



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



DISSERTAÇÃO

**DIAGNOSE POR SUBTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM
ALGODOEIRO BRS TOPÁZIO.**

FELIPE GUEDES DE SOUZA

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
FEVEREIRO – 2017**

FELIPE GUEDES DE SOUZA
Bacharel em Engenharia Agrícola

DIAGNOSE POR SUBTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM
ALGODOEIRO BRS TOPÁZIO.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. LUCIA HELENA GARÓFALO CHAVES

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e drenagem.

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA
FEVEREIRO – 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO
FELIPE GUEDES DE SOUZA

DIAGNOSE POR SUBTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM
ALGODOEIRO BRS TOPÁZIO.

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Prof.^a Dr.^a Lucia Helena Garófalo Chaves
Orientadora

Prof.^a Dr.^a Maria Sallydelandia Sobral
Examinadora

Prof. Dr. Iêde de Brito Chaves
Examinador

Dr. Allan Nunes Alves
Examinador

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA
FEVEREIRO – 2017

*Aos meus pais **Silvio e Teresinha**, por todo carinho e apoio que me foi dado em favor da minha educação e aprendizagem, pela ajuda e força dado nos momentos mais difíceis da minha vida, por confiarem no meu potencial e pelos valores oferecidos de honestidade, humildade e perseverança.*

DEDICO

*À minha noiva **Mairla**, que me forneceu muita força, determinação e carinho para a conclusão deste trabalho; ao meu sobrinho **Kaique** e meu irmão **Breno** pelo companheirismo.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua imensa glória em minha vida, ao seu filho, Jesus Cristo, meu confidente e protetor, à Virgem Maria Santíssima, minha mãe do Céu, aos quais devo todo meu esforço e perseverança para concluir qualquer tarefa da minha vida e que jamais me deixaram perder o foco nos meus sonhos e objetivos.

Aos meus pais, Silvio e Teresinha, pelo apoio em todos os momentos, dando-me, o quanto podiam, os melhores alicerces educacionais, assim como para minhas irmãs.

A minha noiva Mairla Raposo, pelo companheirismo, carinho e amizade, dando-me sempre forças para seguir em frente.

A meu lindo sobrinho Kaique Benicio, que, por sua existência já me deu forças para lutar a cada dia. Ao meu irmão Breno e sua esposa, pelo apoio e amizade.

Ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, pelo acolhimento e por me proporcionar a realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos e pelo financiamento do projeto ao qual esse experimento fez parte.

A orientadora Dra. Lucia Helena Garófalo Chaves, pela incomparável e valiosa contribuição à minha vida acadêmica e profissional, além de todo o incentivo, amizade e paciência.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pelos ensinamentos prestados.

Ao professora e coordenadora do curso de pós graduação Dra. Vera Lucia Antunes de Lima pela oportunidade do estágio docência na disciplina Drenagem Agrícola.

Ao Dr. Allan Nunes Alves pelo apoio, paciência e colaboração no desenvolvimento do trabalho e nos momentos em que necessitei de suprir as mais variadas dúvidas.

Aos funcionários da Coordenação da Pós e da Graduação em Engenharia Agrícola, Dona Cida, Gilson, Roberto, Aldaniza e Cardoso, pela prestatividade.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), Wilson, Jacqueline, Marcos, Zé Maria e em especial ao Francisco de Assis (DOUTOR) In memoria, pela amizade, carinho e prestatividade nos momentos que precisei.

Aos membros da banca examinadora, Dra. Maria Sallydelandia Sobral, Dr. Iêde de Brito Chaves e Dr. Allan Nunes Alves, pela disposição e contribuição para a melhoria do meu trabalho.

Em especial, aos amigos, Jean e Hallyson, por me auxiliarem na condução e conclusão do meu trabalho, bem como a Queila, Elka e seu esposo Leandro, Joyce, Geraldo, Mayra, também pela amizade e contribuição no trabalho. Além dos demais colegas de pós graduação, Leandro, Jaricelia, Cristina, Adaan, Tainara, Elysson,

Por fim, agradeço aos demais amigos de convívio pessoal que contribuíram, na construção da minha vida social, tornando- a mais alegre e feliz.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1. Aspectos botânicos da cultura do algodão	17
3.2. Aspectos econômicos da cultura do algodão	18
3.3. Importância da nutrição mineral nas plantas	19
3.4. Diagnose por Subtração.....	21
3.5. Caracterização dos sintomas de deficiência causados pelos macronutrientes.....	21
3.5.1. Nitrogênio.....	21
3.5.2. Fósforo.....	22
3.5.3. Potássio.....	23
3.5.4. Cálcio.....	23
3.5.5. Magnésio	24
3.5.6. Enxofre	24
3.6. Solução Nutritiva	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1. Caracterização da área	26
4.2. Cultivar estudada no experimento	26
4.3. Manejo da cultura	27
4.5. Preparo das soluções	29
4.6. Variáveis analisadas.....	30
4.6.1. Diagnose visual das plantas.....	30
4.6.2. Altura da planta	31
4.6.3. Diâmetro do caule	31
4.6.4. Número de folhas	31
4.6.5. Fitomassa seca	31
4.6.6. Teores de nutrientes nas plantas	31
4.6.7. Análise estatística	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1. Sintomatologia visual das deficiências com macronutrientes	32
5.1.1. Nitrogênio.....	32
5.1.2. Fósforo.....	33

5.1.3. Potássio.....	35
5.1.4. Cálcio.....	36
5.1.5. Magnésio	37
5.1.6. Enxofre	38
5.2. Avaliações dos parâmetros agronômicos das plantas de algodão.	39
5.2.1. Variáveis de crescimento.....	39
5.2.1.1. Altura de planta.....	39
5.2.1.2. Diâmetro do caule	41
5.2.1.3. Número de folhas	42
5.2.1.4. Área foliar	43
5.2.2. Matéria seca das plantas de algodão.....	44
5.3. Avaliação dos teores de nutrientes nas plantas submetidas à omissão dos macronutrientes.	47
5.3.1. Nitrogênio.....	48
5.3.2. Fósforo.....	49
5.3.3. Potássio.....	50
5.3.4. Cálcio.....	51
5.3.5. Magnésio	53
5.3.6. Enxofre	54
6. CONCLUSÃO	55
7. REFERÊNCIAS.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos que foram utilizadas nas plantas de algodão.....	28
Tabela 2. Reagentes e concentrações das soluções estoques.....	29
Tabela 3. Quantidades volumétricas (em ml) de solução estoque a serem tomadas para preparar um litro de solução nutritiva com água deionizada.....	30
Tabela 4. Resumo das análises das variâncias para os dados de teores de nutrientes nas plantas de algodão, em função dos tratamentos.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista interna da área experimental e vista lateral da área experimental.....	26
Figura 2. Detalhamento do sistema de distribuição de oxigênio para as plantas.....	27
Figura 3. Sintomas visuais de deficiência do nitrogênio em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental.....	32
Figura 4. Sintomas visuais de deficiência do fósforo em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental.....	34
Figura 5. Sintomas visuais de deficiência do potássio em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental.....	35
Figura 6. Sintomas visuais de deficiência do cálcio em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental.....	36
Figura 7. Sintomas visuais de deficiência do magnésio em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental.....	37
Figura 8. Sintomas visuais de deficiência do magnésio em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental.....	38
Figura 9. Altura das plantas de algodão, após os 20, 30, 40, e 50 DAS cultivadas com solução completa (SC) e com a omissão dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.....	39
Figura 10. Diâmetro caulinar das plantas de algodão, após os 20, 30, 40, e 50 DAS cultivadas com solução completa (SC) e com a omissão dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.....	41
Figura 11. Número de folhas das plantas de algodão, após os 20, 30, 40, e 50 DAS cultivadas com solução completa (SC) e com a omissão dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.....	42
Figura 12. Área foliar das plantas de algodão, após os 20, 30, 40, e 50 DAS cultivadas com solução completa (SC) e com a omissão dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.....	43
Figura 13. Produção de matéria seca da total da cultura do algodão cultivado com omissão dos macronutrientes. Decorridos 50 dias do início do tratamento.....	45
Figura 14. Produção de matéria seca das raízes da cultura do algodão cultivado com omissão dos macronutrientes. Decorridos 50 dias do início do tratamento.....	46

Figura 15. Produção de matéria seca da parte aérea da cultura do algodão cultivado com omissão dos macronutrientes. Decorridos 50 dias do início do tratamento.....	47
Figura 16. Teor médio do nitrogênio (dag.kg^{-1}) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.....	48
Figura 17. Teor médio do fósforo (dag.kg^{-1}) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.....	49
Figura 18. Teor médio do potássio (dag.kg^{-1}) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.....	51
Figura 19. Teor médio do cálcio (dag.kg^{-1}) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.....	52
Figura 20. Teor médio do magnésio (dag.kg^{-1}) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.....	53
Figura 21. Teor médio do enxofre (dag.kg^{-1}) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.....	54

SOUZA, F. G. **Diagnose por subtração de macronutrientes em algodoeiro BRS Topázio**, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

RESUMO

O algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) é uma malvácea perene cultivada como cultura anual, apresenta grande importância econômica e social a nível mundial sua produtividade depende de uma boa disponibilidade de nutriente, propiciando as plantas quantidades ideais para o seu bom desenvolvimento. Nesse contexto objetivou-se, com esse trabalho avaliar o efeito da subtração de macronutrientes no crescimento do algodoeiro BRS Topázio, em pesquisa realizada de junho a agosto de 2016 em casa de vegetação, pertencente Universidade Federal de Campina Grande, PB. O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado, composto de sete tratamentos com três repetições, totalizando 21 unidades experimentais, contendo em cada unidade experimental uma planta de algodão. Os tratamentos consistiram do controle experimental (T1) plantas de algodão que receberam todos os nutrientes essenciais; e os tratamentos (T2, T3, T4, T5, T6, T7) que corresponderam às plantas, contendo as soluções nutritivas com exclusão do nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S). A omissão dos macronutrientes afetaram todas as variáveis de crescimento proporcionando uma redução da altura da planta, diâmetro caulinar, número de folhas, por consequência a área foliar da planta e a matéria seca produzida, sendo as plantas com omissão de N, P, Ca, K as mais prejudicadas. Os sintomas de deficiência visuais foram diagnosticados em todas as plantas com omissão dos macronutrientes, exceto nas plantas com omissão de S. E os teores de nutrientes se comportaram dessa forma: O teor de N nas plantas de algodão aumentou e diminuiu nas ausências de K e de Ca, respectivamente. O teor de P nas mesmas aumentou com a omissão de N, K, Mg e diminuiu com omissão de S. Já em relação ao teor de K, aumentou na ausência de S e diminuiu nas ausências de N, P, K e Ca. Os maiores teores de Ca, Mg e S nas plantas de algodão foram observados com a ausência de K. Constatou-se que a omissão dos macronutrientes nas plantas de algodão afetou o crescimento e desenvolvimento dessa cultura.

Palavras – chaves: *Gossypium hirsutum* L., deficiência nutricional, diagnose visual.

SOUZA, F. G. **Diagnosis by subtraction of macronutrients in BRS Topazio**, 2017. Dissertation (MSc in Agricultural Engineering). Federal University of Campina Grande. Center for Technology and Natural Resources. Campina Grande, PB.

ABSTRACT

The herbaceous cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is a perennial malvaceous cultivated as an annual crop, presents great economic and social importance worldwide its productivity depends on a good availability of nutrient providing, the plants ideal amounts for their good development. In this context, the objective of this work was to evaluate the effect of macronutrient subtraction on the BRS Topázio cotton growth, from June to August 2016, in a greenhouse, belonging to the Federal University of Campina Grande, PB. The statistical design was completely randomized, consisting of seven treatments with three replicates, totalizing 21 experimental units, containing in each experimental unit a cotton plant. The treatments consisted of experimental control (T1) cotton plants that received all the essential nutrients; (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S). The omission of the macronutrients affected all the growth variables, resulting in a reduction in plant height, leaf diameter, number of leaves, consequently the leaf area of the plant and the dry matter produced, being the plants with omission of N, P, Ca, K the most impaired. The visual deficiency symptoms were diagnosed in all plants with omission of the macronutrients, except in the plants with the omission of S. And the contents of nutrients behaved in this way: N content in cotton plants increased and decreased in the absence of K and of Ca, respectively. The content of P in them increased with the omission of N, K, Mg and decreased with omission of S. In relation to the content of K, it increased in the absence of S and decreased in the absence of N, P, K and Ca. Higher levels of Ca, Mg and S in cotton plants were observed with the absence of K. It was observed that omission of macronutrients in cotton plants affected the growth and development of this crop.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L., nutritional deficiency, visual diagnosis.

