



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 22 – Ano XI – 10/2022
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Deficiências de Macronutrientes no estado nutricional de Fisis

Patrícia Lage
Doutoranda em Produção Vegetal – UFVJM- Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM
Diamantina- MG- Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7611298882953050>
Email: patricialage.biologa@gmail.com

Prof. Dr Enilson de Barros Silva
Docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM
Diamantina MG- Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4843025202227098>
Email: ebsilva@ufvjm.edu.br

Cássia Michelle Cabral
Pós Doutoranda em Produção Vegetal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM
Diamantina- MG- Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8256971689993828>
E-mail: michelle.cabral@ufvjm.edu.br

Prof. Dr. Evander Alves Ferreira
Professor Visitante ICA-Universidade Federal do Minas Gerais-UFMG
Montes Claros- MG- Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5887024898731149>
E-mail: evander.alves@gmail.com

Resumo: O fornecimento adequado de macronutrientes permite uma nutrição adequada da planta contribuindo para o desenvolvimento do vegetal e para

qualidade do fruto produzido. A fisalis ainda é pouco explorada no Brasil, mas é considerada uma nova opção de diversificação para pequenos e médios produtores, com boas perspectivas para o mercado nacional e internacional. Objetivou-se avaliar o efeito da deficiência de macronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de fisalis. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos foram compostos por solução nutritiva completa (macro e micronutrientes) e por solução com omissão individual de cada macronutriente com uma planta por vaso. A medição das variáveis fisiológicas foi realizada aos 35 dias após a aplicação dos tratamentos, e as avaliações de desenvolvimento e eficiência nutricional foram realizadas aos 150 dias. A omissão de macronutrientes afeta negativamente a taxa fotossintética, a condutância estomática, a taxa transpiratória, o carbono consumido e a eficiência no uso da água em fisalis. A omissão que mais limitou as características fisiológicas de fisalis foi de Ca, S, e N. O desenvolvimento de fisalis foi comprometido pela deficiência de macronutrientes, a ordem de restrição observada foi: S>N>P>Ca>K>Mg.

Palavras-chave: *Physalis peruviana*, Omissão de nutrientes, Nutrição mineral.

Macronutrients Deficiency on the nutritional status of Physalis

Abstract: The adequate supply of macronutrients allows a suitable nutrition of the plant contributing to the development of the vegetable and to the quality of the fruit produced. Physalis is still little explored in Brazil but is considered a new diversification option for small and medium producers, with good prospects for the national and international market. The objective of this work was to evaluate the effect of macronutrient deficiencies on development and on nutritional status of physalis plants. The experimental design was a randomized complete block design with three replicates. The treatments were composed by complete nutrient solution (macro and micronutrients) and by solution with individual omission of each macronutriente with one plant per pot. The physiological variables were measured at 35 days after application of the treatments, and development and nutritional efficiency evaluations were performed at 150 days. The omission of macronutrients negatively affects the photosynthetic rate, the stomatal conductance, the transpiration rate, the carbon consumed and the efficiency in the use of water in fisalis. The most limiting omission of the physiological characteristics of physalis was Ca, S, and N. The development of fisalis was compromised by macronutrient deficiency, the order of restriction observed was: S> N> P> Ca> K> Mg.

Keywords: *Physalis peruviana*, Omission of macronutrients, Mineral nutrition.

Introdução

A espécie *Physalis peruviana* L. pertencente à família Solanaceae é nativa dos Andes e apresenta cerca de oitenta variedades em estado silvestre

(CASTRO et al., 2008). Uma planta herbácea, que pode alcançar estatura entre 0,6 e 0,9 m, perene, porém, usualmente tratada como anual em plantações comerciais (FISCHER et al., 2011). O fruto é do tipo baga, com 1,5 a 2,5 cm de diâmetro e peso entre 4 a 10 g e encontra-se coberto pelo cálice que confere proteção contra herbivoria e, nos primeiros 20 dias de crescimento do fruto, é fonte de carboidratos para a planta (FISCHER et al., 2011), pois apresenta alta capacidade fotossintética.

Desenvolve-se em diferentes condições edafoclimáticas sendo classificada como uma espécie tolerante, pela sua adaptabilidade a climas do mediterrâneo (MUNIZ et al., 2011). Seu centro de origem é desconhecido, porém a maioria dos estudos indica ser nativa dos Andes (GONZÁLEZ et al., 2008). Espécie pouco tolerante a geadas e possui bom crescimento em diferentes tipos de solo (LUCHESE et al., 2015). Apresenta uma produção com características anuais ou bianuais (MANSO, 2012) podendo ser colhida durante todo o ano. Com manuseio adequado e planejado a cultura pode permanecer em produção por até dois anos, consoante a região e ao clima predominante (MUNIZ et al., 2014). No entanto, a partir do segundo ano, existe uma redução da produtividade como também da qualidade dos frutos (MUNIZ et al., 2011).

A produção em larga escala ocorre na Colômbia e na África do Sul (FISCHER et al., 2007; MUNIZ et al., 2014), sendo considerada importante para a economia de muitos países apresentando boas perspectivas nos mercados internacionais (FISCHER et al., 2014). No Brasil seu cultivo concentra-se principalmente no sul do país (SOUZA et al., 2013; SOUZA et al., 2014), sendo considerado um fruto exótico, com alto valor de mercado e incorporado ao cultivo de pequenos frutos.

O cultivo de *Physalis* é considerado cultivo simples, sendo que a maior parte do manejo empregado no seu cultivo ainda é de acordo com a cultura do tomateiro (IANCKIEVICZ et al., 2013). O cultivo comercial dos frutos de *Physalis* no Brasil não é explorado adequadamente, devido principalmente à escassez de resultados de pesquisa disponibilizados aos agricultores (MUNIZ et al., 2014). Contudo, a produção de *Physalis* vem aumentando no país a cada ano, sendo relatadas produções de 2 a 3 t ano⁻¹ de fruto, sendo comercializada principalmente nos grandes mercados a preços elevados (FISCHER et al., 2014). O aumento do rendimento das culturas é um dos objetivos almejados pela

pesquisa na busca por modernização e maior eficiência do processo de produção agrícola.

A importância do fornecimento adequado de nutrientes permite melhor nutrição da planta, contribuindo para o seu crescimento e desenvolvimento, produzindo frutos de tamanho e qualidade desejáveis, e ainda aumentando a produtividade da cultura. Uma técnica eficiente de se conhecer as exigências nutricionais de uma espécie é por meio da técnica do elemento faltante (MORETTI et al., 2011).

A necessidade nutricional é muito variável entre as espécies, apesar de os elementos minerais essenciais exigidos para a adequada nutrição serem os mesmos para os vegetais, as quantidades necessárias variam em função das características da espécie, das condições edafoclimáticas, da capacidade produtiva, do ciclo de produção, dentre outras (AULAR; NATALE, 2013). Estudos que integrem diferentes variáveis fisiológicas, associando-se aos aspectos nutricionais são fundamentais para o melhor entendimento dos efeitos da nutrição nas espécies cultivadas. Contribuindo, dessa forma, para o aperfeiçoamento das técnicas de manejo visando aumentar a produtividade da cultura.

Tendo em vista o potencial de físalis nas condições edafoclimáticas brasileiras, o presente estudo objetivou avaliar o efeito da omissão de macronutrientes nas características fisiológicas, no desenvolvimento e na eficiência nutricional de plantas de físalis.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Campus JK, no Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina, MG, de agosto a dezembro de 2014. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, considerando o tamanho da muda antes do transplântio, com três repetições. Os tratamentos foram compostos por uma solução nutritiva completa com macro e micronutrientes e por soluções com omissão de um macronutriente por vez (-N, -P, -K, -Ca, -Mg e -S), em um total de 21 parcelas experimentais com uma planta por vaso.

A solução nutritiva utilizada foi à proposta por Clark (1975) e os nutrientes fornecidos foram oriundos de reagentes puros. A solução completa apresentava a seguinte composição química de macronutrientes em mg L⁻¹: 114,2 N; 2,2 P; 70,2 K; 104,4 Ca; 14,4 Mg; 16 S, e de micronutrientes em µg L: 209 B; 32 Cu; 2128 Fe; 385 Mn e 131 Zn. Nos tratamentos com omissão dos macronutrientes foi utilizada a mesma solução apresentando todos os nutrientes, exceto o macronutriente sob omissão.

