incremento de magnésio no formulado NPK sobre a produtividade total da batata. Com calagem —●—, Sem calagem --○--. * significativo a 5% de probabilidade pelo test t.



Fonte: Produção do próprio autor.

Provavelmente, nas menores concentrações de Mg no formulado, a produção total de tubérculos foi menor em razão do limitado suprimento deste nutriente ao solo. Em ambos os fatores analisados (com e sem calagem), houve uma diminuição na produtividade total de tubérculos com a adição de 6% de Mg ao formulado NPK. Assim como explicado para produção de matéria seca da planta, provavelmente, tal fato ocorreu devido a diminuição na absorção de alguns nutrientes, como por exemplo Ca, principalmente na concentração de 6% de Mg no formulado NPK, e, como mencionando anteriormente, este nutriente exerce algumas funções importantes na planta, como por exemplo, processo de tuberização e crescimento dos tubérculos.

Fica evidenciado a importância da aplicação do corretivo de acidez + adição de Mg a formulados NPK para obter maior produtividade, devido aos benefícios e/ou funções já comentadas deste mineral sobre as plantas. Além disso, pode-se perceber que os métodos atuais de recomendação de calagem para a cultura da batata precisam ser melhorados, no que se refere ao suprimento de Mg. Isso porque, para obter maior produtividade da cultura, seja ela comercial ou total, mesmo com aplicação de calcário ao solo, foi necessário realizar uma complementação com Mg através do formulado NPK.

Em 2019, a produção média brasileira de batata foi 31 t ha⁻¹ (IBGE, 2019). Valor abaixo do obtido neste trabalho com a concentração de 3,5% de Mg no formulado NPK + aplicação de calcário e superior ao encontrado neste trabalho para os tratamentos que não receberam calagem, independente da concentração de Mg adicionada ao formulado

NPK. Diversos fatores contribuem para o incremento da produtividade de tubérculos de batata, dentre os quais, a nutrição adequada com Mg (ALLISON et al., 2001).

Estudando indicadores do estado de nitrogênio da planta, produtividade e biofortificação de tubérculos de Batata influenciados por doses de sulfato de magnésio, Lopes (2014), obteve máxima produtividade de 40,09 t ha⁻¹ com a dose de 800kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio, valor este, superior ao obtido neste trabalho. Fernandes et al., (2011a) na “safra de inverno” e Feltran e Lemos (2008) na “safra das águas” obtiveram produtividade de 37,27 t ha⁻¹ e 28,60 t ha⁻¹ de tubérculos totais, respectivamente para a cultivar Ágata. Na safra de inverno, a produtividade obtida pelos autores foi maior que a encontrada neste trabalho em ambos os fatores analisados (com e sem calagem), independente da concentração de Mg no formulado NPK. Na safra das águas, a produtividade obtida pelos autores foi menor que a alcançada neste trabalho com adição de calagem + a dose ótima de 3,27% de Mg no formulado NPK e maior quando não incorporado calcário ao solo, mesmo com a dose ótima de 3,7% Mg adicionado ao formulado NPK.

5 CONCLUSÕES

Os métodos atuais de recomendação de calagem para a cultura da batata precisam ser melhorados. A calagem e adubação com formulado NPK na concentração de 3,5% de Mg proporcionou maior produtividade total de tubérculos comerciais de batata. A aplicação de calagem proporcionou maior produtividade comercial de tubérculos.