1. INTRODUÇÃO

As oleaginosas são plantas que possuem alto teor de óleo, tanto a partir de suas sementes, como a partir de seus frutos, podendo ser utilizadas para a produção de óleo vegetal. Além disso, as oleaginosas possuem uma importante característica em relação ao seu subproduto, o qual pode ser aproveitado de diferentes formas, seja na complementação nutricional dos animais ou como adubação verde (STCP, 2006).

Dentre as culturas oleaginosas, destaca-se o algodoeiro, a qual possibilita as maiores taxas de retorno ao produtor agrícola; porém, oferece maiores riscos e exige alto nível tecnológico e investimento para sua implantação (AGRIANUAL, 2005).

O algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) é uma malvácea perene cultivada como cultura anual devido. Desta espécie vegetal é oriunda a fibra mais utilizada pelo homem (veste quase metade da humanidade), devido as suas qualidades. A semente e a fibra do algodoeiro, que representam, respectivamente, 65 e 35% da massa colhida, são os principais produtos desta cultura e, todos os produtos e subprodutos desta parte da planta são aproveitados. Por exemplo, após a extração do óleo das sementes, que é utilizado na alimentação humana e na fabricação de margarina e sabão, a torta, tegumento, fibrilha e caroço, subprodutos, são utilizados na alimentação animal, na fabricação de certos tipos de plástico e de borracha sintética, na indústria química de plásticos e explosivos e na alimentação de ruminantes, respectivamente (CARVALHO, 1996; SAVASTANO, 1999).

No Brasil a cultura do algodão tem destaque, principalmente na região nordeste. Segundo a ICAC 2015 a projeção para a safra 2015/16 coloca o Brasil como quinto produtor, competindo com China, Índia, Estados Unidos e Paquistão; na mesma projeção, o Brasil se situa na sexta posição como consumidor e quarto exportador mundial.

Para manter essa competitividade e alcançar boa produtividade é necessário que a disponibilidade de nutrientes seja adequada propiciando às plantas quantidade ideal para o seu bom desenvolvimento. Isto tem gerado pesquisas referentes aos aspectos nutricionais da cultura desde a década de 1960, subsidiando a cotonicultura com informações relevantes sobre nutrição (SERRA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2009).

O crescimento das plantas na falta de algum elemento considerado essencial para o seu desenvolvimento acarreta fenômenos bioquímicos dentro das plantas que são externados por sintomas característicos. Esses sintomas são caracterizados, de maneira

rápida, pela diagnose visual, que consiste em comparar visualmente o aspecto (coloração, tamanho, forma) da amostra (planta, ramos, folhas) com o padrão. Essa diagnose identifica uma planta com deficiência ou excesso de algum nutriente, ou excesso de algum elemento químico. Porém, as alterações visíveis, nem sempre permite a possibilidade de correção da carência no próprio ano agrícola, desta forma, os danos econômicos já ocorreram. Por isso pode ser utilizado outras diversas técnicas de avaliação do estado nutricional, como por exemplo, a diagnose foliar. Com esta técnica se analisam os teores dos nutrientes em determinadas folhas, em períodos definidos da vida da planta, e os compara com padrões nutricionais da literatura. Na folha ocorrem os principais processos metabólicos, portanto, é o órgão que melhor representa o estado nutricional da planta (FAQUIN, 2002). Para a diagnose foliar do algodoeiro devem ser amostradas folhas no período de crescimento. A diagnose foliar constitui-se, juntamente com a diagnose visual, em ações que representam a grande maioria dos estudos e da difusão de tecnologia voltada para a nutrição de plantas (SILVA, 2006).

Na literatura existem poucos trabalhos que descrevem os sintomas de deficiências nutricionais de macro nutrientes em culturas de algodão. O diagnóstico e a obtenção de informações sobre as exigências nutricionais das plantas e o comportamento frente ao fornecimento limitado de nutrientes são de grande importância para a produção agrícola. E, a utilização da técnica de diagnose por subtração de nutrientes pode auxiliar no manejo e caracterização dos sintomas de deficiência das culturas.

Neste contexto, o presente estudo busca-se identificar e descrever os sintomas visuais das carências de macronutrientes, bem como determinar características biométricas na cultura do algodão, em função da omissão de nutrientes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito da omissão ou subtração de macronutrientes no crescimento do algodoeiro BRS Topázio.

2.2. Objetivos Específicos

- a.** Avaliar o crescimento vegetativo do algodão cultivado em solução nutritiva completa e em soluções com omissão de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S),
- b.** Identificar o(s) nutriente(s) que apresenta(m) efeitos mais determinantes no crescimento das plantas do algodão.
- c.** Avaliar a sintomatologia de deficiência nutricional para os nutrientes utilizados na cultura do algodão.
- d.** Avaliar o estado nutricional das plantas cultivadas com a omissão dos nutrientes.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aspectos botânicos da cultura do algodão

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) é uma dicotiledônea do gênero *Gossypium* e da família *Malvaceae* (FRYXELL, 1984). O aproveitamento das suas partes vegetais é um dos mais completo entre as culturas; suas fibras vegetais são cultivadas a muito tempo, sendo considerado um dos cultivos mais antigo do mundo (LIMA, 2007). Além de produzir fibra produz e aproveita vários outros subprodutos, como por exemplo, o óleo, que representa cerca de 17% de todo o óleo vegetal produzido no mundo, e o linter (fibras curtas, menores que 12,7 mm), que é aproveitado em inúmeras aplicações na indústria como algodão hidrófilo, tecidos rústicos, pólvora e estofamentos, dentre outros (BELTRÃO *et al.*, 2000).

A cultura do algodão herbáceo possui ciclo perene variando entre 120 a 140 dias; caracteriza-se por uma planta ereta, com raízes principais no estilo cônico e pivotante. Suas raízes secundárias são em número reduzido, além de serem em sua grande maioria grossas e superficiais. O caule herbáceo tem altura variável composta por ramos vegetativos. As folhas são pecioladas, geralmente cordiformes, de consistência coriácea ou não, inteira ou recortada possuindo de três a nove lóbulos. As flores são hermafroditas, axilares, isoladas ou não, apresentando coloração creme, abrindo-se entre 9 e 10 horas. Os frutos são denominados de maçãs quando verdes e de capulhos quando se abrem, são capsulares de deiscência longitudinal, possuindo três a cinco lóculos, podendo chegar de seis a dez sementes. As sementes são revestidas de pelos, mais ou menos longos, denominados de fibra ou linter (SEAGRI, 2016).

Essa planta ainda possui uma organografia complexa, com, pelo menos, três tipos de folha, dois tipos de ramificação, metabolismo fotossintético C3, com elevada taxa de fotorrespiração e crescimento indeterminado, além de ser resistente a sais e à seca, de modo geral (BELTRÃO, 2006).

No que se refere ao mecanismo fisiológico essa planta possui um eficiente ajustamento osmótico, que compreende o acúmulo de sais em seu vacúolo para ajustar o seu potencial, situação a qual o torna uma planta muito resistente a seca, porém muito sensível a anoxia e hipóxia que proporciona diminuições nas principais funções metabólicas tais como a fotossíntese, a respiração além de vários sistemas enzimáticos; essa sensibilidade a anoxia e hipóxia também favorece a redução dos parâmetros de crescimento dessa cultura (BELTRÃO *et al.*, 2005).

3.2. Aspectos econômicos da cultura do algodão

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é um vegetal que apresenta grande importância econômica e social a nível mundial estando entre as principais culturas que movimentam o agronegócio em diversas partes do mundo. Essa oleaginosa destaca-se por uma produção superior a 20 milhões de toneladas de fibra por ano, sendo cultivada em mais de 80 países (BELTRÃO *et al.*, 2010).

Posicionado, atualmente, como o quinto maior produtor mundial de algodão, ficando atrás da China, Índia, EUA e Paquistão, o Brasil produziu, no ano de 2015, 1.539,1 mil toneladas de pluma (CONAB, 2015).

No Brasil, o algodão é cultivado em vários estados, sendo que nas maiores áreas plantadas, Mato Grosso, Goiás e Bahia (DUTRA & MEDEIROS FILHO, 2009), são colhidos 82% da produção nacional com destaque no investimento em biotecnologia, otimização do manejo e gerenciamento do setor (MAPA, 2013). Segundo Bezerra *et al.* (2009) o agronegócio da cotonicultura constitui-se em uma das principais atividades agrícolas do país, representando em torno de 15% da economia nacional.

O algodão tem como principal produto a sua fibra por ter em sua composição de aproximadamente 94% de celulose, produto muito utilizado nas indústrias têxteis com um aproveitamento em torno de 50% de todo mercado de fibras têxteis no mundo. A fibra representa 35% a 45% da produção total (SANTOS *et al.*, 2008)

A fibra do algodão possui várias aplicações na indústria, tais como, confecção de fios para algodão hidrófilo para a enfermagem, confecção de feltro, cobertores e estofamentos, entre outras (LIMA, 2007); a semente ou caroço constitui uma das principais matérias-primas para a indústria de óleo comestível, fornecendo inúmeros subprodutos, como resíduos da extração do óleo, torta e farelo, ricas fontes de proteína de boa qualidade e bastante utilizados no preparo de rações (EMBRAPA, 2003). O tegumento é usado para fabricar certos tipos de plásticos e de borracha sintética; já a fibrila, a fina penugem que fica agarrada à semente depois de extraída a fibra, é usada na indústria química de plásticos e explosivos (CARVALHO, 1996).

Nos processos de cotonicultura, fiação, tecelagem, tinturaria e acabamento, indústria de vestuário e distribuição varejista, o algodão em caroço que é produzido em propriedades rurais se transforma em algodão em pluma nas algodoeiras, em fio de algodão de várias especificações na fiação, em tecido cru na tecelagem, em tecido

estampado na tinturaria e acabamento, em roupas e outros produtos na indústria de confecções; assim, são finalmente distribuídos pela estrutura varejista, especializada em confecções de vários tipos (BESEN *et al.*, 1995).

3.3. Importância da nutrição mineral nas plantas

A análise nutricional é responsável por identificar quais elementos são essenciais para o ciclo de vida da planta, de que maneira tais elementos são absorvidos, translocados e acumulados, suas funções, as exigências e os distúrbios que causam quando são fornecidas em quantidades deficientes ou excessivas.

Quando se realiza a análise química do tecido vegetal, é comum encontrar cerca de meia centena de elementos químicos, entretanto, nem todos são considerados nutrientes de planta. Isso ocorre porque as plantas têm habilidade de absorver do solo ou da solução nutritiva, os elementos químicos disponíveis sem grandes restrições, podendo ser um nutriente ou um elemento benéfico e/ou tóxico (PRADO, 2008).

A partir desta gama de elementos encontrados no tecido vegetal, Arnon; Stout (1939) estabeleceram uma classificação de elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas. Para ser considerado desta forma tal elemento deve atender à três critérios, sendo eles: (1) Um elemento é essencial se a sua deficiência impede que a planta complete o seu ciclo vital; (2) Para que um elemento seja essencial, este não pode ser substituído por outro elemento com propriedades similares; (3) o elemento deve participar diretamente no metabolismo da planta e que seu benefício não esteja somente relacionado ao fato de melhorar as características do solo, melhorando o crescimento da microflora ou algum efeito similar.

Os nutrientes têm funções essenciais e específicas no metabolismo das plantas. Dessa forma, quando um dos elementos essenciais não está presente em quantidades satisfatórias, ou em condições que o tornam pouco disponível, a sua deficiência nas células promove alterações no metabolismo das plantas. Os sintomas de carências minerais são mais ou menos característicos para cada nutriente, dependendo também da severidade, da espécie/cultivar e de fatores ambientais (COELHO *et al.*, 2002).

De acordo com Dechen & Nachtigall (2006), os elementos minerais essenciais são denominados nutrientes minerais e são classificados, conforme as quantidades exigidas pelas plantas em: macronutrientes que constituem aproximadamente o 99,5% da massa seca e em micronutrientes, que constituem cerca do 0,03%. Desta forma, são considerados

macronutrientes os nutrientes C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S e como micronutrientes os nutrientes B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn. Esta classificação é utilizada sob o ponto de vista da nutrição mineral de plantas e da fertilidade do solo.