As sementes foram extraídas manualmente e semeadas após uma semana em bandejas de isopor de 128 células, utilizando substrato comercial. As bandejas permaneceram em casa de vegetação, com irrigação por microaspersão duas vezes ao dia. Um mês após a emergência, as plantas foram retiradas das bandejas, separadas do substrato e as raízes foram lavadas. As mudas foram transferidas para vasos hidropônicos de cor preta com 3,0 L de capacidade, sendo adicionados 2,5 L de solução nutritiva.

Utilizou-se de soluções com forças iônicas de 25, 50, 75 e 100%, onde as plântulas permaneceram por uma semana em cada concentração, em sistema de aeração artificial contínuo. Nesse período de adaptação, na primeira e segunda semana as soluções nutritivas continham somente macronutrientes, na terceira e quarta semanas continham 50 e 75% respectivamente de macronutrientes e 10 % da força iônica dos micronutrientes, e na quinta semana 100 % da força iônica de todos os nutrientes. Na sexta semana foram iniciados os tratamentos com solução completa e omissões dos macronutrientes. As soluções com os diversos tratamentos foram trocadas semanalmente, durante os 150 dias de condução do experimento após aplicação dos tratamentos. O pH da solução nutritiva foi mantido em torno de $6,0 \pm 0,1$; aplicando-se HCl 0,1 mol L⁻¹ ou NaOH 1,0 mol L⁻¹ com controle diário, quando necessário, através de peagâmetro portátil.

As avaliações das características fisiológicas foram realizadas aos 35 dias após a aplicação dos tratamentos com solução nutritiva completa e omissões dos macronutrientes, mais especificamente na fase de pré-floração das plantas, nessa fase os sintomas de deficiência de nutrientes eram pouco evidentes.

As medições foram realizadas em todas as plantas, na quarta folha completamente expandida, contando da gema apical das plantas. Foi utilizado

um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA 4 (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK) com luz artificial acoplada, correspondente a $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em casa de vegetação aberta, permitindo livre circulação do ar. Nessa ocasião, foram mensuradas as seguintes características fisiológicas: a concentração de CO_2 subestomática- C_i ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) e a taxa fotossintética- A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a temperatura da folha- TF ($^{\circ}\text{C}$), a condutância estomática de vapores de água- G_s ($\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$), a taxa de transpiração- E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a eficiência no uso da água- EUA ($\mu\text{mol CO}_2 \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O} = \text{fotossíntese/transpiração}$) e a relação carbono interno/carbono atmosférico- C_i/C_a . Cada bloco foi avaliado em um dia, entre 8 e 10 horas da manhã, em dia de céu limpo e com iluminação natural, de forma a manter as condições ambientais homogêneas durante a avaliação de cada bloco.

Aos 150 dias após o início do período experimental, as plantas foram coletadas e separadas em raízes, caule, folhas e frutos. Os frutos foram colhidos durante todo o período experimental. Em seguida, todo o material vegetal foi lavado em água destilada, identificado, acondicionado em sacos de papel e seco em estufa com circulação de ar à temperatura de 65°C , até apresentarem massa constante. Após secagem o material foi pesado em balança analítica para obtenção da massa da matéria seca do caule, das folhas, dos frutos, da parte aérea (caule, folhas e frutos), das raízes e total (parte aérea e raízes). Posteriormente, o material foi triturado e submetido à análise química para determinar os teores de macronutrientes de acordo com metodologia descrita por Silva (2009).

Para calcular o crescimento relativo (CR) de massa de matéria seca de frutos e total das plantas de *Physalis* foi utilizada a seguinte fórmula: $\text{CR} = (\text{Tratamento com nutriente omitido} / \text{Tratamento completo}) \times 100$. A finalidade deste procedimento é comparar a relação da massa seca total no tratamento com aplicação do macronutriente em relação ao tratamento onde não se aplicou o macronutriente. A distribuição percentual de massa seca de raízes, de caule, folhas e frutos de *Physalis* foi realizada em função dos tratamentos de solução completa e omissão de macronutrientes.

Considerando o conteúdo dos macronutrientes na planta e a massa de matéria seca dos diferentes órgãos foi calculada os índices: eficiência de absorção = conteúdo total do nutriente na planta/matéria seca de raízes,

conforme Swiader et al. (1994); eficiência de transporte = (conteúdo do nutriente na parte aérea/conteúdo total do nutriente na planta) × 100, de acordo com Li et al. (1991) e eficiência de utilização = (matéria seca total produzida)²/conteúdo total do nutriente na planta, segundo Siddqi e Glass (1981).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas e agrupadas pelo teste de Scott & Knott, ambos a 5% de significância.

Resultados e Discussão

Características fisiológicas de *fisalis*

A taxa fotossintética (A) das plantas cultivadas com a omissão de macronutrientes apresentou valores entre 8,2 a 13,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com valores menores em relação ao cultivo com fornecimento de todos os nutrientes (Tabela 1). Com a omissão de Mg as plantas não apresentaram diferença significativa para A em relação ao tratamento completo (Tabela 1). Plantas deficientes em Mg apresentam redução na capacidade fotossintética, pela limitação do fluxo de energia luminosa e de fixação do carbono (HAWKESFORD et al., 2012; COSTA et al., 2017), o que não foi observado para *fisalis*. As reservas de Mg das plantas, adquiridas até a fase de adaptação, podem ter suprido a demanda metabólica até a data avaliada.

Tabela 1. Taxa fotossintética (A), condutância estomática (Gs), carbono interno (Ci), taxa transpiratória (E), carbono consumido (ΔCO_2), temperatura da folha (TF), eficiência no uso da água (EUA) e relação carbono interno/carbono atmosférico (Ci/Ca) de *fisalis* cultivadas com solução completa e com omissão de macronutrientes.

Tratamento	A	Gs	Ci	E	ΔCO_2	TF	EUA	Ci/Ca
Completa	17,2 a	0,61 a	285,6 b	3,9 b	114,4 a	23,7 a	4,5 a	0,89 a
Omissão N	13,3 b	0,39 b	305,1 a	4,0 a	94,9 b	23,6 a	3,6 b	0,80 a
Omissão P	11,4 c	0,45 b	330,7 a	4,1 a	69,3 b	22,9 a	2,9 b	0,86 a
Omissão K	12,6 b	0,45 b	324,7 a	4,2 a	75,3 b	23,3 a	3,1 b	0,85 a
Omissão Ca	10,1 c	0,60 a	344,5 a	5,1 a	55,5 c	23,5 a	2,0 c	0,90 a
Omissão Mg	14,6 a	0,49 b	317,6 a	4,6 a	82,4 b	23,3 a	3,2 b	0,84 a
Omissão S	8,2 c	0,51 b	348,7 a	4,4 a	51,3 c	23,0 a	1,9 c	0,90 a
CV (%)	26,7	15,7	10,7	11,2	23,2	3,8	22,4	8,9

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5%. Unidades: A: $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Gs: $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$. Ci: $\mu\text{mol mol}^{-1}$. E: $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$. ΔCO_2 : $\mu\text{mol mol}^{-1}$. TF: °C. EUA: $\mu\text{mol CO}_2 \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$. Ci/Ca: $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}/(\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$

A taxa fotossintética das plantas cultivadas com a omissão de N e de K apresentaram valores intermediários (Tabela 1). A omissão de N resulta na redução do crescimento das plantas, onde este é redistribuído para as folhas

mais novas, ocasionando aumento na senescência de folhas mais velhas (MARSCHNER, 2012). A senescência foliar ocasiona a degradação da ribulose 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) provocando declínio nas reações do Ciclo de Calvin (FUKAYAMA et al., 2009), resultando em uma baixa capacidade de converter energia luminosa em compostos orgânicos. O K além de influenciar na produtividade dos vegetais, também auxilia no sistema de defesa dos mesmos (TAIZ et al., 2017). Na planta o K desempenha funções na ativação enzimática, na síntese de carboidratos, ácidos nucleicos e proteínas, na osmoregulação e na fotossíntese (HAWKESFORD et al., 2012). Plantas sob deficiência de K, a baixa concentração de CO₂ nos cloroplastos pode levar a desativação da enzima Rubisco (JIN et al., 2011).