6 REFERÊNCIAS

- ABBA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. **Batata Show**. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/site/wp-content/uploads/2018/04/RBS-50-WEB-2.pdf>. 2018. Acesso em: 9 jan. 2020.
- ALBUQUERQUE, T. C. S.; DANTAS, B. F. Aplicação foliar de aminoácidos e a qualidade das uvas da cv Benitaka. **Bol. Pesqui. e Desenvolvimento. Embrapa**. n 23 Boa Vista, RR. 2010. p. 20.
- ALLEN, J. F. Photosynthesis of ATP-electrons, proton pumps, rotors, and poise. **Cell**, v. 110, n. 3, p. 273–276, ago. 2002.
- ALLISON, M. F.; FOWLER, J. H.; ALLEN, E. J. Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (*Solanum tuberosum*) . **The Journal of Agricultural Science**, v. 137, n. 4, p. 397–409, dez. 2001.
- ARAUJO, M. C.; BEZERRA, I. N.; BARBOSA, F. S.; JUNGER, W. L.; YOKOO, E. M.; PEREIRA, R. A.; SICHIERI, R. Macronutrient consumption and inadequate micronutrient intake in adults. **Revista de Saude Publica**, v. 47, n. SUPPL.1, p. 177–189, 2013.
- BACARIN, M. A.; SCHMITZ, D. D.; FALQUETO, A. R.; CASSOL, D.; TORRES, A. C.; PETERS, J.A.; BRAGA, E. J. B Photosynthetic characteristics of potato plants, cv. Baronesa and its genetically transformed genotype for PVY resistance. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 383–387, 2008.
- BARROSO, F. L. **Influência do magnésio sobre o desenvolvimento, produtividade e índices nitrogenados da batata semente básica, cultivada em substrato orgânico e em hidroponia**. 2013. Dissertação (mestrado em fitotecnia) - Departamento de fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2013.
- BRADFORD, M. A. Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 1976.
- BRAUN, H., FONTES, P. C. R.; FINGER, F. L.; BUSATO, C.; CECON, P. R. Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 285–293, mar. 2010.
- 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.
- BURRIS, R.H. Advances in biological nitrogen fixation. **Journal of Industrial of Microbiology & Biotecnology**, v. 22, p. 381- 393, 1999.
- BUSH, D. R. Proton-Coupled Sucrose Transport in Plasmalemma Vesicles Isolated from Sugar Beet (*Beta vulgaris* L. cv Great Western) Leaves . **Plant Physiology**, v. 89, n. 4, p. 1318–1323, 1 abr. 1989.
- CACACE, J. E.; HUARTE, M. A.; MONTI, M. C. Evaluation of potato cooking quality in Argentina. **American Potato Journal**, v. 71, n. 3, p. 145–153, mar. 1994.

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

CAKMAK, I; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, v. 133, n. 4, p. 692–704, ago. 2008.

CAKMAK I; YAZICI A. M. Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production. **Better Crops**, v. 94, n. 2, p. 23–25, 2010.

CASTRO, P. R. C.; CARVALHO, M. E. A. **Aminoácidos e suas aplicações na agricultura**. n° 57 ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2014.

CIECKO, Z.; ZOLNOWSKI, A. C.; MIERZEJEWSKA, A. Effect of foliar nitrogen and magnesium fertilization on the total, protein nitrogen and nitrates(v) content in potato tubers. **Ecological Chemistry and Engineering.**, v. 17, n. 6, p. 593–600, 2010.

CONSORTE, J. **Fontes e doses de cálcio e nitrogênio na nutrição e produção de batata (*Solanum tuberosum* L.) para indústria**. 2001. Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, tese de doutorado, 2001. CRAWFORD, N.M. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. **The Plant Cell**, v. 7, p. 859–868, 1995.

DIBABA, D. T.; XUN, P.; HE, K. Dietary magnesium intake is inversely associated with serum C-reactive protein levels: Meta-analysis and systematic review. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 68, n. 4, p. 510–516, 2014.

EL-HADIDI, E. M.; A., EL-DISSOKY R.; H., AMAL A. Foliar Calcium and Magnesium Application Effect on Potato Crop Grown in Clay Loam Soils. **J. Soil Sci. and Agric. Eng., Mansoura Univ**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2017.

EMBRAPA. Sistema de Produção da Batata. **Introdução e importância econômica**. 2 ed. 2015, p. 252.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. p. 306.

ERIC, B. F.; PORTYA, P. C.; DENISMAR, A. N. (2018). ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese). R package version 1.2.0. <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. 2005, 186 f. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu”, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, MG, 2005.

FELTRAN, J. C; LEMOS, L. B. Características agronômicas e distúrbios fisiológicos em cultivares de batata. **Científica**, v. 33, n. 1, p. 106–113, 2008.

FELTRAN, J. C; LEMOS, L. B; VIEITES, R. L. Qualidade tecnológica e utilização de tubérculos de batata. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 6, p. 598–603, 1 nov. 2004.

FERNANDES, A. F.; PEREIRA, J.; GERMANI, R.; OIANO-NETO, J. Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de casca de batata (*Solanum Tuberosum* Lineu). **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 28, n. 1, p. 56-65, dez. 2008.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Produtividade e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata produzidos na safra de inverno. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 42, n. 2, p. 502–508, 2011,a.

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

FERNIE, A. R.; ROSCHER A.; RATCLIFFE R. G.; KRUGER N. J. Fructose 2,6-bisphosphate activates pyrophosphate: Fructose-6-phosphate 1-phosphotransferase and increases triose phosphate to hexose phosphate cycling heterotrophic cells. **Planta**, v. 212, n. 2, p. 250–263, 2001.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2º ed. Viçosa: UFV, 2003, 421p.