Experimento realizado por Sarruge *et al.* (1966), constatou que as quantidades de macronutrientes mais extraídas pela cultura do algodão é o nitrogênio, potássio, cálcio, enxofre, magnésio, e o fósforo. Bastos *et al.* (2008), avaliou que a carência de fósforo (P) no solo para o cultivo do algodoeiro pode comprometer o sucesso da atividade, se medidas adequadas de correção da deficiência do elemento não forem tomadas.

Segundo Malavolta (2008) um elemento exerce pelo menos uma função na vida da planta, sua falta ou não disponibilidade interna provoca uma lesão ao nível molecular: um dado composto não se forma, uma certa reação é inibida. A doença da planta deve começar como uma lesão molecular do mesmo gênero induzida direta ou indiretamente pelo patógeno (fungo, bactéria, vírus, nematóide).

Estudos comprovam a menor incidência de doenças em virtude de adequada nutrição mineral da planta. A redução da severidade do oídio em videira foi associada ao aumento dos níveis de N, P e K (REUVENI *et al.*, 1993); o retardamento do desenvolvimento de míldio na cebola foi associado ao potássio (DEVELASH & SUGHA, 1997); a incidência de cercospora em plantas de café reduziu, com o aumento da adubação de K e Ca (GARCIA JUNIOR *et al.*, 2003); a severidade de ferrugem asiática (BALARDIN *et al.*, 2006) e a incidência de *Phomopsis phaseoli* na soja (ITO *et al.*, 1994) foram reduzidas graças à adubação com P e K.

Malavolta (2008) afirma ainda, que não se pode concluir, entretanto, que uma planta bem nutrida seja imune ao agente da doença: em igualdade de condições deve ser menos suscetível que a outra com desequilíbrio nutricional. Há muito poucas explicações na literatura sobre a maneira pela qual o patógeno interfere na nutrição mineral. O mesmo autor, avaliando o desenvolvimento de mudas inoculadas, as quais foram cultivadas em solução nutritiva com e sem adição de nutrientes, constatou que a omissão de micronutrientes, exceto B e Mn, levou ao aparecimento de sintomas visuais da doença, confirmados pelo teste imunológico. Há duas explicações possíveis: (1) a deficiência do elemento cria condições para o desenvolvimento da bactéria, (2) o micronutriente é tóxico para o microrganismo.

3.4. Diagnose por Subtração.

Exigências nutricionais das plantas são avaliadas envolvendo aspectos que podem estar ligados a parâmetros quantitativos como também a parâmetros qualitativos (MALAVOLTA, 1980). A avaliação segundo os parâmetros qualitativos podem ser através da técnica da diagnose por subtração que é uma ferramenta simples e eficaz (SANCHES, 1981; RAIJ, 1991).

A Diagnose por Subtração, ou técnica por subtração, ou técnica do elemento faltante consiste em realizar um cultivo de plantas, em substratos dos mais variados como: areia lavada, vermiculita ou solução nutritiva, para estudar as funções de cada nutriente mineral da planta. Essa técnica consiste em adicionar uma solução nutritiva contendo todos os nutrientes que a planta necessita, considerando-a tratamento completo. Os demais tratamentos são constituídos de solução nutritiva com a eliminação de um elemento, mantendo os outros na quantidade adequada (MIN YAN, 2008; AFROUSHEH *et al.*, 2010).

Na diagnose por subtração as plantas são coletadas no estágio de crescimento vegetativo, isso ocorre, pois alguns tratamentos não conseguem chegar a fase de produção e também pelo fato das plantas apresentarem os sintomas de deficiência durante o crescimento vegetativo. As plantas são avaliadas tomando por base os parâmetros de crescimento, onde cada tratamento é comparado avaliando a disponibilidade de cada nutriente omitido em relação ao tratamento completo (VIEIRA, 2007).

3.5. Caracterização dos sintomas de deficiência causados pelos macronutrientes.

As plantas necessitam de quantidades adequadas de cada elemento, conhecido como macro e micronutrientes; na ausência destes elas desencadeiam alguns sintomas característicos, que são diagnosticados muitas vezes apenas de forma visual. (EPSTEIN & BLOOM, 2006)

3.5.1. Nitrogênio

O nitrogênio é um dos elementos minerais mais requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento (REIS *et al.*, 2015). O transporte deste elemento até as raízes do algodoeiro é realizado principalmente por fluxo de massa, ou seja, o nutriente é transportado no solo com a massa de água que se movimenta em direção às raízes em função da transpiração da planta.

O algodoeiro apresenta uma grande limitação interna no metabolismo do nitrogênio, em função da competição que estabelece entre a redução de CO₂ e a do nitrato (STAMATIADIS *et al.*, 2016). Assim, para que ocorra o máximo de fotossíntese, o algodoeiro, planta com metabolismo C3, necessita duas vezes mais nitrogênio nas folhas do que espécies de ciclo C4 (SALEEM *et al.*, 2016).

As estruturas frutíferas do algodoeiro exigem altas concentrações de N, pois seu fornecimento em quantidades adequadas estimula o crescimento, o florescimento, regulariza o ciclo da planta, aumenta a produtividade e melhora o comprimento, a resistência da fibra e o índice micronaire quando aplicado na dosagem e momento adequado para a cultura (CARVALHO *et al.*, 2007).

Sua deficiência resulta em clorose gradual das folhas mais velhas e redução do crescimento da planta, pois é constituinte da molécula de clorofila, a qual é responsável pela captação de luz solar e conseqüentemente pela atividade fotossintética das plantas (TEZOTTO *et al.*, 2015).

3.5.2. Fósforo

A natural deficiência dos solos brasileiros em fósforo (P) e a grande afinidade desse elemento com a fração mineral do solo tornam o P um dos nutrientes aplicados em maior quantidade em diversas culturas de interesse agrônômico (BASTOS *et al.*, 2008). A baixa mobilidade de P no solo sinaliza que se maximize a disponibilidade do nutriente próximo às raízes, a fim de garantir seu adequado transporte para absorção e utilização metabólica pelo algodoeiro (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

O P participa da formação estrutural das plantas, no fornecimento de energia para a produção de fotoassimilados e na qualidade de produtos finais, sendo de extrema importância para a sustentabilidade ecológica e econômica da cultura (BRANDÃO, 2009).

Rosolem *et al.* (1999) demonstraram que, quando o solo está muito deficiente em P, o algodoeiro produz raízes mais finas e longas, melhorando o acesso ao nutriente. Entretanto, isso funciona apenas quando o solo é muito pobre e, nessa situação, a produtividade seria baixa. Em condições de lavouras produtivas, com adubação fosfatada, esse mecanismo não funciona. Os autores demonstraram que o transporte do P no solo limita a absorção do nutriente pelo algodoeiro.

Em um estudo em que se avaliou o desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante, a aplicação do fertilizante muito próximo às sementes resultou em menor comprimento de raízes e em menor absorção de minerais (SOUZA *et al.*, 2007).

3.5.3. Potássio

O potássio (K), para ser absorvido pelas raízes, precisa ser transportado no solo. O principal mecanismo pelo qual ele entra em contato com as raízes do algodoeiro é a difusão, que contribui com 72 a 96% do K absorvido (OLIVEIRA *et al.*, 2004). A exigência do algodoeiro em K é, em média, de aproximadamente 60 kg ha⁻¹ de K para cada tonelada de algodão em sementes, e a época de máxima taxa de absorção coincide com o florescimento (FURLANI JUNIOR, *et al.*, 2001).

Entre os nutrientes, o potássio é descrito como o que exerce mais influência sobre as doenças, pois aumenta a resistência ao desenvolvimento de alguns patógenos, aumenta a espessura da parede celular, proporciona maior rigidez dos tecidos e promove a rápida recuperação após injúrias (BASSETO *et al.*, 2007). A carência de potássio está relacionada com a menor síntese de compostos de alto peso molecular, favorecendo o acúmulo de compostos de baixo peso molecular, propiciando o desenvolvimento de doenças (ADEBITAN, 1998).

Batista (2008), estudando o comportamento do potássio no algodoeiro identificou que este elemento atua direta ou indiretamente na realização da fotossíntese e respiração, assim como no transporte de alimento da planta. Este macronutriente quando disponível em condições adequadas pode contribuir para o aumento das maçãs, peso dos capulhos e das sementes, contribuindo também na promoção da qualidade das fibras do algodão. Ainda de acordo com o mesmo autor, um sinal de deficiência do potássio no algodoeiro é a clorose entre as nervuras das folhas do “baixeiro”.

3.5.4. Cálcio

O cálcio é um macronutriente secundário essencial para diversas culturas, entretanto, sua demanda é muito variável em função da espécie vegetal, sendo exigido em maiores quantidades para o grupo das dicotiledôneas (SFREDO, 2008).

O cálcio quando presente no solo, na maioria das situações não está no estado ativo, isto ocorre por que o elemento é constituinte de rochas e minerais que contém

carbonatos (mármore, calcita, calcário e dolomita), sulfatos (gipso, alabastro), fluorita (fluoreto), apatita (fluorofosfato de cálcio) e granito (rochas silicatadas). As principais fontes de cálcio que são utilizadas na agricultura são o calcário e o gesso. O cálcio é absorvido pelas plantas na sua forma iônica Ca^{2+} através da solução do solo, e o principal mecanismo envolvido é o fluxo de massa (FAQUIN, 2005).

A deficiência nutricional de cálcio apresenta-se inicialmente em órgãos mais novos, caracterizando-se pela redução de crescimento e do tecido meristemático no caule, na folha e na ponta da raiz (MALAVOLTA, 1976; FAQUIN, 2005). O desenvolvimento das folhas primárias é prejudicada na situação em que ocorra a deficiência do cálcio, ocorre o retardamento e quando as folhas emergem elas crescem deformadas (folhas encarquilhadas) (SFREDO, 2008).

3.5.5. Magnésio

O magnésio na planta participa da estrutura da clorofila, do transporte de carboidratos, fotossíntese, respiração, de vários processos como regulador enzimático, armazenamento, e transferência de energia e proporciona maior absorção de H_2PO_4^- pelas plantas (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

Portanto, não é inesperado que sua deficiência cause redução do crescimento da parte aérea e da raiz (CAKMAK, 2013). As concentrações de clorofila (índice SPAD) foram significativamente menores na ausência de magnésio, em virtude de esse elemento ser integrante da molécula de clorofila (MARSCHNER, 2012).

Maia *et al.* (2014) estudando a omissão de nutrientes em plantas de pinhão-manso cultivadas em solução nutritiva, constataram que as plantas submetidas à omissão de magnésio apresentaram clorose internerval, que evoluiu para o branqueamento, necrose das áreas branqueadas, seca e abscisão foliar. Houve, também, moderada redução da emissão de raízes. Silva *et al.* (2009) observaram, ainda, encarquilhamento e enrolamento das folhas velhas e, antes da abscisão, as folhas passaram da coloração amarela à arroxeada, com posterior necrose nos bordos foliares.

3.5.6. Enxofre

Na ausência de enxofre, geralmente, o crescimento da parte aérea é mais afetado do que o crescimento das raízes (MARSCHNER, 2012). O enxofre participa de aminoácidos essenciais e sua deficiência interrompe a síntese de proteínas e açúcares,

ocorre também acúmulo de N-orgânico e N-NO₃, resultando em plantas de menor tamanho e número de folhas (MALAVOLTA, 1980).

A deficiência de S resulta na inibição da síntese de proteínas e segundo Raij (1991), os sintomas desta deficiência se assemelham aos da falta de nitrogênio, as plantas tornam-se uniformemente cloróticas, raquíticas e apresentam reduzido crescimento.

Devido à pouca mobilidade do elemento, sua deficiência se manifesta, inicialmente, nos órgãos mais jovens, como as folhas novas, caracterizando-se por uma clorose. Há também, redução no florescimento e uma nodulação pouco eficiente nas leguminosas (MALAVOLTA *et al.*, 2002).

3.6. Solução Nutritiva

Uma solução nutritiva é o meio pelo qual os nutrientes previamente dissolvidos na água são colocados à disposição das plantas. Todos os nutrientes essenciais devem ser fornecidos em níveis compatíveis às exigências de cada espécie e de acordo com a fase de desenvolvimento (HAAG *et al.*, 1993).

Segundo Cadahia (1998), para a ótima absorção dos nutrientes pelas plantas é necessário que estes se encontrem em concentrações e relações adequadas na solução nutritiva, evitando, dessa forma, fenômenos negativos devido ao potencial osmótico e o antagonismo entre os nutrientes dificultando a absorção pelas plantas. A solução nutritiva ideal deve ser formulada levando em consideração as condições climáticas da região, momentos fenológicos e a evapotranspiração, para evitar salinização da cultura.