Os cultivos com a omissão de P, Ca e S apresentaram os menores valores de A (Tabela 1). A limitação do fornecimento de P e S reduz a formação de novas folhas e reduz a área foliar, reduzindo a capacidade de fixação de carbono pelas plantas (FLETCHER; MOOT; STONE, 2008). O Ca atua na ativação de algumas enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos, como a ATPase e alfa-amilase (HOCHMUTH et al., 2012) o que pode ocasionar redução na taxa fotossintética em função da modificação da dinâmica fisiológica.

A condutância estomática (Gs) das plantas cultivadas com a omissão de nutrientes apresentou valores menores em relação ao tratamento com fornecimento adequado de nutrientes, exceto para o Ca que apresentou valores semelhantes ao tratamento completo (Tabela 1). O Ca desempenha funções no processo de fechamento estomático (TAIZ et al., 2017), onde a ausência deste nutriente pode ter dificultado o fechamento estomático. Os valores de Gs observados variaram entre 0,39 e 0,61 mol m⁻¹ s⁻¹, sendo os valores entre 0,3 e 0,5 mol m⁻¹ s⁻¹ na maioria das herbáceas (LARCHER, 2006). A Gs das plantas cultivadas com a omissão de N, P, K, Mg e S não apresentaram diferença significativa.

Plantas de *Physalis* cultivadas com a omissão de macronutrientes apresentaram maiores valores de carbono interno (Ci), comparando-se ao tratamento com solução completa (Tabela 1). O Ci pode indicar se o fechamento estomático está restringindo a atividade fotossintética (MELO et al., 2008), refletindo a disponibilidade de substrato para a fotossíntese. Considerando que

o C_i é inversamente proporcional a A (CONCENÇO et al., 2008), pode-se inferir que ocorreu restrição na fotossíntese para os tratamentos avaliados.

A taxa transpiratória (E) dos tratamentos com omissão de nutrientes apresentou maiores valores em relação ao tratamento com suprimento adequado (Tabela 1). As trocas gasosas são reguladas por meio do controle estomático, em que a absorção de CO_2 ocasiona maior transpiração, da mesma forma, a redução da transpiração limita a entrada de carbono na câmara subestomática (SHIMAZAKI et al., 2007). As variações nas trocas gasosas dos vegetais são influenciadas pelas condições climáticas, entretanto, o suprimento nutricional possui estreita relação com essas alterações, assim, é necessário que as plantas absorvam o máximo de CO_2 com o mínimo de perda de água (TAIZ et al., 2017).

O cultivo de *ficus* com suprimento adequado de nutrientes apresentou valor de carbono consumido (ΔCO_2) maior que os tratamentos com omissão de nutrientes (Tabela 1). Quanto maior a taxa fotossintética da espécie, mais rapidamente o CO_2 é consumido, e menor sua concentração no interior da folha, supondo-se que os estômatos estejam fechados (CONCENÇO et al., 2008). Quanto mais acelerado for o metabolismo vegetal, maior o ΔCO_2 por unidade de tempo (GALON et al., 2010). A capacidade de condução e a troca gasosa realizada pelos estômatos são consideradas a principal limitação da assimilação de CO_2 fotossintético, pois, qualquer fator que proporcione sua redução pode implicar em redução nos valores de fotossíntese, pela redução do influxo de CO_2 desde a atmosfera até as cavidades subestomáticas (FLEXAS et al., 2008). Os menores valores de ΔCO_2 foram observados nas plantas cultivadas com omissão de Ca e S. A ausência do Ca pode ter proporcionado maior abertura estomática, devido ao seu desempenho como mensageiro secundário (TAIZ et al., 2017), porém não foi observado incrementos no valor de ΔCO_2 .

Os valores observados de temperatura foliar (TF) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Tabela 1). O metabolismo vegetal proporciona incrementos na TF, sendo geralmente superior à temperatura do ar ao seu redor, que é dependente da taxa de transpiração (ASPIAZÚ et al., 2010). Assim, o aumento do metabolismo pode ser aferido indiretamente em função do gradiente entre a TF e a temperatura do ar

(SILVEIRA et al., 2013). Com os resultados observados neste trabalho pode-se inferir que o metabolismo não foi afetado seriamente pela omissão de macronutrientes, para ocasionar alteração na TF. Os valores de TF variaram entre 22,9 a 23,7 °C, sendo a diferença entre o maior e o menor valor de 0,8 °C.

As plantas de físalis apresentaram diferenças significativas na eficiência no uso da água (WUE) nos tratamentos aplicados neste trabalho (Tabela 1). No cultivo onde as plantas receberam nutrição completa a EUA apresentou o maior valor (4,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$). A EUA é caracterizada como a quantidade de água transpirada por uma cultura para a produção de certa quantidade de matéria seca (SILVA et al., 2007). A EUA está diretamente relacionada ao tempo de abertura estomática, considerando que enquanto ocorre absorção de CO_2 para a fotossíntese ocorre à perda de água por transpiração, com intensidade variável em função da condutância estomática e do gradiente de potencial entre a superfície foliar e a atmosfera seguindo a corrente de potencial hídrico (CONCENÇO et al., 2008).

A omissão de Ca e S resultaram em menor EUA, apresentado os seguintes valores 2,0 e 1,9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, respectivamente (Tabela 1). Como mensageiro secundário, o Ca presente nas folhas pode aumentar a eficiência da ação do ácido abscísico sobre o controle estomático, evitando perdas de água (FIOREZE et al., 2013), onde a omissão de Ca pode ter dificultado o fechamento estomático. O S é constituinte de aminoácidos e ainda desempenha função importante na estruturação de proteínas, por meio das ligações de dissulfeto (REIS; CHEPOTE, 2008). Na omissão de S e de Ca as plantas apresentaram menor A e maior taxa transpiratória (Tabela 1), em relação ao tratamento completo, pode ocasionar menor EUA.

O carbono interno/carbono atmosférico (C_i/C_a) das plantas não apresentou diferença significativa nas omissões de macronutrientes em relação ao tratamento completo (Tabela 1). O consumo de CO_2 amplia as diferenças de concentração entre o interior da folha e o ambiente externo, considerando, que quanto maior este gradiente, mais rapidamente o CO_2 entrará na folha com a abertura estomática, em função do maior gradiente de concentração (SILVEIRA et al., 2013).

Avaliações de desenvolvimento

A solução nutritiva completa e o pH utilizado foram apropriadas para o cultivo de *Physalis* que não apresentaram sintomas de deficiência e cresceram normalmente.

Nitrogênio

Observou-se na omissão de N, redução significativa na produção de massa de matéria seca em folha, caule, frutos e raízes, afetando principalmente a parte aérea (Tabela 2). Comparando-se o crescimento relativo total das plantas no tratamento completo com a omissão de N, observou-se redução de 67% (Figura 1). O N é um macronutriente de grande influência sobre os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, como componente estrutural de proteínas, enzimas, clorofila, fitormônios, poliaminas, bem como, de moléculas envolvidas no metabolismo secundário como os alcalóides (MARSCHNER, 2012). Na condição de deficiência de N o crescimento relativo em matéria seca de frutos apresentou redução de 65% (Figura 1). O N é considerado o macronutriente mais importante, responsável pelo crescimento longitudinal dos ramos e produção em frutos de *Physalis* (MUNIZ et al., 2014). O cultivo de *Physalis* sem aplicação de N ocorreu o decréscimo da produtividade e a sua deficiência ocasiona formação de menor número e comprimento dos ramos, e redução do número e do tamanho do fruto (FISCHER; ÂNGULO, 1999). Plantas cultivadas com suprimento inadequado de N não expressam o seu potencial produtivo (BAESSO et al., 2012).

Na omissão de N foi observado acréscimo de 20% na massa de matéria seca de raízes, em relação às plantas cultivadas com solução completa (Figura 2). Ocorre alocação de energia e fotoassimilados da parte aérea para as raízes, em resposta à necessidade de obtenção de recursos nutricionais, o que estimula o desenvolvimento do sistema radicular e auxilia a absorção de íons (MARSCHNER, 2012). O transporte de fotoassimilados para as raízes pode favorecer a assimilação do amônio, diminuindo o transporte para a parte aérea. A massa de matéria seca de caule apresentou redução de 8%, enquanto a matéria seca de folhas foi reduzida em 10% com a omissão de N (Figura 1). O N promove a produção de galhos, folhas e frutos, sendo um dos elementos minerais requeridos pelas plantas em maior quantidade e o que mais limita o crescimento (RUFFATO et al., 2008), com importante função na produção de

biomassa (MARSCHNER, 2012). A omissão de N proporcionou redução de 2% na produção de massa de matéria seca de frutos. A ausência de N ocasiona a redução da área foliar e conseqüentemente reduz a superfície de absorção de luz (HERMANS et al., 2006). Plantas de *Physalis peruviana* tiveram redução da área foliar com a omissão de N afetando o crescimento normal do fruto (MARTÍNEZ et al., 2008).