FONTES, P, C, R. Cultura da batata. In: FONTES, P, C, R (Org.). **Oleric. Teor. e prática**. Viçosa: UFV, 2005. p. 323–343.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZ MONASTERIO, J. I.; BOUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; HAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C. A.; BEEBE, S. E.; POTTS, M. J.; KADIAN, M.; HOBBS, P, R.; GUPTA, R.; TWOMLOW, S. Nutritious Subsistence Food Systems. **Advances in Agronomy**, v. 92, p. 1-74, 2007.

HANSON, E. J.; BEGGS, J. L.; BEAUDRY, R. M. Applying calcium chloride postharvest to improve highbush blueberry firmness. **HortScience**, v. 28, n. 10, p. 1033–1034, 1993.

HERMANS, C.; CONN, S. J. CHEN, J. X.; QIYING. V. N. An update on magnesium homeostasis mechanisms in plants. **Metallomics**, v. 5, n. 9, p. 1170–1183, set. 2013.

HERMANS, 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, dez. 2006.

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

HIRSCHI, K. D. Nutrient Biofortification of Food Crops. **Annual Review of Nutrition**, v. 29, n. 1, p. 401–421, ago. 2009.

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

HUBER, S. C., MAURY, W. Effects of magnesium on intact chloroplasts: I. Evidence for activation of (sodium) potassium/proton exchange across the chloroplast envelope. **Plant Physiology**, v. 65, n. 2, p. 350-354, 1980.

HUBER, S. C. Regulation of chloroplast photosynthetic activity by exogenous magnesium. **Plant Physiol**, v. 62, p. 321-325, 1978.

IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em:

<<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em: 4 jan. 2020.

IGAMBERDIEV, A. U.; KLECZKOWSKI, L. A. Membrane potential, adenylate levels and Mg^{2+} are interconnected via adenylate kinase equilibrium in plant cells. **Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics**, v. 1607, n. 2–3, p. 111–119, 8 dez. 2003.

JEZEK, M.; GEILFUS, C. M.; BAYER, A.; MÜHLING, K. H. Photosynthetic capacity, nutrient status, and growth of maize (*Zea mays* L.) upon $MgSO_4$. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. 781, p. 1–10, 9 jan. 2015.

KLEIN, L. B.; CHANDRA, S.; MONDY, N. I. Effect of magnesium fertilization on the quality of potatoes: total nitrogen, nonprotein nitrogen, protein, amino acids, minerals, and firmness. **J Agric Food Chem**, v. 30, n. 4, p. 754–757, 1982.

KOCH, M. T. **Effect of the potassium and magnesium nutrition on potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber quality and plant development**. 2018. Thesis (Doctorate Agricultural Sciences), Georg August University of Göttingen), 2018.

KOPPEN, W. **Climatologia**. Buenos Aires, Gráfica Panamericana, 1948.

KRAUSE, G. H. Light-induced movement of magnesium ions in intact chloroplasts. Spectroscopic determination with Eriochrome Blue SE. **BBA - Bioenergetics**, v. 460, n. 3, p. 500–510, 9 jun. 1977.

LISEC, J.; SCHAUER N.; KOPKA J.; WILLMITZER L.; FERNIE A. R. Gas chromatography mass spectrometry-based metabolite profiling in plants. **Nature Protocols**, v. 1, n. 1, p. 387–396, 2006.

LOPES, I, P, C. **Características da planta e do solo e produtividade de tubérculos de batata em função da aplicação de magnésio**. 2018. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, 2018.

LOPES, I, P, C. **Indicadores do estado de nitrogênio da planta, produtividade e biofortificação de tubérculos de batata influenciados por doses de sulfato de magnésio**. 2014. Mestrado (mestrado em Fitotecnia) - Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, 2014.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London, Academic Press, 2012.

MARTINEZ, H. E.P.; CARVALHO, J. G; SOUZA, R. B. **Diagnose foliar**. In: Recomendações Para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais - 5º Aproximação. In: RIBEIRO, A. C; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H (Org.). Viçosa, Minas Gerais, 1999. p. 140.

MARTINS, C. D; MARTINS, S. C. S; BORGES, W. L. **Correção da acidez, adubação e fixação biológica**. In: N: DOVALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (Ed.). (Org.). Feijão-caupi do plantio à colheita. UFV ed. Viçosa, MG, 2017, Cap. 5, p. 89-112.