Para que a solução nutritiva forneça as plantas condições ideais para seu crescimento, desenvolvimento e produção, são necessários que fatores como pH, condutividade elétrica e equilíbrio iônico estejam em condições ótimas. O manejo desses três parâmetros consiste em controlar periodicamente a solução nutritiva mantendo, sempre que possível entre as faixas ótimas citados por Furlani *et al.* (1999) que são de 24 ± 3°C; 5,5 a 6,5 e 1,5 a 4,0 dS m⁻¹. Segundo Cadahia (1998) para se manter a concentração, frequência e o volume de água são usados os parâmetros de condutividade elétrica, e pH da solução da água.

O controle do pH é relevante para a manutenção da integridade das membranas celulares e para evitar a precipitação de nutrientes como ferro, boro e manganês ou o fósforo (MARTINEZ, 2002). A condutividade elétrica encontra-se diretamente associada à concentração iônica e à absorção dos nutrientes pela cultura ao longo do seu desenvolvimento (MARSCHNER, 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área

A pesquisa foi conduzida de julho a agosto de 2016 em casa de vegetação, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, Campus I, com as seguintes coordenadas geográficas: 7° 15' 18" S e 35° 52' 28" W e altitude média de 550m. A Figura 1 apresenta mais detalhes do local do experimento.

O clima da região onde se realizou o experimento, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo “CSa”, semiúmido, que representa clima mesotérmico, semiúmido, com verão quente e seco (4 a 5 meses) e chuvas de outono e inverno. O período chuvoso é de março a junho, e o mais seco é de outubro a dezembro. O município apresenta uma precipitação média de 765mm. A temperatura na casa de vegetação variou de 23 a 29°C, no período diurno, e de 18 a 22°C no período da noite.



Fonte: Souza (2016)

Figura 1. Vista interna da área experimental e vista lateral da área experimental.

4.2. Cultivar estudada no experimento

A BRS Topázio é uma cultivar de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.), de fibra marrom clara, derivada do cruzamento entre as cultivares Suregrow 31 e Delta Opal 23,8. Reúne as melhores características da fibra entre as demais cultivares coloridas e supera as características de algumas fibras brancas, com alto rendimento de fibra, uniformidade e resistência. A produtividade média alcançada pela BRS Topázio, em

cultivo irrigado, foi de 2.825 kg/ha. O ciclo da cultura varia entre 120-140 dias (EMBRAPA, 2011).

4.3. Manejo da cultura

As sementes de algodão Topázio foram germinadas em espuma fenólica acondicionada em recipiente plástico (copos descartáveis) com capacidade de 50 ml contendo água deionizada até a superfície da espuma.

Antes de receber as sementes, a espuma fenólica foi lavada com água corrente e em seguida com água deionizada para eliminar os resíduos ácidos resultantes do processo de fabricação.

Após a germinação, aos seis dias após a semeadura (DAS), os recipientes contendo a espuma fenólica e uma planta, foram colocados em vasos com capacidade de 1 litro contendo solução nutritiva proposta por Hoagland & Arnon (1950) com 30% da sua força iônica. Estes vasos foram distribuídos aleatoriamente sobre uma bancada de concreto na casa de vegetação.

O fornecimento do oxigênio necessário para as plantas foi feito através de um sistema de distribuição de ar formado por uma tubulação de 50mm de diâmetro com saídas de ar ao longo de seu comprimento (4m), mangueiras acopladas a saídas da tubulação com cápsulas porosas nas suas extremidades, as quais ficavam mergulhadas nos vasos (Figura 2).



Fonte: Souza (2016)

Figura 2. Detalhamento do sistema de distribuição de oxigênio para as plantas.

O sistema era bombeado por um compressor de ar que fornecia o oxigênio às plantas no regime de trinta minutos (meia hora) funcionando com intervalos de quinze minutos parado, durante oito horas diárias. O tempo foi programado pelo timer analógico.

4.4. Delineamento estatístico

Os tratamentos consistiram do controle experimental (T1) – plantas de algodão que receberam todos os nutrientes essenciais; e os tratamentos (T2, T3, T4, T5, T6, T7) que corresponderam às plantas, contendo as soluções nutritivas com exclusão do nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), respectivamente, conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Tratamentos que foram utilizadas nas plantas de algodão.

Tratamento	Sigla	Descrição
1	T1	Solução nutritiva completa (C)
2	T2	Solução nutritiva sem nitrogênio (N)
3	T3	Solução nutritiva sem fósforo (P)
4	T4	Solução nutritiva sem potássio (K)
5	T5	Solução nutritiva sem cálcio (Ca)
6	T6	Solução nutritiva sem magnésio (Mg)
7	T7	Solução nutritiva sem enxofre (S)

Fonte: Souza (2016)

Diariamente foram efetuadas as leituras do pH e da CE das soluções nutritivas. Quando necessário, ajustou-se o pH, mantendo na faixa de 6,5 para todos os tratamentos.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, composto de sete tratamentos com três repetições, totalizando 21 unidades experimentais, contendo em cada unidade experimental uma planta de algodão.

Os reagentes e as concentrações das soluções estoques para a elaboração das soluções nutritivas utilizadas em cada tratamento deste experimento estão descritos na

Tabela 2. As soluções estoque, preparadas a partir dos sais diluídos em água deionizada foram armazenadas em garrafas pets de dois litros de volume, pintadas de prata para evitar a entrada de luz.

Tabela 2. Reagentes e concentrações das soluções estoques.

Solução-estoque	Composto (P.A.)	Concentração
A	Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	1,0 molar (236 g L ⁻¹)
B	KNO ₃	1,0 molar (101 g L ⁻¹)
C	MgSO ₄ 7H ₂ O	1,0 molar (246 g L ⁻¹)
D	KH ₂ PO ₄	1,0 molar (136 g L ⁻¹)
E	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O	0,01 molar (2,52 g L ⁻¹)
F	K ₂ SO ₄	0,05 molar (8,61 g L ⁻¹)
G	CaSO ₄ 2H ₂ O	0,01 molar (1,72 g L ⁻¹)
H	Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	1,0 molar (256,43 g L ⁻¹)
I	Microelementos(*)	*
J	Fe – EDTA	0,5%

Fonte: Souza (2016)

(*) A solução de microelementos teve a seguinte composição: H₃BO₃ = 2,86g; MnCl₂ = 1,81g; ZnSO₄ .7H₂O = 0,22g; (NH₄)₆Mo₇O₂₄. 4H₂O = 0,09 g; CuSO₄ .5H₂O = 0,08g; e Água destilada = 1 L. Para demonstrar a deficiência de um determinado micronutriente, o elemento em questão foi omitido.

4.5. Preparo das soluções

A preparação das soluções nutritivas referentes a cada tratamento foi baseada nas recomendações propostas por Hogland & Arnon (1950). Assim, as soluções estoques (Tabela 2) foram diluídas em água deionizada a partir das concentrações apresentadas na Tabela 3, que correspondem às quantidades volumétricas (em ml) de solução estoque a serem tomadas para preparar um litro de solução nutritiva com água deionizada.

A primeira aplicação das soluções nutritivas (Tabela 3) foi a 30% da sua força iônica, ou seja, a medida da concentração de íons; a segunda aplicação, após dez dias da anterior, foi com 60% da força iônica e, a partir da terceira aplicação, também após 10 dias da segunda, foi fornecida às plantas solução nutritiva com 100% da sua força iônica,

o que ocorreu até o final do período experimental. A aplicação das soluções nutritivas foi realizada durante o período matutino. Quando necessário, aplicava-se água deionizada para evitar a desidratação das plantas.

Tabela 3. Quantidades de solução estoque para preparar um litro de solução nutritiva com água deionizada.

Soluções-estoque															
Soluções nutritivas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Completa	5,0	5,0	2,0	1,0					1,0						1,0
Sem K	5,0		2,0		10,0				1,0						1,0
Sem P	4,0	6,0	2,0						1,0						1,0
Sem Ca		5,0	2,0	1,0					1,0						1,0
Sem N			2,0		10,0	5,0	200,0		1,0						1,0
Sem Mg	4,0	6,0		1,0	3,0				1,0						1,0
Sem S	4,0	6,0		1,0				2,0	1,0						1,0

Fonte: Souza (2016)

4.6. Variáveis analisadas

As variáveis de crescimento foram avaliadas em quatro épocas de desenvolvimento da planta: aos 20 dias após semeadura, 30 DAS, 40 DAS e a última avaliação ocorreu aos 50 dias após a semeadura.

4.6.1. Diagnose visual das plantas

As análises da evolução dos sintomas de deficiência nutricional e o desenvolvimento das plantas foram descritas e fotografadas detalhadamente ao longo do período experimental. Essas descrições foram baseadas nos sintomas descritos por Epstein & Bloom (2006) e por Malavolta (2006). Para melhor captação da imagem, as fotos foram registradas no primeiro horário da manhã, antes da luz forte do sol incidir sobre as plantas.

4.6.2. Altura da planta

A altura das plantas foi medida, em centímetros, usando uma régua graduada, medindo-se a distância entre 1cm acima da espuma fenólica até a folha mais nova totalmente expandida. As leituras foram feitas a cada dez dias, realizando-se quatro leituras.

4.6.3. Diâmetro do caule

O diâmetro do colo do caule foi determinado por um paquímetro digital 150 mm, *Tools Club*. A leitura foi feita acima de 1cm da espuma fenólica dos vasos. As leituras foram feitas a cada dez dias, realizando-se quatro leituras.

4.6.4. Número de folhas

A cada dez dias, foi computada a quantidade de folhas nas plantas com tamanho acima de 3cm de comprimento. Também foram realizadas quatro leituras.

4.6.5. Fitomassa seca

No final do experimento, aos 50 DAS, as plantas foram colhidas, separadas em raízes e parte aérea (folhas, ramos e caules), embaladas em sacos de papel, devidamente etiquetados e levadas para secagem em estufa de circulação forçada a 65°C, até atingir peso constante, obtendo o peso da fitomassa seca da parte área.

4.6.6. Teores de nutrientes nas plantas

Após a coleta dos dados, o material vegetal foi seco triturado e levado para o Laboratório de solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV) para a realização de análises químicas referentes aos teores de nutrientes.

4.6.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos às análises de variância e comparação de médias, sendo realizada por meio do teste Turkey ao nível de 1 (%) de probabilidade, aplicando o programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2010).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Sintomatologia visual das deficiências com macronutrientes

As deficiências minerais provocadas pela omissão dos macronutrientes, ocasionaram aparecimentos de sintomas característicos, em cinco elementos dos seis estudados na pesquisa. O enxofre foi o único elemento que não apresentou sintomas de deficiência ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Segundo Malavolta (1980) as plantas normalmente na falta de um nutriente ou quando esse elemento é oferecido em níveis mais baixos do que o adequado apresentam sintomas característicos que são respostas a omissão deste elemento.

5.1.1. Nitrogênio

A ausência de nitrogênio na solução nutritiva afetou consideravelmente as plantas de algodão, os sintomas visuais surgiram já no início do crescimento das plantas, onde começou a identificar uma mudança de coloração no tom de verde, principalmente nas folhas mais velhas. Como se manteve a carência de nitrogênio por todos os cinquenta dias de experimento notou-se a perda da cor verde clara das folhas mais velhas passando a terem cores amareladas como pode ser visto na figura 3.

3A.



3B.



3C.



3D.



Figura 3. Sintomas visuais de deficiência do nitrogênio em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta, quarenta e cinquenta dias do período experimental.

Malavolta (2006) afirma que a deficiência de nitrogênio causa primeiramente a clorose generalizada das folhas mais velhas devido a proteólise nas mesmas, que resulta no colapso dos cloroplastos e assim ocorre um declínio de teores de clorofila. Esses sintomas ocorrem primeiramente na parte mais velha da planta, pois quando ocorre o processo de proteólise são formados aminoácidos que são mobilizados para as partes mais novas da planta.

Os sintomas foram agravando com o passar do tempo e toda planta se tornou clorótica pela baixa disponibilidade de clorofila para a planta, como pode ser visto na figura 3D.

Sintomas semelhantes foram observado por Cruz *et al.* (1983), em plantas de girassol da linhagem LA 1, em condições de casa de vegetação, porém observados no início de formação do capítulo até o florescimento, Souza *et al.* (2016), trabalhando com a cultura do gergelim de cultivar G3, em casa de vegetação também observou sintomas de clorose no início do desenvolvimento da planta.