Tabela 2. Produção de massa de matéria seca de folhas, do caule, da parte aérea, dos frutos, das raízes e total de *Physalis peruviana* com solução completa e omissão de macronutrientes.

Tratamento	Produção de matéria seca						g		vaso ⁻¹	
	Folha	Caule	Parte aérea	Frutos	Raízes	Total				
Completa	11,6	8,5	20,2	1,6	4,6	26,4	a			
Omissão N	3,0	2,1	5,1	0,6	3,2	8,8	d			
Omissão P	4,3	2,6	6,9	0,2	4,6	11,7	d			
Omissão K	7,7	3,6	11,2	0,8	2,4	14,5	b			
Omissão Ca	7,4	3,8	11,2	0,0	2,8	14,1	d			
Omissão Mg	7,7	6,3	14,0	0,8	2,7	17,5	b			
Omissão S	4,7	2,7	7,4	0,0	1,8	9,3	c			
CV (%)	23,7	19,0	23,2	28,6	27,4	28,1				

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5%.

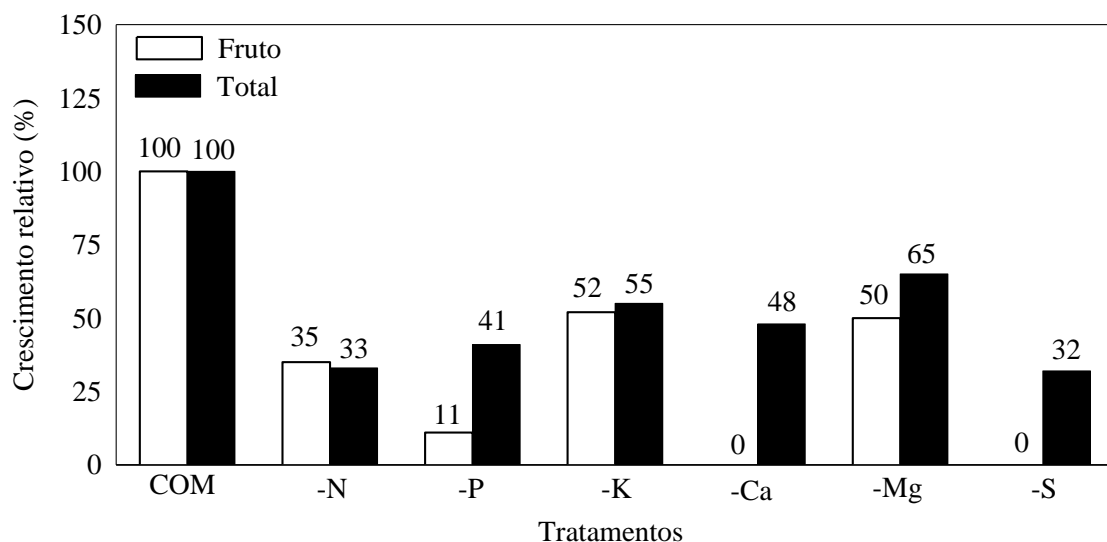


Figura 1. Crescimento relativo em massa de matéria seca de frutos e total de *Physalis peruviana* submetidas a diferentes tratamentos de omissão de macronutrientes, como segue: COM (solução completa); -N (omissão de N); -P (omissão de P); -K (omissão de K); -Ca (omissão de Ca), -Mg (omissão de Mg) e -S (omissão de S).

Nas plantas cultivadas com a omissão de N o maior teor deste nutriente ocorreu nas folhas e nos frutos, porém, não houve diferença significativa entre essas partes (Tabela 3). O menor teor de N ocorreu no caule

de fisalis quando submetido à omissão de N. No tratamento completo o maior teor de N ocorreu nas folhas (Tabela 3). Não houve diferença significativa no teor de N nos frutos e raízes das plantas cultivadas em solução completa. O N apresenta alta mobilidade no floema (MARSCHNER, 2012) e pode ser facilmente redistribuído das folhas senescentes para outras partes.

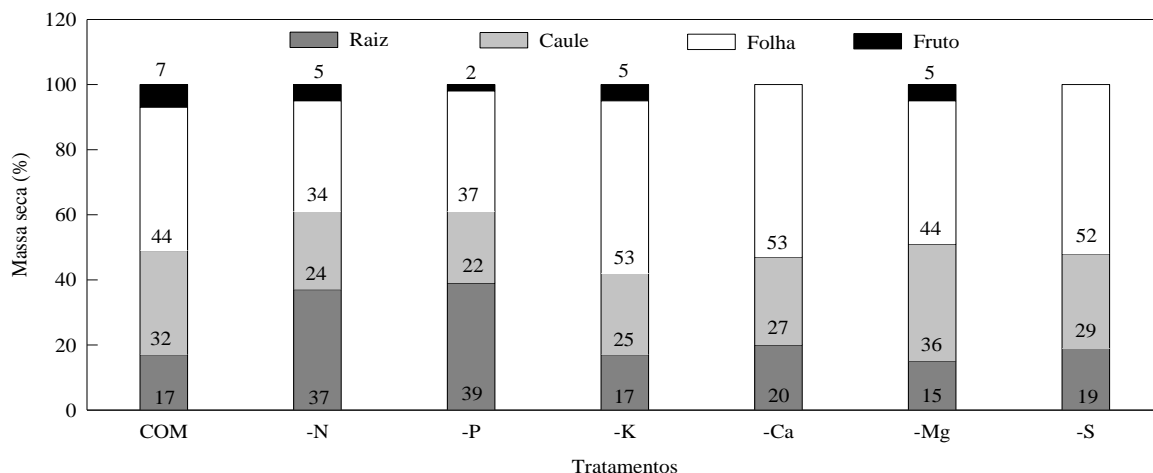


Figura 2. Percentual de massa de matéria seca dos frutos, folhas, caule e raízes de fisalis submetidas a diferentes tratamentos de omissão de macronutrientes, como segue: COM (solução completa); -N (omissão de N); -P (omissão de P); -K (omissão de K); -Ca (omissão de Ca), -Mg (omissão de Mg) e -S (omissão de S).

Tabela 3. Teor dos macronutrientes em plantas de fisalis cultivadas com solução completa e com omissão de macronutrientes em diferentes partes da planta.

Parte da planta	Completa	Omissão
Teor de N (g kg⁻¹) - CV = 16,71 %		
Frutos	37,55Ab	22,44Ba
Folhas	44,76Aa	23,56Ba
Caule	27,28Ac	2,08Bc
Raízes	36,59Ab	17,03Bb
Teor de P (g kg⁻¹) - CV = 9,24 %		
Frutos	4,84Aa	0,51Bc
Folhas	2,26Ab	0,77Bb
Caule	0,68Ac	0,40Bc
Raízes	2,34Ab	1,02Ba
Teor de K (g kg⁻¹) - CV = 20,19 %		
Frutos	40,41Aa	19,73Ba
Folhas	40,83Aa	16,96Ba
Caule	2,04Ac	1,11Bc
Raízes	18,00Ab	9,15Bb
Teor de Ca (g kg⁻¹) - CV = 17,80 %		
Frutos	3,18 c	-
Folhas	9,78Aa	2,85Ba
Caule	5,35Ab	2,55Ba
Raízes	2,41Ad	0,72Bb
Teor de Mg (g kg⁻¹) - CV = 20,79 %		
Frutos	1,83Ab	0,78Bb
Folhas	4,81Aa	1,44Ba
Caule	0,75Ad	0,35Bc
Raízes	1,01Ac	0,82Bb
Teor de S (g kg⁻¹) - CV = 19,16 %		
Frutos	3,23 a	-

Folhas	2,56Ab	1,75Ba
Caule	3,06Aa	0,24Bc
Raízes	2,70Ab	1,23Bb

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5 %.

Plantas de *Physalis* cultivadas com omissão de N apresentaram clorose nas folhas mais velhas aos 84 dias (SILVA et al., 2017). O aparecimento de sintomas de deficiência nas folhas mais velhas reflete a alta taxa de redistribuição do nutriente (MARSCHNER, 2012).