MASCARENHAS, H. A. A. Cálcio, enxofre e ferro no solo e na planta. Campinas: Fundação Cargill, 1977. 95p.

MENGUTAY, M.; Ceylan, Y., Kutman, U. B.; Cakmak. 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, jul. 2013.

MOREIRA, W. R.; BISPO, W. M. S.; RIOS, J. A.; DEBONA, D.; NASCIMENTO, C. W. A.; RODRIGUES, F. A. Magnesium-induced alterations in the photosynthetic performance and resistance of rice plants infected with *bipolaris oryzae*. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 328–333, 2015.

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

NAVARRE, D. A.; BROWN, C. R.; SATHUVALLI, V. R. Potato Vitamins, Minerals and Phytonutrients from a Plant Biology Perspective. **American Journal of Potato Research**, v. 96, n. 2, p. 111–126, 15 abr. 2019.

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

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

NUNES, J. C. S. **Sistema de preparo do solo para plantio manual e mecanizado da batateira irrigada por aspersão e gotejamento**. 2004. Tese (doutorado em Fitotecnia) - Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, MG, 2004.

ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

RIDLEY, A. M.; WHITE, R. E.; HELYAR, K. R.; MORRISON, G. R.; HENG, L. K.; FISHER, R. Nitrate leaching loss under annual and perennial pastures with and without lime on a duplex (texture contrast) soil in humid southeastern Australia. **European Journal of Soil Science**, v. 52, n. 2, p. 237–252, jun. 2001.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

ROITSCH, T; GONZÁLEZ, M. C. Function and regulation of plant invertases: Sweet sensations. **Trends in Plant Science**, v. 9, n 12, dez. 2004

SALES, C. H.; PEDROSA, L. F. C. Magnesium and diabetes mellitus: Their relation. **Clinical Nutrition**, v. 25, n. 4, p. 554–562, ago. 2006.

SALISBURY, F. B; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SCHOEFS, B. Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, n. 11, p. 361–371, 1 nov. 2002.

SILVA, M. V. T.; OLIVEIRA, C. P. M.; SANTOS, M. L.; PINTAR, A. F.; OLIVEIRA, F. L.; MARACAJA, P. B. Influência dos nutrientes na formação da massa seca da melancia sem sementes Influence of the nutrients in the formation of the dry mass of seedless watermelon. **Revista ACSA**, v. 10, n. 3, p. 31–40, 2014.

- TAIZ, L.; ZAIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. São Paulo, Artmed, 2013.
- TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- TALUKDER, M. A. H.; ISLAM, M. B.; KAMAL, S. M. A. H. M.; MANNAF, M. A.; UDDIN, M. M. Effects of magnesium on the performance of potato in the tista meander floodplain soil. **Bangladesh J.**, v. 32, n. 2, p. 255–261, 2009.
- TRÄNKNER, M.; JÁKLI, B.; TAVAKOL, E.; GEILFUS, C-M.; ÇAKMAK, I.; DITTERT, K.; SENBAYRAM, M. Magnesium deficiency decreases biomass water-use efficiency and increases leaf water-use efficiency and oxidative stress in barley plants. **Plant and Soil**, v. 406, n. 1–2, p. 409–423, 1 set. 2016.
- 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.
- VOISIN, A. **Adubos - Novas leis científicas de sua aplicação**. São Paulo: Mestre Jou, 1973.
- VON ELBE J. H. Colorantes. In: FENNEMA, O.W. **Química de los alimentos**. 2.ed. Zaragoza : Wisconsin - Madison, 2000. Cap.10, p.782-799.
- WELLBURN, A. R. Wellburn. **J. plant physiol**, v. 144, p. 307–313, 1994.
- WHITE, J. S. Straight talk about high-fructose corn syrup: What it is and what it ain't. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 88, n. 6, 1 dez. 2008.
- WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, v. 10, n. 12, p. 586–593, dez. 2005.
- WIEND, T. Magnésio nos solos e nas plantas. **Informações agronômicas**, p. 19–21, n°117, 2007.
- WU, W; PETERS, J; BERKOWITZ, G. A. Surface charge-mediated effects of Mg²⁺ 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.
- YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of amino-acids with ninhydrin. **The Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209–214, 1955.
- ZENGİN, M.; GÖKMEN, F.; GEZGIN, S.; ÇAKMAK, I. Effects of different fertilizers with potassium and magnesium on the yield and quality of potato. **Asian Journal of Chemistry**, v. 20, n. 1, p. 663–676, 2008.