Segundo Malavolta *et al.* (1997), o N além de fazer parte da estrutura de aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucléicos, enzimas, coenzimas, vitaminas, pigmentos e produtos secundários, participa de processos como absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular. Por isso a ausência de nitrogênio afetou muito todo o crescimento da plantas de algodão ao longo dos cinquenta dias de experimento

5.1.2. Fósforo

Os sintomas ocasionados pela ausência do nutriente fósforo foram, assim como os do nitrogênio, identificados no início do crescimento das plantas do tratamento três (T3), apresentando clorose verde-bronzeada paralela às nervuras na sua fase inicial e evoluindo para necrose que se estendia das extremidades até o limbo foliar.

As folhas mais velhas apresentaram manchas necrosadas de cor marrom-acinzentada ocasionando a morte delas aos quarenta dias após a semeadura, além disso pode-se observar as folhas murchas e encarquilhadas, como apresentado na figura 4.

4A.



4B.



4C.



4D.



Figura 4. Sintomas visuais de deficiência do fósforo em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental.

O nutriente P assim como o N possui o mecanismo de redistribuição de nutriente, através da sua mobilidade, de um órgão da planta para outro, mecanismo este que acontece especialmente das folhas mais velhas em direção as folhas mais novas. Por isso ocorre uma predominância de sintomas de deficiência em folhas mais velhas em relação as folhas mais nova, fato este que podemos identificar também no nitrogênio. Segundo Bergman (1992), deficiência prolongada de P pode levar ao surgimento de manchas necróticas marrom escuras nas folhas velhas e lesões necróticas nas margens das folhas.

Além desse fato outros autores como Taiz & Zeiger (2004) citam que a deficiência de fósforo podem produzir antocianinas em excesso, conferindo as folhas coloração arroxeadas. Isso ocorre provocado porque a síntese de carboidratos é inibida com a ausência de fósforo, ocasionado um aumento nos açúcares, que por sua vez incita a síntese de antocianinas. Este sintoma não foi identificado no tratamento três (T3) nas plantas de algodão.

Prado & Leal (2006) encontraram resultados semelhantes quando trabalharam com a deficiência dos macronutrientes na cultura do girassol.

5.1.3. Potássio

As características da falta de potássio nas plantas de algodão apareceram após os vinte dias, onde as plantas apresentaram em suas folhas, inicialmente um processo de emborcamento das folhas, com as mesmas virando em direção ao caule, seguido de clorose.

A escassez de potássio na solução nutritiva se manteve o que agravou os sintomas das folhas mais velhas ocorrendo uma necrose que se iniciava nas pontas e margens e evoluía em direção à nervura central. Também foi possível observar as folhas mais velhas murchas e amarelas, como visto na figura 5.

5A.



5B.



5C.



5D.



Figura 5. Sintomas visuais de deficiência do potássio em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental.

Epstein & Bloom (2006), afirmam que em plantas com deficiência de K, os compostos nitrogenados solúveis, inclusive as aminas putrescinas e agmatina, muitas vezes, se acumulam, sendo esta última, provavelmente, responsável pelas manchas necróticas que aparecem nas folhas deficientes nesse nutriente.

Além disso, esses sintomas são observados primeiramente em folhas mais velhas pois esse nutriente é bastante móvel no floema, por isso quando há uma deficiência desse elemento a reserva de potássio que existir é movido para as folhas mais novas por necessitarem de uma maior demanda para se desenvolver. (FERNANDES, 2006; YOST *et al.*, 2011).

Prado & Leal (2006) ao submeter o girassol a deficiência de potássio observou resultados semelhantes, onde a deficiência favoreceu o surgimento de clorose nas folhas baixas, especialmente nas bordas e pontas das folhas. Ferreira *et al.* (2004) descreve os mesmos sintomas quando a planta da mamona foi submetido a deficiência de potássio, em experimento conduzido em casa de vegetação.

5.1.4. Cálcio

No início do tratamento para as plantas de algodão sem o nutriente cálcio foi observado clorose nas folhas mais novas, com suas nervuras esverdeadas e ausência de necrose nas margens das folhas, também apresentaram encarquilhamento no limbo foliar e encurtamento dos internódios, visto na figura 6

Com a continuidade da ausência do nutriente algumas folhas começaram a mostrar sintomas de necrose internerval. Na região abaxial algumas folhas apresentaram coloração avermelhada ou levemente arroxeadada, enquanto isso na parte superior da planta uma clorose e um mosqueado amarelo foi também observado. Outro sintoma muito característico da omissão do Ca, a morte dos ponteiros, foram notados após os quinze dias do experimento, observado na figura 6D.

6A.



6B.



6C.



6D.



Figura 6. Sintomas visuais de deficiência do cálcio em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental.

Os vegetais utilizam o cálcio na síntese da parede celular, em particular na lamela media, que separa as células em divisão, além de requerido para funcionamento normal das membranas vegetais. Por esse fato, os sintomas de deficiência desse elemento ocorrem nas partes mais jovens, tanto na parte aérea como o sistema radicular (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Segundo Malavolta *et al.* (2002) a deficiência de cálcio pode ocasionar um colapso do pecíolo, um amarelecimento de suas margens e murchamento das folhas mais novas, estes sintomas também foram identificados ao longo deste experimento na cultura do algodão.

5.1.5. Magnésio

As plantas com ausência do nutriente magnésio começaram a apresentar sintomas de deficiência aos trinta dias de condução do experimento, observando-se um início de clorose interveinal nas folhas medianas, com o passar do tempo o sintoma foi crescendo e atingindo também as folhas mais novas e mais velhas, isso acontece porque o magnésio tem uma mobilidade alta para as regiões mais novas de crescimento ativo (MARSCHNER, 1995), bem diferente do que vimos em relação ao nutriente cálcio, visto na figura 7.

Com o prosseguimento do experimento os sintomas de deficiência foram aumentando, começou a aparecer manchas brancas, as bordas murcharam, os tecidos interveiais caíram e muitas folhas necrosaram, como pode ser observado na figura 7D.

7A.



7B.



7C.



7D.



Figura 7. Sintomas visuais de deficiência do magnésio em folhas de algodão topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental

O nutriente magnésio tem função de ativador de enzimas que estão diretamente envolvidas com a síntese de DNA e RNA, além de estar envolvida nos processos de respiração e fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2004), no entanto, tem função estrutural como componente da molécula de clorofila, esta sofre redução quando os níveis de magnésio são a baixo do normal ocorrendo a redução do pigmento de clorofila (BOTTRILL *et al.*, 1970) e ocasionando essa clorose observada e descrita nesse experimento com as plantas de algodão.

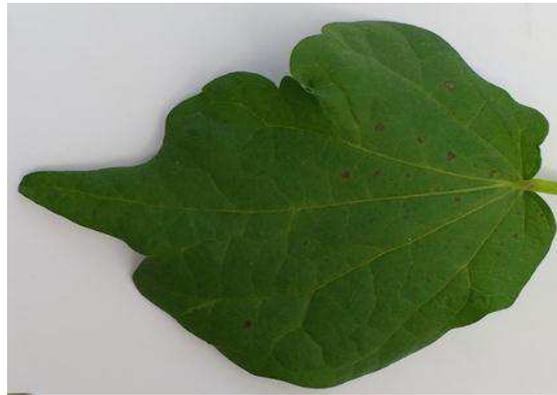
5.1.6. Enxofre

Os sintomas de deficiência de enxofre não se desenvolveram em nenhum estágio ao longo dos 50 dias de experimento, conforme visto na figura 8.

8A.



8B.



8C.



8D.



Figura 8. Sintomas visuais de deficiência do magnésio em folhas de algodão Topázio, aos vinte, trinta quarenta e cinquenta dias do período experimental.

5.2. Avaliações dos parâmetros agrônômicos das plantas de algodão.

A omissão dos macronutrientes na cultura do algodão apresentou diferenças significativas em relação às variáveis de crescimento, altura da planta (cm), diâmetro de caule (mm), número de folhas, área foliar da planta (cm²) e matéria seca (g).

5.2.1. Variáveis de crescimento

5.2.1.1. Altura de planta

As plantas submetidas às omissões dos nutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca), quando comparadas com o tratamento completo (solução com todos os nutrientes), sofreram as maiores reduções em relação à altura das plantas ao longo do período experimental (50 dias após semeadura DAS) (Figura 9).

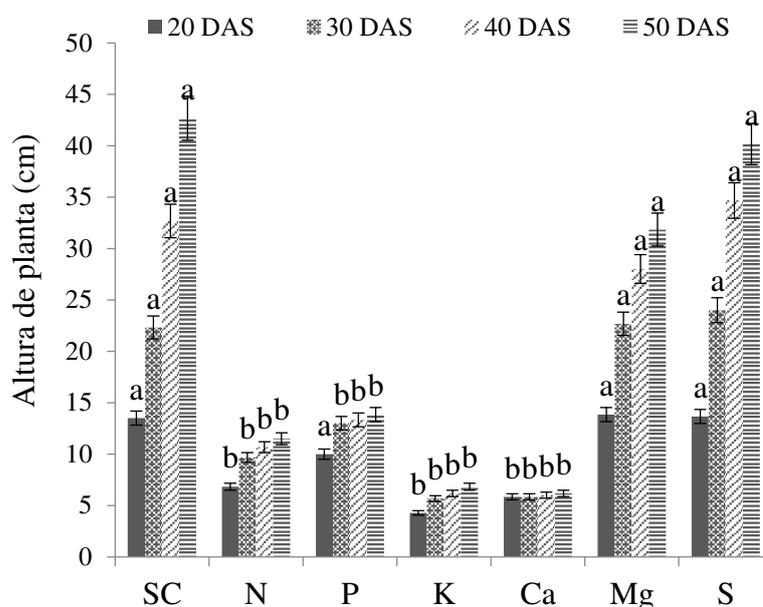


Figura 9. Altura das plantas de algodão, após os 20, 30, 40, e 50 DAS cultivadas com solução completa (SC) e com a omissão dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

Aos 20 DAS, a omissão de potássio e cálcio ocasionou uma redução na altura das plantas de 78% e 64%, respectivamente, quando comparada com as plantas submetidas ao tratamento completo; Na última avaliação (50DAS) a diferença foi ainda maior chegando a seus 86% e 80% para as plantas sob omissão do potássio e do cálcio respectivamente.

As plantas com a omissão de nitrogênio também tiveram o seu crescimento afetado, verificando-se aos 20 DAS redução de altura de planta 57% inferior as plantas sob nutrição com solução completa, no entanto as plantas com omissão de fósforo não foram afetadas significativamente quando comparadas como as plantas da solução completa; aos 50 DAS a redução da altura das plantas com a omissão de nitrogênio e de fósforo correspondeu a 72% e 65%, respectivamente, quando comparada com a altura das plantas cultivadas com solução completa.

Entre os tratamentos após os 20 DAS as plantas com omissão de nitrogênio e fósforo obtiveram um comportamento semelhante em relação à altura da planta, já as plantas com omissão do cálcio não variou sua altura ao longo dos cinquenta dias.

De acordo com Marschner (1995) e Malavolta *et al.* (1997), a omissão de N na nutrição mineral das plantas pode levar a uma redução de crescimento da cultura, pois esse nutriente, além de fazer parte da estrutura de aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas, vitaminas, pigmentos e produtos secundários, participa de processos como absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular, os quais interferem direta ou indiretamente no desenvolvimento da planta

Essa redução na altura das plantas com omissão de fósforo pode ser explicada pela diminuição do fornecimento de energia química produzida no cloroplasto para os processos metabólicos, como por exemplo, síntese de proteínas e de ácidos nucleicos (MENGEL & KIRKBY, 1982).

Os resultados expostos, corroboram com os apresentados por Gondim *et al.* (2016), que em estudo realizado com milho cultivar BRS 1030, observaram resultados semelhantes, em que a altura da planta apresentou deficiência, sendo a omissão de N a que mais reduziu o crescimento das plantas, seguida das omissões de K, Ca, P, S e Mg, quando comparadas com o das plantas sob cultivo com solução completa.