Fósforo

A omissão de P ocasionou redução na produção de massa de matéria seca total, de folha, de caule, da parte aérea e de frutos (Tabela 2). Enquanto a produção de massa de matéria seca de raízes não ocorreu diferença significativa em relação às plantas do tratamento com suprimento adequado de nutrientes (Tabela 2). Observou-se redução de 59% no crescimento relativo total e de 89% no crescimento relativo dos frutos com a omissão de P (Figura 1). A ausência de P limita o crescimento vegetal, sendo muito requerido pelas plantas (LIN et al., 2013), por ser constituinte de moléculas importantes do metabolismo celular, como ATP e ácidos nucleicos (TAIZ et al., 2017).

A produção de massa de matéria seca de raízes nas plantas de *Physalis* submetidas à omissão de P aumentou 22% em relação ao tratamento completo (Figura 2). Com a deficiência de P ocorre redução na translocação de P para a parte aérea e conseqüentemente, redução do crescimento da mesma em relação à raiz (VILAR; VILAR, 2013). Na produção de massa de matéria seca de caule e de folhas ocorreu redução de 10% e 7%, respectivamente, na omissão de P. A baixa disponibilidade de P reduz a área foliar individual, limita o aparecimento de folhas e reduz a capacidade de fixação do carbono pelas plantas (FLETCHER; MOOT; STONE, 2008). Observou-se decréscimo de 5% na produção de massa de matéria seca de frutos de *Physalis* com a omissão de P. Com a deficiência de P ocorre redução na área foliar e conseqüente limitação na captação da energia luminosa, ocasionando, menor produção de fotoassimilados (PEIXOTO et al., 2011; FIRMINO et al., 2015), tendo menor quantidade de produtos fotossintéticos disponíveis para a formação de frutos. A função regulatória do P na fotossíntese e no metabolismo dos carboidratos pode ser

considerada como um dos fatores limitantes do crescimento (MARSCHNER, 2012).

Na omissão de P o maior teor deste macronutriente foi observado nas raízes e o menor foi observado nos frutos e no caule (Tabela 3). Em plantas deficientes em P ocorre acúmulo de P em compostos orgânicos nas raízes, diminuindo a translocação para a parte aérea (VILAR; VILAR, 2013). Com o suprimento adequado o maior teor de P ocorreu nos frutos (Tabela 3). Elementos móveis no floema, como o P, tendem a se acumular nos frutos (MARSCHNER, 2012).

As folhas mais novas de plantas de *Physalis* cultivadas com a omissão de P apresentaram-se enrugadas e com ondulações nas bordas, enquanto as folhas mais velhas apresentaram textura quebradiça (SILVA et al., 2017). O P apresenta relevante função na síntese de proteínas, na transferência de energia e na formação de ácidos nucleicos (LIN et al., 2013), sua ausência afeta o crescimento da planta, ocasiona menor emissão e crescimento de folhas (BONFIM-SILVA et al., 2011) e limita a produtividade das culturas (THOMÉ; OSAKI, 2010).

Potássio

A produção de massa de matéria seca nas plantas cultivadas na ausência de K foi inferior à produção na solução nutritiva completa (Tabela 2). O K é requerido em grandes quantidades pelas plantas (NIU et al., 2013), uma vez que está envolvido nos processos de osmorregulação, extensão celular, abertura e fechamento estomático, ativação de enzimas e síntese de proteínas (MARSCHNER, 2012). *Physalis* apresentou decréscimo no crescimento relativo total de 45% no cultivo com omissão de K (Figura 1). O K é um dos macronutrientes mais extraídos pelas plantas e sua deficiência resulta em reduções no crescimento (KANO et al., 2010), o que pode estar relacionado a sua função na ativação da ATPase da plasmalema dos tecidos meristemáticos promovendo a expansão celular (TAIZ et al., 2017). O crescimento relativo em massa de matéria seca de frutos apresentou redução de 48% (Figura 1). Segundo Muniz et al. (2014) o K é responsável pela floração e fixação dos frutos de *Physalis*. Martínez et al. (2008) relatam que deficiências de N e K afetaram significativamente o peso seco do fruto de *Physalis* cultivados na Colômbia.

A produção de massa de matéria seca de raízes de plantas submetidas à omissão de K foi equivalente ao valor encontrado em plantas cultivadas em solução contendo todos os nutrientes (Figura 2). A redução na massa de matéria seca de caule foi de 7% na condição de omissão de K, enquanto para folhas ocorreu acréscimo de 9%. A deficiência de K é retratada pela redução do crescimento vegetal por ser requerido em grandes quantidades pelas plantas (NIU et al., 2013), apresentando funções nos processos de osmorregulação, extensão celular, no controle estomático e na ativação enzimática (PETTIGREW, 2008; HERR, 2015). Com a omissão de K o decréscimo de produção de massa de matéria seca de frutos foi de 2%. Corroborando com os dados obtidos por Martínez et al. 2008, que também observaram redução no peso seco dos frutos de *Physalis* na ausência de K.

Com a omissão de K o menor teor de K ocorreu no caule (Tabela 3). Nas folhas e frutos de *Physalis* cultivados com omissão de K, o teor de K não apresentou diferença significativa, e foi superior em relação ao caule e raízes (Tabela 3). Sob deficiência, o K move-se para as regiões que estão em crescimento, e que necessitam de uma maior demanda (YOST et al., 2011). Com o fornecimento adequado de K o maior teor de K ocorreu nas folhas e frutos, enquanto o caule apresentou a menor concentração. Os teores de K são mais altos nas folhas jovens nas quais a atividade fisiológica é mais intensa, mas, à medida que esses processos sofrem redução, é redistribuído para outras partes da planta (LIMA et al., 2011).

Plantas de *Physalis* cultivadas com a omissão de K aos 68 dias apresentaram clorose nas folhas mais velhas, e manchas irregulares de coloração clara, que evoluíram aos 103 dias para necrose (SILVA et al., 2017). A deficiência de K causa desbalanço iônico ocasionando acidificação do meio celular, o que favorece a síntese de putrescina (HOUDUSSE et al., 2008), ocasionando perda da permeabilidade das membranas, efluxo de K, perda de proteínas e necrose nos tecidos (WIMALASEKERA; TEBARTZ; SCHERER, 2011).

Cálcio

A omissão de Ca da solução ocasionou redução na produção de massa de matéria seca em todas as partes da planta (Tabela 2). O Ca regula

vários processos fisiológicos e metabólicos, a omissão de Ca resulta principalmente na redução do crescimento de tecidos meristemáticos apicais e morte do sistema radicular (MARSCHNER, 2012). Nesta condição, as plantas não atingiram o estágio de florescimento, portanto, não ocorreu a produção de matéria seca de frutos (Tabela 2). Corroborando com Costa et al. (2017) que não observou a formação de frutos em plantas de melancia deficientes em Ca. O Ca é muito importante na formação dos tecidos e na estabilidade da epiderme, especialmente na formação do cálice que envolve completamente o fruto até a maturidade (RUFFATO et al., 2008).

As plantas apresentaram redução de 52% no crescimento relativo total na omissão de Ca (Figura 1). O Ca é usado na síntese de novas paredes celulares, particularmente na lamela média que separa as novas células divididas (MARTÍNEZ et al., 2009), sendo necessário para a manutenção de membranas celulares (HEPLER; WINSHIP, 2010; TAIZ et al., 2017). A ausência de florescimento de físalis cultivadas com a omissão de Ca (Figura 1) evidencia a importância desse elemento no desenvolvimento reprodutivo dessas plantas. O Ca desempenha funções sobre o crescimento do tubo polínico, formação do grão de pólen (KRICHEVSKY et al., 2007). Com efeitos na fertilização das flores incluindo à atração, a comunicação a curtas distâncias, a fusão celular e a sinalização, de modo que ocorre aumento da concentração citossólica de Ca, seguido pelo aumento da taxa de divisão celular após a fusão de gametas (GE et al., 2007).

Na condição de omissão de Ca o percentual de massa de matéria seca de raízes aumentou 3%, de folhas apresentou acréscimo de 9%, enquanto de caule reduziu 5% (Figura 2). Quando há deficiência de Ca pode ocorrer vazamento do conteúdo citoplasmático, pois a compartimentação celular é comprometida e a ligação do Ca com a pectina na parede celular é afetada (TAIZ et al., 2017).

O teor de Ca nas folhas e no caule de plantas cultivadas com a omissão deste nutriente foi maior em relação às raízes (Tabela 3). O movimento do Ca na planta é dependente do fluxo transpiratório, sendo transportado preferencialmente pelo xilema, e sua redistribuição é restrita, sendo um elemento de baixa mobilidade no floema (MARSCHNER, 2012). A deficiência de Ca pode retardar o crescimento e causar a morte dos meristemas, sendo essencial para

manter a integridade estrutural e funcional das membranas e da parede celular (FUNK et al., 2013). No tratamento contendo todos os macronutrientes o menor teor de Ca foi observado nas raízes. O maior teor de Ca no tratamento completo ocorreu nas folhas. O Ca apresenta baixa mobilidade na planta, sua redistribuição entre os diferentes órgãos das plantas é dificultada (EPSTEIN; BLOOM, 2006) contribuindo para seu acúmulo nas folhas.

Plantas de *Physalis* cultivadas com a omissão de Ca apresentaram folhas com aspecto enrugado, clorose, necrose nas bordas das folhas jovens e no ápice da planta (SILVA et al., 2017). As plantas com deficiência de Ca apresentam redução no crescimento meristemático, observada primeiramente na região do crescimento apical e nas folhas mais novas (MARSCHNER, 2012).

Magnésio

As plantas quando submetidas à omissão de Mg apresentaram menor produção de massa de matéria seca nas variáveis analisadas em relação ao tratamento completo (Tabela 2). A ausência de Mg reduziu em 50% o crescimento relativo de frutos e em 35% o crescimento relativo total (Figura 1). Em plantas deficientes em Mg ocorre limitação no fluxo de energia luminosa e na fixação do carbono, diminuindo a capacidade fotossintética (HAWKESFORD et al., 2012), dessa forma, a sua deficiência pode causar redução do crescimento (CAKMAK, 2013; YANG et al., 2013). Entre as principais funções do Mg, ele atua como ativador de diversas enzimas, como cofator da maioria das enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do ADP ou ATP e a enzima (GUHA; RAO, 2012).

As plantas quando submetidas à omissão de Mg apresentaram redução de 2% na percentagem de massa de matéria seca de raízes e de caule aumento de 4% (Figura 2). Plantas cultivadas na ausência de Mg geralmente apresentam reduzido sistema radicular e concomitante acúmulo de sacarose nas folhas sugerindo alguma redução no transporte de sacarose da parte aérea às raízes (CAKMAK; KIRKBY, 2008). O percentual de massa seca de folhas nas plantas cultivadas na ausência de Mg foi equivalente ao valor observado no cultivo em solução completa. A massa de matéria seca de frutos apresentou decréscimo de 2% com a omissão de Mg. O Mg tem função importante como ativador ou regulador de várias quinases, ATPases, da Rubisco e de várias

outras enzimas do metabolismo de carboidratos (CAKMAK; KIRKBY, 2008; MARSCHNER, 2012). Sob deficiência de Mg, ocorre restrição na produção de clorofila e descarboxilação dos aminoácidos, principalmente nas folhas mais velhas, pois ocorre redistribuição deste elemento na planta (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017).

Constatou-se maior teor de Mg nas folhas de plantas tratadas com omissão de nutriente (Tabela 3). Os menores teores de Mg ocorreram no caule de *Physalis* quando cultivadas com omissão desse macronutriente (Tabela 3). Em solução completa as plantas apresentaram os menores teores de Mg no caule e nas raízes. No tratamento completo as folhas foram a parte das plantas que apresentaram os maiores teores de Mg. O Mg apresenta função importante na formação da estrutura da clorofila, além de atuar na ativação da enzima Rubisco (CARRIL, 2009), na manutenção do pH ótimo para a enzima, participa da estrutura da membrana do tilacóide e no empilhamento da grana (HAWKESFORD et al., 2012).

Nas folhas mais velhas de *Physalis* cultivadas com a omissão de Mg foi observado clorose internerval e necrose (SILVA et al., 2017). A clorofila presente nos feixes vasculares permanece inalterada por mais tempo do que a clorofila nas células entre os feixes, ocasionado esse padrão de clorose (TAIZ et al., 2017). A deficiência de Mg limita a capacidade fotossintética e aumenta a formação de espécies reativas de oxigênio, o que excede a capacidade enzimática de desintoxicação, ocasionando clorose e posterior necrose, devido a foto-oxidação dos cloroplastos (HAWKESFORD et al., 2012).

Enxofre

Nas plantas cultivadas com a omissão de S não ocorreu florescimento e nas demais variáveis avaliadas ocorreu redução (Tabela 2). A redução no crescimento relativo total foi de 68 %, verificando-se que a maior limitação no crescimento foi ocasionada pelo S (Figura 1). O S é um macronutriente constituinte de proteínas, aminoácidos, membranas celulares e outros compostos, além de possuir função no transporte de elétrons, o que influencia na produção de biomassa (TAIZ et al., 2017). O S apresenta importante função na biossíntese de metionina e cisteína (LUCHETA; LAMBAIS, 2012). A cisteína

é essencial para determinar a conformação estrutural das proteínas e contribui para a catálise de reações enzimáticas (KERTESZ et al., 2007).

A omissão de S proporcionou aumento na massa de matéria seca de raízes nas plantas de *fisalis* de 2% com decréscimo de 3% no caule (Figura 2). A falta de S deprime a produção de ferridoxina, o que afeta o transporte de elétrons de vários processos metabólicos, incluindo a redução do nitrito e do sulfito (VITTI et al., 2006) o que ocasiona redução na produção de biomassa. O S é constituinte de aminoácidos, com sua deficiência a síntese de proteína e açúcares é prejudicada e, ocorre também acúmulo de N-orgânico e $N-NO_3^-$, resultando em plantas com menor teor de clorofila e raízes menos desenvolvidas (RAIJ, 2011).

O maior teor de S foi observado nas folhas e o menor no caule de plantas submetidas ao cultivo com a omissão desse elemento (Tabela 3). A redução do sulfato ocorre principalmente nas folhas, o transporte de compostos contendo S pode ocorrer na direção acrópeta ou na basípeta para caule e raízes (HAWKESFORD et al., 2012). Entretanto, o S é considerado um elemento com baixa mobilidade na planta (MARSCHNER, 2012). As folhas apresentaram o menor teor de S no tratamento completo. No suprimento adequado, as plantas apresentaram maior teor de S nos frutos. A principal forma de S reduzido transportado no floema é a glutatona, onde o transporte ocorre da região produtora para as regiões de crescimento ou de armazenamento (TAIZ et al., 2017).

Fisalis cultivada com a omissão de S apresentaram clorose uniforme nas folhas mais novas aos 68 dias, avançando aos 109 dias para uma clorose na planta toda, necrose do ápice e das bordas foliares (SILVA et al., 2017). A deficiência de S afeta o desenvolvimento e a função do cloroplasto, por participar da composição da membrana dos tilacóides, como sulfolipídeos, e dos grupamentos Fe-S, o que ocasiona prejuízos no funcionamento da cadeia transportadora de elétrons (MARSCHNER, 2012).

As plantas de *fisalis* acumularam diferentes quantidades de massa de matéria seca (Tabela 2) e também apresentaram diferente distribuição no acúmulo de massa seca nas diversas partes da planta, nos tratamentos aplicados durante o período experimental (Figura 2).

Plantas de *Physalis peruviana* quando cultivadas em soluções com omissão de N, P, K, Ca, Mg e S apresentaram teores menores de macronutrientes em relação às plantas cultivadas em solução completa (Tabela 3). O conhecimento dos teores de nutrientes em vários órgãos do vegetal permite inferir sobre as exigências metabólicas desenvolvidas em cada parte, fornecendo base para o entendimento dessas variações e suas implicações nas respostas dos vegetais (AMARAL et al., 2011).

O acúmulo total de macronutrientes no tratamento com solução completa obedeceu a seguinte ordem decrescente **N>K>Ca>S>Mg>P**, o que reflete as exigências nutricionais de *Physalis peruviana* (Tabela 4). Observou-se que todos os macronutrientes foram acumulados em maior quantidade nas folhas. O macronutriente mais absorvido por *Physalis peruviana* no tratamento completo foi o N, seguido pelo K e pelo Ca. Ianckiewicz et al. (2013) avaliando diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva observou que o N é o nutriente absorvido em maior quantidade por *Physalis peruviana* em condições colombianas, corroborando com o observado neste estudo.