Os dados de crescimento obtidos nessa pesquisa estão de acordo com os encontrados por Prado & Leal (2006) que estudando a cultura do girassol também verificaram um menor crescimento quando submetidos a omissão dos nutrientes cálcio, potássio, nitrogênio e fósforo. Ferreira (2012) estudando a cultura do milho submetidos a omissão dos macronutrientes também verificou uma redução acentuada no porte quando submetidos a omissão dos nutrientes cálcio, potássio, nitrogênio e fósforo. Souza *et al.*

(2016), pesquisando sobre a omissão de nitrogênio e potássio na cultura do gergelim verificou redução significativa da altura da planta.

A omissão dos nutrientes magnésio (Mg) e enxofre (S) não apresentou redução significativa na altura das plantas quando comparadas com as plantas submetidas a solução completa. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Prado & Leal (2006) na cultura do girassol variável CATISSOL – 01, sendo que a omissão do Mg afetou apenas a área foliar e a omissão do S não afetou nenhuma variável de crescimento.

5.2.1.2. Diâmetro do caule

A omissão do N, K, P, Ca afetou significativamente os diâmetros caulinares das plantas, a ausência de N, K e Ca teve seu diâmetros afetado desde dos 20DAS até os quando comparado com a solução completa, essas reduções apresentaram valores de 36%, 33%, 40% respectivamente. Na ausência do P aos 20DAS assim como ocorreu na altura da planta o diâmetro caulinar não foi afetado significativamente.

Aos 50DAS as plantas com omissão de N, P, K, Ca na variável diâmetro caulinar, quando comparadas com a solução completa (Figura 8) reduziram, semelhante aos resultados das alturas das plantas. Essas reduções foram em torno de 85%, 70%, 80% e 82%, respectivamente, conforme a omissão dos elementos.

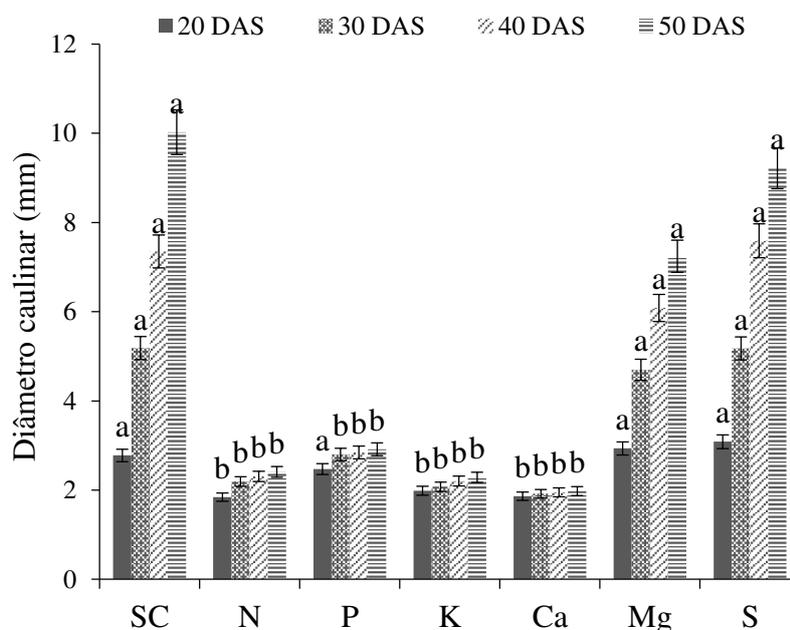


Figura 10. Diâmetro caulinar das plantas de algodão, após os 20, 30, 40, e 50 DAS cultivadas com solução completa (SC) e com a omissão dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

A omissão do Mg e do S na solução nutritiva não afetou estatisticamente os diâmetros caulinares das plantas ao longo do período experimental corroborando Prado & Leal (2006) e Santos *et al.* (2004) que verificaram que na omissão de Mg e S os diâmetros não foram afetados significativamente na cultura do girassol e da mamona, respectivamente.

5.2.1.3. Número de folhas

A quantidade de folhas nas plantas de algodão foram afetadas, assim como a altura de planta e o diâmetro caulinar nos tratamentos onde foram omitidos os elementos nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, sendo que aos 20 DAS não houve redução significativa na quantidade de folhas; essa redução passou a ser significativa a partir da avaliação dos 30 DAS (Figura 11).

As plantas com deficiência de N, P, Ca, com exceção do K que obteve uma redução de 65% aos 50 DAS, foram afetadas significativamente obtendo uma redução acima de 80% aos 50 DAS quando comparados com os resultados encontrados nas plantas com solução completa de nutrientes.

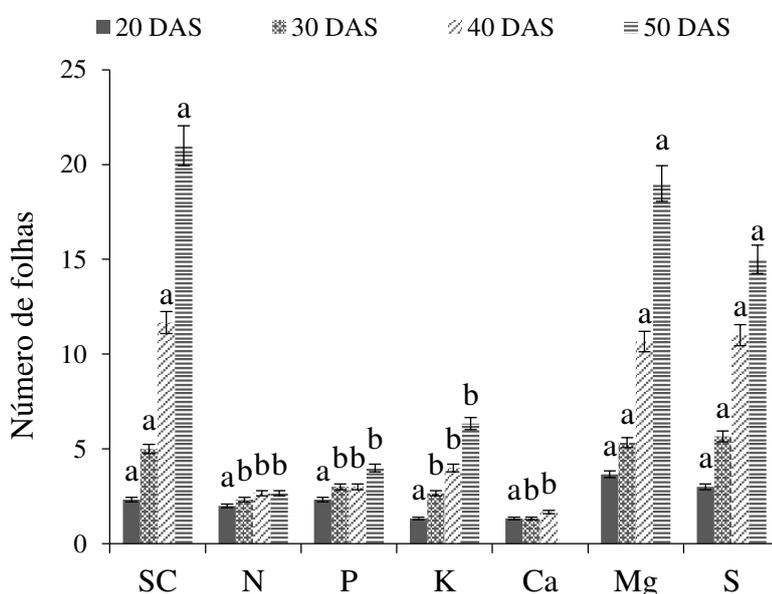


Figura 11. Número de folhas das plantas de algodão, após os 20, 30, 40, e 50 DAS cultivadas com solução completa (SC) e com a omissão dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

A omissão do Ca afetou o número de folhas nas plantas de algodão, provavelmente porque esse elemento regula e age nos fitormônios. De acordo com Bergmam (1992) o alongamento das células e a diferenciação são influenciados pelos íons de Ca e o ácido indolacético. Segundo Marschner (2012), a deficiência de Ca pode retardar o crescimento e causar a morte dos meristemas.

Cálcio é um macronutriente essencial para as plantas (FUNK *et al.*, 2013), desempenhando a importante função de estabilização da parede celular (WHITE & BROADLEY, 2003).

Seguindo o mesmo raciocínio do que aconteceu nas variáveis de altura de planta e diâmetro caulinar as plantas com omissão de Mg e S não foram afetadas significativamente em relação ao número de folhas obtendo números muito parecidos com os encontrados nas plantas tratadas com solução completa.

5.2.1.4. Área foliar

A área foliar afetada pela redução no número de folhas também tiveram redução nos mesmos tratamentos já citados na outras variáveis, quando comparada com os resultados encontrados nas plantas com tratamento completo; as porcentagens de redução ficaram acima de 90% para os tratamentos sem N, sem P, sem K, sem Ca, sendo esta variável a mais afetada pela omissão dos nutrientes na cultura do algodão.

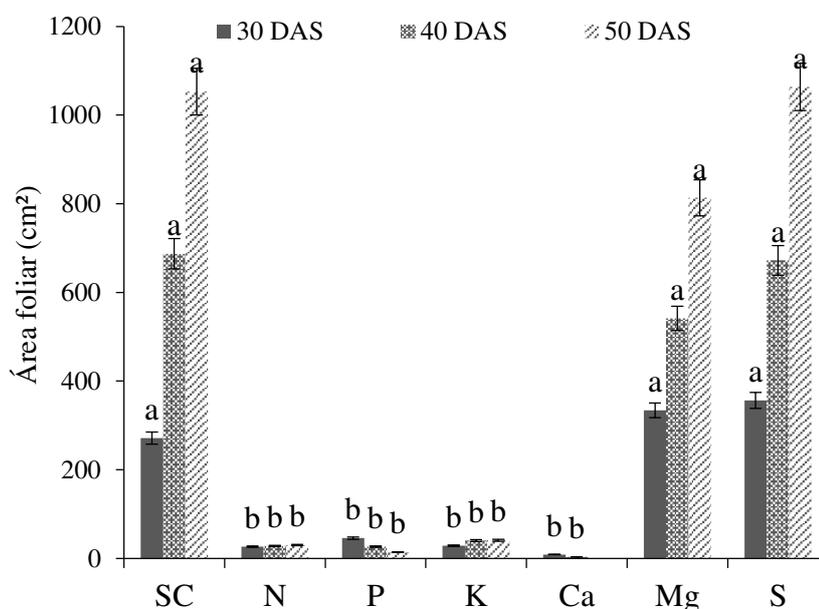


Figura 12. Área foliar das plantas de algodão, após os 20, 30, 40, e 50 DAS cultivadas com solução completa (SC) e com a omissão dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

Resultados semelhantes com os encontrados nessa pesquisa foram observados por Correia *et al.* (2012) quando pesquisavam omissão de nutrientes na cultura do amendoim; estes autores observaram uma redução significativa da área foliar nas plantas de amendoim quando os nutrientes N, P, K e Ca foram omitidos da solução nutritiva.

Embora a omissão dos nutrientes N, P, K e Ca nas plantas de algodão quando comparada com as plantas que receberam a solução nutritiva completa tenham diferenciado significativamente em relação aos parâmetros de crescimento das plantas. Pode-se verificar que os nutrientes Ca e o K foram os que mais afetaram os parâmetros avaliados da cultura do algodão, altura da planta, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar, dando indícios que esses nutrientes são mais importantes no crescimento e desenvolvimento da cultura do algodão. Em virtude de o K ser requerido em grandes quantidades pelas plantas, (NIU *et al.*, 2013), a redução do desenvolvimento da cultura em sua ausência era esperada. O nutriente está envolvido nos processos de osmorregulação, extensão celular, abertura e fechamento de estômatos, ativação de enzimas, sínteses de proteínas (MARSCHNER, 2012), entre outros.

5.2.2. Matéria seca das plantas de algodão

Os nutrientes N, P, K e Ca proporcionaram redução significativa na matéria seca das plantas de algodão quando comparada com a matéria seca encontrada nas plantas submetidas ao tratamento completo. Gondim *et al.* (2016) estudando omissão de nutriente na cultura do milho de cultivar BRS 1030, verificaram que a deficiência de N, P, K, Ca, levaram ao decréscimo de matéria seca da planta inteira.

A omissão dos nutrientes magnésio e enxofre, da solução nutritiva, analisada sob o ponto de vista da produção total de massa seca (MST) das plantas de algodão em comparação ao tratamento com solução nutritiva completa, resultou em diferenças significativas. Nos dois elementos a MST aos cinquenta dias após a semeadura foi de 1,1 e 1,7g por planta, respectivamente. Ao comparar com a solução completa que obteve a MST de 2,8g por planta, verifica-se a redução de 60% para o magnésio e o enxofre de 40%.

Prado & Leal (2006) estudando o comportamento das plantas de girassol em solução nutritiva, contrariando esses resultados, observaram que o enxofre e o magnésio não sofreram reduções significativas quando comparado com a solução completa. Em estudo realizado por Prado *et al.* (2007) com a cultura do sorgo constatou-se que o a

omissão do magnésio nas plantas resultou em redução significativa na produção de matéria seca ao comparar-se com os dados encontrados nas plantas com solução completa, já em relação ao enxofre não houve redução significativa.

Em relação a produção de matéria seca nas raízes e na parte aérea (folha + caule), com a omissão de magnésio e enxofre, houve diferença do tratamento completo corroborando com os resultados encontrados por Prado *et al.* (2007) na cultura do sorgo. Silva *et al.* (2009) estudando a omissão de nutrientes na cultura do pinhão-mansão verificaram também que as plantas na ausência de magnésio e enxofre reduziram significativamente a sua matéria seca da raiz e da parte aérea.

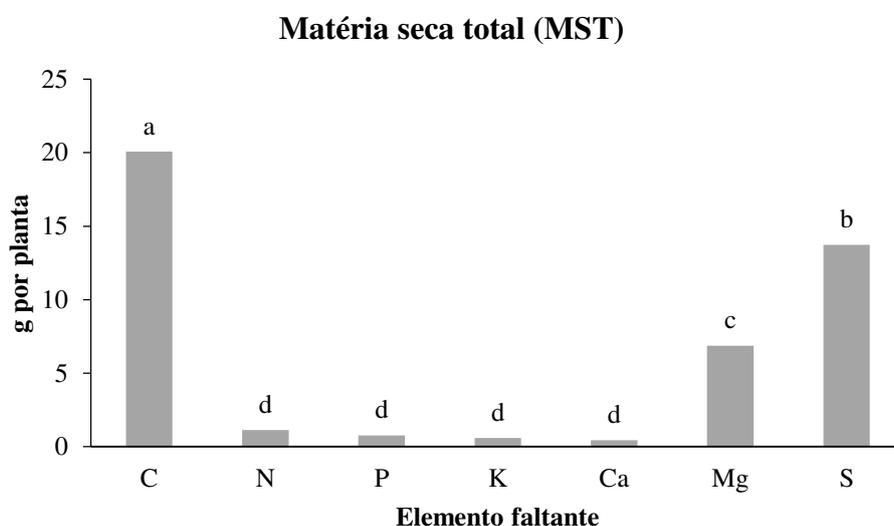


Figura 13. Produção de matéria seca da total da cultura do algodão cultivado com omissão dos macronutrientes. Decorridos 50 dias do início do tratamento.

O elemento cálcio apresenta-se com menores valores de matéria seca, acima de 90%; é preciso dizer que as plantas com omissão de cálcio foram as que menos se desenvolveram, logo apresentando seus ponteiros queimados os quais não foram recuperados durante o experimento, chegando a morte, reduzindo sua matéria seca a valores muito baixos.

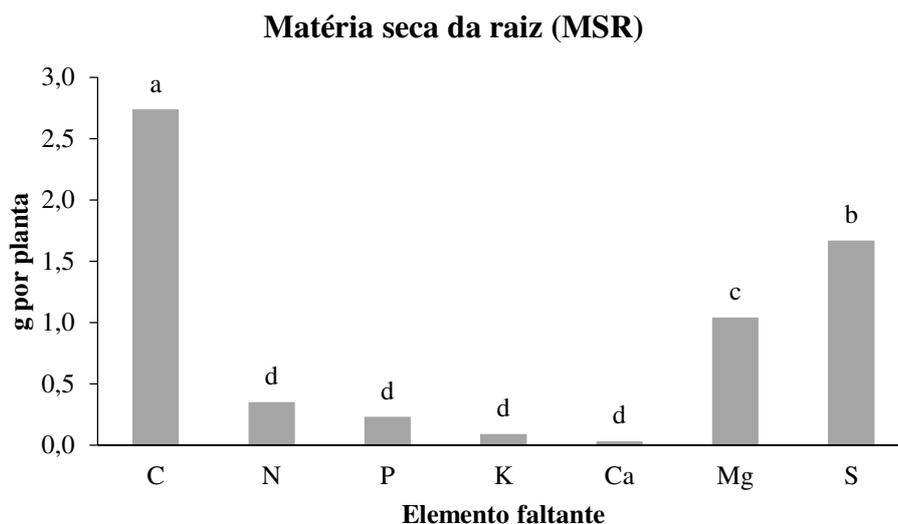


Figura 14. Produção de matéria seca das raízes da cultura do algodão cultivado com omissão dos macronutrientes. Decorridos 50 dias do início do tratamento.

As plantas com omissão N, P, K apresentaram reduções de matéria seca de aproximadamente 90% quando comparado com o tratamento completo. A restrição de N levou a uma redução de matéria seca, pois, conforme Marschner (1995) e Malavolta *et al.* (1997) esse nutriente, além de fazer parte da estrutura de aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas, vitaminas, pigmentos e produtos secundários, participa de processos como absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular, os quais interferem direta ou indiretamente no desenvolvimento da planta.

Na presença de potássio efeitos positivos foram observados em algumas espécies, inclusive no algodão, tanto no crescimento da parte aérea como do sistema radicular, dada a conhecida função deste nutriente no metabolismo das plantas. (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Sendo assim na ausência do elemento potássio, como visto nessa pesquisa, a matéria seca reduziu seus valores de matéria seca quando comparados com os encontrados no tratamento completo.

No caso da omissão de fósforo a redução da matéria seca foi provocado, pois, a deficiência de fósforo reduz a síntese de ácido nucléico e de proteína, induzindo a acumulação de compostos nitrogenados solúveis (N) no tecido. Além disso, há um retardamento no crescimento da célula, resultando na diminuição da altura, atraso na emergência, redução no desenvolvimento das raízes e na própria matéria seca (GRANT *et al.*, 2001).

Resultados semelhantes a essa pesquisa foram encontrados por AVALHAES (2009), cultivando capim elefante com omissão dos nutrientes, MAIA *et al.* (2014) cultivando pinhão manso com ausência de nutrientes em solução nutritiva, e em SANTI *et al.* (2006), deficiência de macronutrientes em sorgo.

A diminuição da matéria seca total, sob omissão de quaisquer macronutrientes, foi reflexo da redução do número de folhas e da matéria seca da raiz, que influenciaram diretamente os processos fotossintéticos e de absorção de nutrientes.

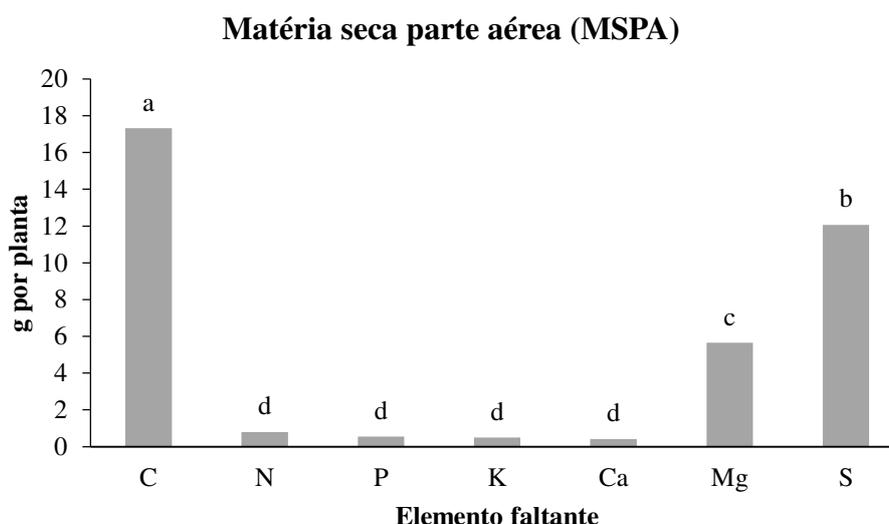


Figura 15. Produção de matéria seca da parte aérea da cultura do algodão cultivado com omissão dos macronutrientes. Decorridos 50 dias do início do tratamento.

5.3. Avaliação dos teores de nutrientes nas plantas submetidas à omissão dos macronutrientes.

Os resultados de teores de nutrientes foram submetidos à análise de variância pelo teste de Turkey 1%. Esses teores de nutrientes nas plantas de algodão, avaliados ao fim do experimento, em função dos tratamentos estudados influenciaram significativamente como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4. Resumo das análises das variâncias para os dados de teores de nutrientes nas plantas de algodão, em função dos tratamentos.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	6	2,62**	0,04**	2,00**	5,99**	0,48**	0,13**
CV, %		9,24	11,01	16,04	6,45	2,49	2,25

5.3.1. Nitrogênio

As médias para a concentração do teor de N diferenciaram entre as plantas submetidas as soluções completa, sem N, K e Ca. Como esperado o tratamento com omissão de N foi a que registrou a menor concentração pelo fato do não fornecimento desse elemento na solução (Figura 16).

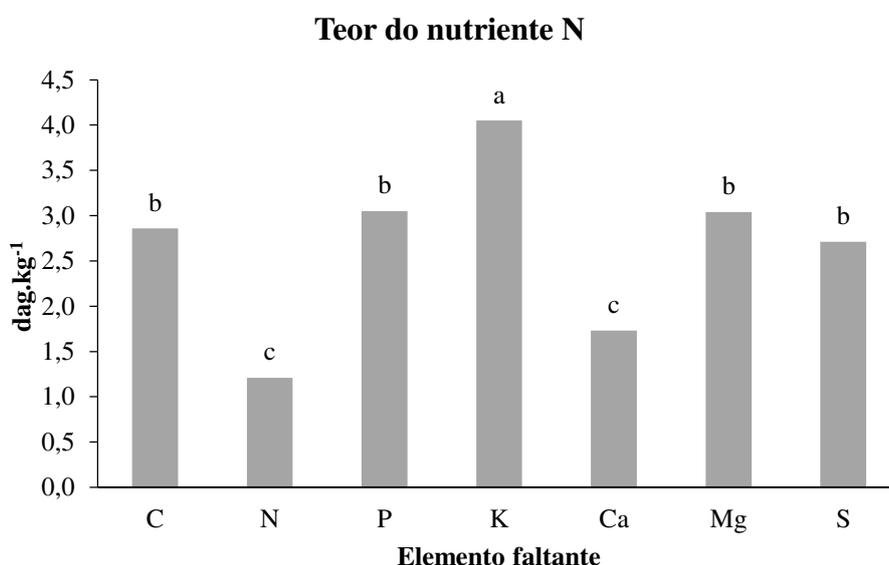


Figura 16. Teor médio do nitrogênio (dag.kg⁻¹) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.

Em relação ao tratamento sem K, onde constatou-se concentração de 0,4 dag.kg⁻¹, valor 40% maior que o verificado para o tratamento completo pode ser justificado pelo fato de que essa interação do nitrogênio com o potássio obedece a lei do mínimo, pois quando o nitrogênio é aplicado em suficiente para haver elevação da produção, essa passa a ser limitada pelos baixos teores potássio aplicado no solo (BULL, 1993). A maior absorção de potássio permite rápida assimilação do NH₄⁺ absorvido mantendo o seu teor baixo nas plantas e evitando toxidez. Em plantas com deficiência de potássio ocorre um acúmulo de NH₄⁺, elevando o teor de nitrogênio como visto nessa pesquisa, podendo ocasionar lesões correspondentes a toxidez desse íon.

Prado & Leal (2006) estudando os teores de nutrientes nas plantas de girassol com omissão do nutrientes verificou que as plantas com ausência de K apresentavam altos teores de nitrogênio, concordando com os dados obtidos nessa pesquisa. Prado & Vidal (2008) também verificou que o teor de nitrogênio se elevou significativamente nas plantas com ausência de potássio.

Já o tratamento sem Ca, onde verificou-se concentração de $0,35 \text{ dag.kg}^{-1}$, valor 60% maior que o encontrado no tratamento completo isso pode ser justificado pelo fato do íon cálcio promover aumento na absorção de N-NO_3^- e, conseqüentemente, pode-se dizer que este elemento está ligado ao metabolismo de N (TISDALE *et al.*, 1993), com isso a omissão de cálcio nas plantas diminuiu a absorção do nitrogênio reduzindo assim o seu teor.

Resultados semelhantes aos da diminuição da absorção nitrogênio na ausência do elemento cálcio foram observados por Santi *et al.* (2006), na cultura do sorgo e por Prado & Vidal (2008), na cultura do milho.

Assim, quando o teor de N na planta apresenta valores baixos, têm-se comprometidos diversos processos fisiológicos que acarretam sintomas visuais de deficiência, conforme descrito anteriormente.

As médias dos demais tratamentos sem fósforo, sem P, sem Mg, sem S não diferenciaram estatisticamente do tratamento controle.

5.3.2. Fósforo

Verificou-se diferença nas médias para a concentração de P entre as plantas submetidas as soluções completa, sem N, sem K, sem Mg e sem S. Como aguardado o tratamento com ausência de P foi o que apresentou a menor concentração pelo fato desse elemento não ter sido ofertada ao tratamento. (Figura 17)

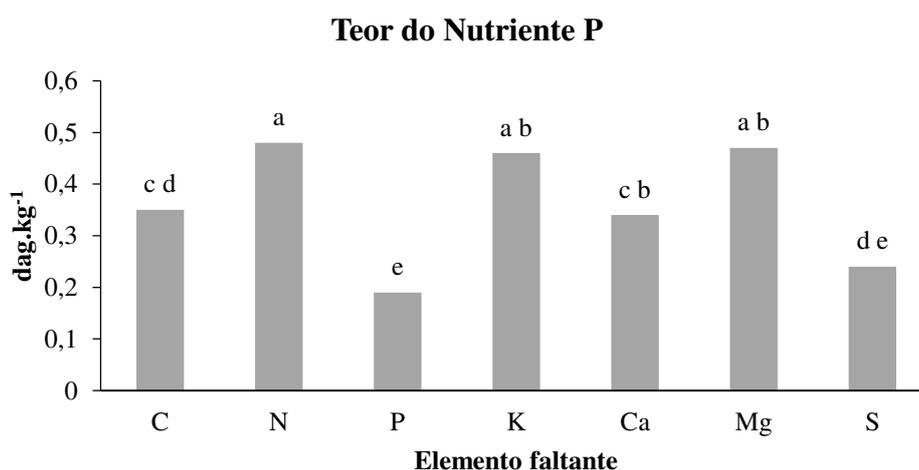


Figura 17. Teor médio do fósforo (dag.kg^{-1}) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.