Tabela 4. Quantidade acumulada dos macronutrientes em plantas de *Physalis peruviana* cultivadas com solução completa em diferentes partes da planta.

Macronutriente	Raízes	Caule	Folhas	Frutos	Total	CV(%)
..... mg planta ⁻¹						
N	176,52c	233,24b	543,54a	61,51d	1.014,81	18,57
P	12,64b	5,81c	26,19a	7,87c	52,52	21,52
K	63,21b	17,46c	455,04a	64,41b	600,12	25,50
Ca	10,62c	45,06b	108,55a	5,00d	169,23	26,22
Mg	4,39b	6,25b	56,95a	2,72c	70,32	20,71
S	13,69c	25,72b	31,86a	5,49d	76,77	21,40

Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5 %.

Eficiência Nutricional

Considerando, que a eficiência de absorção (EA) está relacionada à taxa de absorção de nutrientes por unidade de comprimento ou de massa de raízes (BALIGAR; FAGERIA, 1998). Verificou-se que a EA de *Physalis peruviana* cultivada em solução completa apresentou maior taxa de captação em relação às plantas cultivadas com a omissão de macronutrientes (Tabela 5). No tratamento completo as plantas de *Physalis peruviana* foram mais eficientes na absorção de N, K e Ca. Muniz et al. (2014) relata que os macronutrientes mais importantes para o cultivo

de fisalis são N, K e Ca, sendo o N importante no crescimento dos ramos e consequente produção de frutos em fisalis. Na omissão de macronutrientes o K apresentou a maior EA, enquanto o P apresentou a menor taxa. Em função da quantidade de raízes e da taxa de absorção por unidade de peso de raiz, a absorção de nutrientes pela planta é variável durante o seu ciclo de desenvolvimento, e essa quantidade pode aumentar durante o período de crescimento (SOUZA et al., 2012).

Tabela 5. Eficiência de absorção, de transporte e utilização de macronutrientes em plantas de fisalis cultivadas com solução completa e com omissão de macronutrientes.

Macronutriente	Completa	Omissão	CV(%)
Eficiência de absorção			
..... mg nutriente g ⁻¹ de massa seca raízes			
.....			
N	322,26Aa	43,68Bb	29,74
P	16,08Ad	2,01Be	
K	204,90Ab	74,28Ba	
Ca	63,32Ac	11,37Bc	
Mg	22,91Ad	5,74Bd	
S	25,84Ad	6,03Bd	
Eficiência de transporte			
..... %			
.....			
N	86,00Aa	60,99Bb	8,84
P	82,07Aa	48,37Bc	
K	90,12Aa	87,04Aa	
Ca	94,59Aa	93,60Aa	
Mg	94,39Aa	86,71Aa	
S	85,87Aa	79,81Aa	
Eficiência de utilização			
..... (massa seca) ² g mg ⁻¹ nutriente acumulado			
.....			
N	0,69Ad	0,57Ad	27,33
P	13,50Aa	14,90Ab	
K	1,16Ad	1,27Ad	
Ca	4,18Ac	5,91Ac	
Mg	9,98Bb	21,99Aa	
S	9,11Ab	8,39Ac	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5 %.

A eficiência de transporte (ET) de nutrientes pode ser definida como a capacidade da planta em transportar os nutrientes das raízes para a parte aérea. No tratamento com solução completa não foi observado diferença significativa na ET dos macronutrientes em fisalis (Tabela 5). Nas plantas cultivadas na solução com omissão, os macronutrientes K, Ca, Mg e S não apresentaram diferença significativa na ET em relação as plantas do tratamento com suprimento adequado de nutrientes. A ET foi influenciada pela omissão de

macronutrientes na solução para N e P, que apresentaram as menores percentagens de TE. Muitas espécies e até mesmo diferentes cultivares divergem em suas respostas à disponibilidade de nutrientes, devido à diferenciada capacidade de absorção, e utilização dos nutrientes, evidenciando que os mecanismos desenvolvidos pelas plantas para uma alta eficiência nutricional diferem entre espécies (TOMAZ et al., 2008).

Fisalis quando cultivada em solução com omissão de nutrientes não apresentaram diferença significativa na eficiência de utilização (EU) em relação ao tratamento com omissão, com exceção do Mg, que apresentou menor eficiência no tratamento completo (Tabela 5). Esse resultado destaca o potencial de fisalis na otimização dos nutrientes para a manutenção das atividades metabólicas, podendo ser cultivada com baixo teor de nutrientes. No tratamento com omissão de nutriente a maior EU foi observada para o Mg, seguida pelo P. O Mg é um nutriente móvel no floema sendo translocado das folhas para os drenos principais, frutos e sementes (WHITE; BROADLEY, 2009), podendo ser utilizado na ativação de reações enzimáticas (TAIZ et al., 2017). No cultivo com omissão de nutrientes, o K apresentou a maior EA, porém, em relação a EU foi observada a menor taxa. A EU depende da translocação do nutriente para a parte aérea e da exigência metabólica da planta (TOMAZ; AMARAL, 2008). No caso do K, para o desempenho de suas funções metabólicas, é requerido em grandes quantidades pelas plantas (NIU et al., 2013).

Conclusões

A omissão de macronutrientes ocasionou alterações na taxa fotossintética, na condutância estomática, na taxa transpiratória, no carbono consumido e na eficiência no uso da água. A omissão de Ca, S e N foram os tratamentos que mais afetaram as características fisiológicas de fisalis.

O crescimento das plantas de fisalis foi comprometido pela omissão de macronutrientes. A ordem de restrição do desenvolvimento ocasionada pela omissão de macronutrientes no cultivo de fisalis foi: **S >N >P>Ca>K >Mg**.

O acúmulo total de macronutrientes com solução completa obedeceu a seguinte ordem decrescente **N>K>Ca>S>Mg>P**, o que reflete as exigências nutricionais de fisalis.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pela infraestrutura necessária para condução do experimento.

Referências

- AMARAL, J. F. T. et al. Produtividade e eficiência de uso de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 65-74, 2011.
- AULAR, J.; NATALE, W. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 1214-1231, 2013.
- ASPIAZÚ, I. et al. Eficiéncia fotosintética y de uso del agua por malezas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 87-92, 2010.
- AULAR, J.; NATALE, W. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 1214-1231, 2013.
- BAESSO, M. M. et al. Determinação do nível de deficiência nutricional de nitrogênio no feijoeiro utilizando redes neurais artificial. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 20 n. 6, p. 512-518, 2012.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N. K. Plant nutrient efficiency: towards the second paradigm. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. 818 p.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Produção e morfologia da leguminosa java submetida a adubação fosfatada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-10, 2011.
- CAKMAK I. Magnesium in crop production, food quality and human health. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 360, p. 01-04. 2013.
- CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, Sweden, v. 133, n. 3, p. 692–704, 2008.
- CARRIL, E. P. U. Fotossíntesis: Aspectos básicos. **Reduca (Biologia)**. Série Fisiología Vegetal. Madrid, v. 2, p. 1-47, 2009.
- CASTRO, A.; RODRIGUEZ, L.; VARGAS, E. Dry gooseberry (*Physalis peruviana* L.) with pretreatment of osmotic dehydration. **Vitae - Revista de la Facultad de Química Farmacéutica**, Medellín, v. 15, n. 2, p. 226- 231, 2008.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **Journal Agriculture Food Chemistry**, Washington, v. 23, p. 458-460, 1975.

- CONCENÇO, G. et al. Fotossíntese de biótipos de azevém sob condição de competição. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 595-600, 2008.
- COSTA, L. C. et al. Sintomas de deficiências de macronutrientes em melanciaira. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 8, n. 1, p. 80-92, 2017.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Mineral nutrition of plants**. Sunderland: Sinauear Associates, 2006. 403p.
- FIOREZE, S. L. et al. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob deficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 11, p. 1432-1439, 2013.
- FIRMINO, M. C. et al. Altura e diâmetro do pinhão manso sob adubação fosfatada e uso de água residuária. **ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 22-31, 2015.
- FISCHER, G.; ALMANZA, P.J.; MIRANDA, D. Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 1-15, 2014.
- FISCHER, G.; ANGULO, R. Los frutales de clima frío en Colombia. **Ventana al Campo Andino**, Bogotá, v. 2, n. 1, p. 3-6, 1999.
- FISCHER, G.; EBERT G.; LÜDDERS, P. Production, seeds and carbohydrate contents of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting Colombian altitudes. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Warsaw, v. 81, p. 29-35, 2007.
- FISCHER, G.; HERRERA, A.; ALMANZA, P.J. Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) In: Yahia, E.M. **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits**. Acai to citrus. Cambridge: Woodhead Publishing, v. 2, p. 374-396, 2011.
- FLETCHER, A. L.; MOOT, D. J.; STONE, P. L. Solar radiation interception and canopy expansion of sweet corn in response to phosphorus. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 29, p. 80-87, 2008.
- FLEXAS, J. et al. Mesophyll conductance to CO₂: current know ledge and future prospects. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 31, p. 602-612, 2008.
- FUKAYAMA, H. T. et al. Rice plant response to long term CO₂ enrichment: gene expression profiling. **Plant Science**. Clare, v. 177, p. 203-210. 2009.
- FUNK, J.L.; AMATANGELO, K.L. Physiological mechanisms drive differing foliar calcium content in ferns and angiosperms. **Oecologia**, New York, v. 173, p. 23-32, 2013.
- GALON, L.I. et al. Tolerância de novos genótipos de cana-de-açúcar a herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 329-338, 2010.
- GE, L.L.; TIAN, H.Q.; RUSSELL, S.D. Calcium function and distribution during fertilization in angiosperms. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 94, p. 1046-1060, 2007.
- GONZÁLEZ, O. T. et al. Caracterización morfológica de cuarenta y seis accesiones de uchuva (*Physalis peruviana* L.), en Antioquia (Colombia). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 708-715, 2008.

GUHA S.; RAO I. S. Nitric oxide promoted rhizome induction in *Cymbidium* shoot buds under magnesium deficiency. **Biologia Plantarum**, Oxford, v. 56, p. 227-236. 2012.

HAWKESFORD, M. et al. Functions of macronutrients In: MARSCHNER, P. (ed). **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 2012. p. 135-189.

HEPLER, P. K.; WINSHIP, J. L. Calcium at the Cell Wall-Cytoplasm Interface. **Journal of Integrative Plant Biology**. China, v. 52, p. 147–160, 2010.

HERMANS, C. et al. How plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 11, v. 12, p. 610-617, 2006.

HERR, L. Potássio com aminoácidos melhoram o enchimento da cebola. **Campo e Negócios**, Uberlândia, p. 116, 2015.

HOCHMUTH, G. et al. Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida. Gainesville, University of Florida, **Institute of Food and Agricultural Sciences**, Florida, v. 48, p. 1-48, 2012.

HOUDUSSE, F. et al. Possible mechanism of the nitrate action regulating free-putrescine accumulation in ammonium fed plants. **Plant Science**, Clare, v. 175, p.731-739, 2008.

IANCKIEVICZ, A. et al. Produção e desenvolvimento da cultura de *Physalis peruviana* L. submetida a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 3, p. 438-444, 2013.

JIN, S.H. et al. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. **Tree Physiology**, Oxford, v. 31, p. 1142-1151, 2011.

KANO, C.; CARDOSO A. I. I.; VILLAS BÔAS, R. L. Influência de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface, **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, 2010.

KERTESZ, M.A.; FELLOWS, E.; SCHMALENBERGER, A. Rhizobacteria and plant sulfur supply. **Advances in Applied Microbiology**, Phoenix, v. 62, p. 235-268, 2007.

KRICHEVSKY, A. et al. How pollen tubes grow. **Developmental Biology**, Bethesda, v. 303, p. 405-420, 2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. 3ª ed. São Carlos: Editora RiMa, 2006. 529 p.

LI, B.; McKEAND, S.E.; ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Bethesda, v.37, n.2, p.613-626, 1991.

LIMA, R. L.S. et al. Redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão-mansão entre estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 1175-1179, 2011.

LIN, H. J. et al. Transcriptional responses of maize seedling root to phosphorus starvation. **Molecular Biology Reports**, Durham, v. 40, p. 5359-5379, 2013.

LUCHESE, C. L., GURAK, P. D., MARCZAK, L. D. F., Osmotic dehydration of *Physalis* (*Physalis peruviana* L.): Evaluation of water loss and sucrose

- incorporation and the quantification of carotenoids. **LWT - Food science and technology**, Campinas, v. 63, p. 1128-1136, 2015.
- LUCHETA, A. R.; LAMBAIS, M. R. Sulfur in agriculture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n. 5, 2012.
- MANSO, L. Produção de *Physalis peruviana* em Portugal. **Voz do Campo**, Castelo Branco, Investigação, v. 46, 2012.
- MARSCHNER P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ed. New York, Academic Press, 2012. 651p.
- MARTÍNEZ, F. E. et al. Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v. 26, n. 3, 2008.
- MARTÍNEZ, F. E. et al. Sintomas de deficiência de macronutrientes e boro em plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v. 27, n. 2, p. 169-178, 2009.
- MELO, A. S. et al. Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 733-741, 2008.
- MORETTI, B. S. et al. Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. **Cerne**, Lavras, v. 17, n.4, p.453-463, 2011.
- MUNIZ J. et al. General aspects of *Physalis* cultivation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 964-970, 2014.
- MUNIZ, J. et al. Sistemas de condução para o cultivo de *Physalis* no Planalto Catarinense. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 830-833, 2011.
- NIU, J. et al. Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in the North China Plain. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 140, p. 69-76, 2013.
- PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e Prática. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011.
- PETTIGREW, W. T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. **Physiologia Plantarum**, Sweden, v. 133, p. 670-681, 2008.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.
- REIS, E.L.; CHEPOTE, R.E.S. Solos e nutrição da seringueira. p. 251-310. In: ALVARENGA, A. DE P.; CARMO, C.A.F.S. **Seringueira**. Viçosa: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), 2008. 893 p.
- RUFATO, L. et al. **Aspectos técnicos da cultura da *Physalis***. Lages: CAV/UDESC; Pelotas: UFPel, 2008. 100 p.
- SHIMAZAKI, K.I. et al. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p. 219-247, 2007.

SIDDQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Biologia de plantas daninhas. In : SILVA, A. A. ; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, cap. 3, p. 58-117, 2007. 367 p.

SILVA, E. B. et al. Visual Symptoms of nutrient deficiencies in *Physalis peruviana* L. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 1, p. 105-112, 2017.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627 p.

SILVEIRA, H. M. et al. Características fisiológicas de cultivares de mandioca após aplicação do mesotrione. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 403-409, 2013.

SOUZA, M.O. et al. Osmotic priming effects on emergence of *Physalis angulata* and the influence of abiotic stresses on physalin content. **South African Journal of Botany**, Stellenbosch, v. 88, p. 191-197, 2013.

SOUZA, M.O. et al. Preconditioning of *Physalis angulata* L. to maintain the viability of seeds. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 44, p. 153-156, 2014.

SOUZA, N. H. et al. Estudo nutricional da canafístula (ii): eficiência nutricional em função da adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.5, p.803-812, 2012.

SWIADER, J.M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento Vegetal**. 6ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

THOMÉ M.; OSAKI, F. Adubação de nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento de *Physalis* spp. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias Ambientais**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 11-18, 2010.

TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. **Eficiência nutricional em plantas**. Estudos avançados em produção vegetal. Alegre: Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, v. 1, 2008. 300p.

TOMAZ, M. A. et al. Diferenças genéticas na eficiência de absorção, na translocação e na utilização de K, Ca e Mg em mudas enxertadas de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1540-1546, 2008.

VILAR, C. C.; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, Ponta Grossa, v. 8, n. 2, p. 37-44, 2013.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2006. p.299-325.

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

WIMALASEKERA, R.; TEBARTZ, F.; SCHERE, G. F. E. Polyamines, polyamine oxidases and nitric oxide in development, abiotic and biotic stresses. **Plant Science**, Clare, v. 181, p. 593-603, 2011.

YANG, L. T. et al. Magnesium deficiency-induced changes in organic acid metabolism of *Citrus sinensis* roots and leaves. **Biologia Plantarum**, Oxford, v. 3, p. 481-486, 2013.

YOST, M. A. et al. Potassium management during the rotation from alfalfa to corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 6, p. 1785- 1793, 2011.