O tratamento sem N verificou-se concentração de $0,5 \text{ dag.kg}^{-1}$ do teor de P, valor 40% acima do observado nas plantas do tratamento completo, pode-se justificar pela inibição competitiva entre o elemento nitrogênio e o elemento fósforo atestando assim o elevado teor de fósforo nas culturas cultivadas com omissão do nutriente nitrogênio (WILKINSON & GRUNES, 1999).

A carência do elemento potássio nas plantas submetidas a esse tratamento teve, assim como o nitrogênio, o mesmo comportamento de elevação do teor de fósforo, em torno de 40% a mais que o teor encontrado no tratamento completo.

As plantas do tratamento com omissão de Mg constatou-se concentração de $0,47 \text{ dag.kg}^{-1}$ do teor de P, valor 40% maior que o encontrado no tratamento controle. Dentre as principais funções do Mg nas plantas destaca-se a sua participação como ativador enzimático em quase todas as enzimas fosforilativas (MARSCHNER, 2012). Porém o efeito de inibição competitiva assim como ocorre no nitrogênio caracteriza esse aumento de teor de fósforo quando o magnésio estava ausente na solução nutritiva.

O tratamento com omissão do enxofre constatou-se concentração de $0,25 \text{ dag.kg}^{-1}$, valor 40% menor do teor de P encontrado no tratamento completo. Nesse caso, é provável que a ausência de S-SO_4^{-2} tenha desfavorecido a absorção do fósforo, caracterizando a princípio, a ocorrência de um efeito sinérgico, onde a ausência de uma diminui a absorção do outro. O tratamento sem Ca não diferenciou do valor encontrado no tratamento completo.

Resultados semelhantes aos descritos para os valores encontrados do teor de P nessa pesquisa foram visto por Lavres Júnior (2005), estudando a omissão de nutriente em plantas de mamona, por Vieira (2007), estudando as exigências nutricionais da moringa, e por Almeida (2007), estudando plantas de copo-de-leite, ou seja, mesmo não sendo culturas não relacionadas ao algodão.

5.3.3. Potássio

Os valores de médias encontrados para os teores de P nas plantas diferenciaram significativamente para os tratamentos sem N, sem P, sem Ca e sem S. Como previsto o tratamento sem K foi o que apresentou a menor concentração, fato esse justificado pelo não fornecimento desse elemento no tratamento (Figura 18).

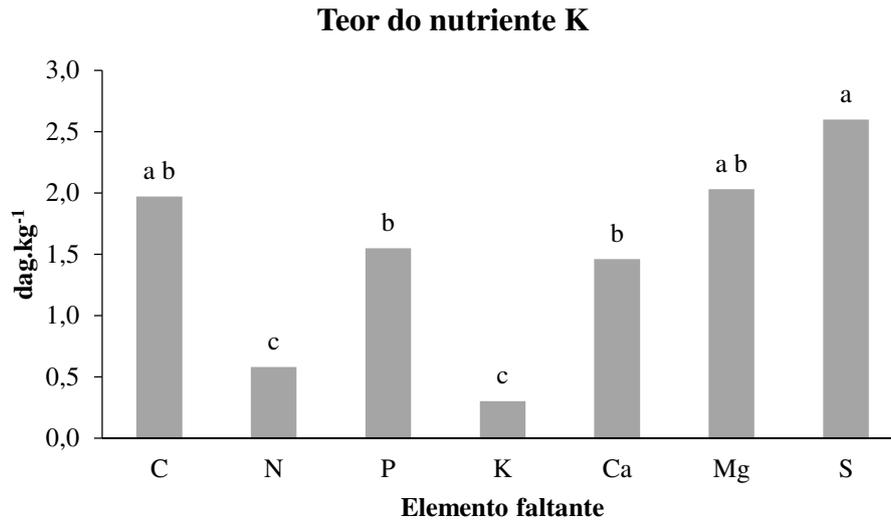


Figura 18. Teor médio do potássio (dag.kg⁻¹) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.

As plantas com omissão de N também tiveram seu teor de potássio reduzido na faixa de 70%. O fornecimento adequado de nitrogênio aumenta a absorção de potássio e também ocorrem aumentos dos teores de proteínas e de aminoácidos solúveis, resultando em aumento de produção (LI *et al.*, 2013), com isso a ausência do nitrogênio reduz a absorção diminuindo assim, o teor de potássio encontrado nas plantas.

Os tratamentos com omissão de P e Ca sofreram redução no teor de potássio, quando comparado com a solução completa, porém uma redução que é significativa, mas apresenta características encontradas no tratamento completo. Rosolem *et al.* (1984) observaram, por meio da omissão de nutrientes que os teores de potássio nas folhas de sorgo sacarino diminuíram na ausência de cálcio.

Em relação ao tratamento com omissão do S constatou-se 2,5 dag.kg⁻¹ do teor de K nas plantas, valor 50% maior que o verificado no tratamento controle, fato que se justifica pela ocorrência de uma maior produção de matéria seca e um alto teor desse nutriente encontrado nessas plantas.

5.3.4. Cálcio

Conforme os resultados apresentados na Figura 19 pode-se observar que os maiores teores de cálcio nas plantas corresponderam à ausência de potássio e magnésio na solução nutritiva. Segundo Malavolta (2007) esse fato é explicado pela ausência do mecanismo de inibição entre cálcio e magnésio e cálcio e potássio. Entre o cálcio e o magnésio o efeito é antagônico, ou seja, o excesso de um prejudica absorção do outro e

ausência de um aumenta a absorção do outro (PRADO, 2008). A elevação dos teores de alguns nutrientes, pela omissão de Ca na solução nutritiva, se deve ao efeito da concentração, sendo que o menor crescimento concentrou os nutrientes disponíveis nos tecidos vegetais das plantas de algodão. Outra hipótese para o aumento do teor e acúmulo de K e Mg se deve à competição entre estes nutrientes com o Ca durante a absorção (REGIS *et al.*, 2000).

Estudos com plantas de milho na omissão de nutrientes, observaram que o teor de cálcio aumentou significativamente o magnésio (PRADO & VIDAL, 2008). Resultados parecidos com os que encontrados nessa pesquisa.

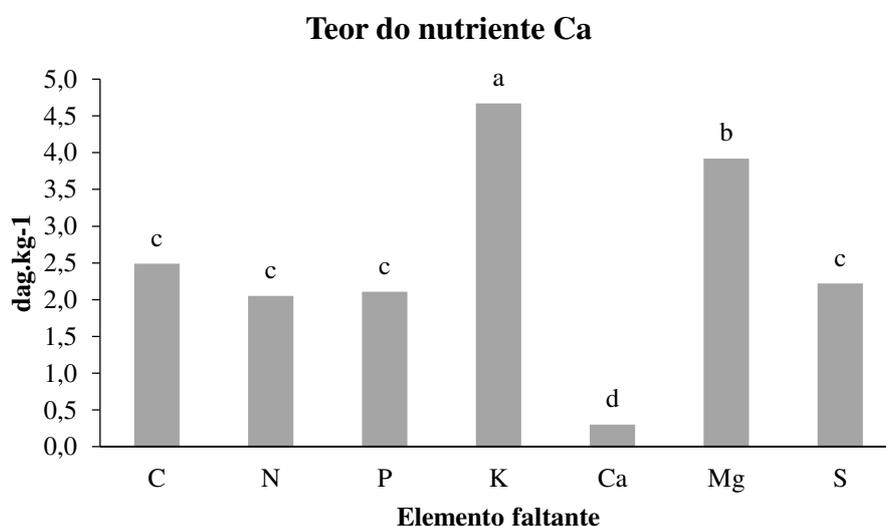


Figura 19. Teor médio do cálcio (dag.kg^{-1}) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.

A redução do teor das plantas cultivadas com a omissão do próprio elemento cálcio chegou a aproximadamente 90% quando comparados com os valores obtidos nas plantas cultivadas com todos os elementos; isso ocorre pelo fato do não fornecimento desse elemento durante toda a condução do experimento.

Nos demais tratamentos, ausência de nitrogênio, fósforo e enxofre, tiveram semelhanças daquele completo, ou seja, não diferenciaram significativamente quando comparado com os resultados de teor de cálcio obtidos nas plantas que foram submetidas a solução completa, dando indícios que o teor de cálcio não sofre alterações na falta deles.

5.3.5. Magnésio

Verificou-se diferença nas médias para concentração de Mg entre as plantas submetidas as soluções completa, sem N, sem P, sem K, sem Ca. Como esperado o tratamento com ausência de Mg foi o que registrou menor concentração. Essa redução na concentração de Mg nesse tratamento ocorreu pelo não fornecimento do elemento durante o tratamento (Figura 20).

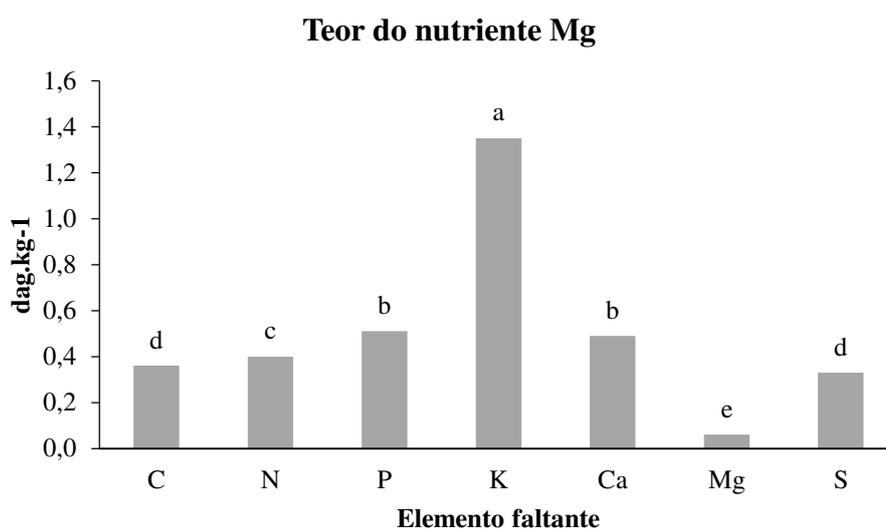


Figura 20. Teor médio do magnésio (dag.kg⁻¹) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.

No entanto as plantas com omissão de N, P, K e Ca elevaram o seu teor de Mg, quando comparados com as plantas que receberam a solução nutritiva completa, tendo como destaque o tratamento sem potássio que foi o tratamento que mais concentrou o teor de magnésio em relação aos demais tratamentos. O aumento nas concentrações de K e Ca frequentemente induzem deficiências de Mg nas plantas (MARSCHNER, 2012). No entanto os teores altos de Mg não causam o mesmo efeito sobre o K (FONSECA & MEURER, 1997). Isso ocorre porque o K pode atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, diminuindo a absorção de cátions mais lentos como Ca e Mg.

Rosolem (2005) afirma que esse acúmulo pode ser explicado pelo efeito de diluição, onde a diminuição do nutriente potássio causa um aumento do teor de magnésio. Além desse efeito da diluição, a falta de competitividade entre os elementos magnésio e o cálcio e potássio também justifica o aumento do teor de magnésio nessas plantas.

Por fim as plantas com omissão do nutriente enxofre não diferiram significativamente em relação ao teor de magnésio, quando comparadas com o teor de magnésio encontrado nas plantas de algodão cultivadas com solução nutritiva completa.

5.3.6. Enxofre

As ausências de fósforo e de potássio na solução nutritiva, aumentaram significativamente o teor de enxofre nas plantas quando comparado com o teor encontrado nas plantas do tratamento completo. Os teores de enxofre nas plantas com omissão de nitrogênio, cálcio, magnésio e o próprio enxofre foram reduzidos em comparação com teores encontrados nas plantas cultivadas com solução completa.

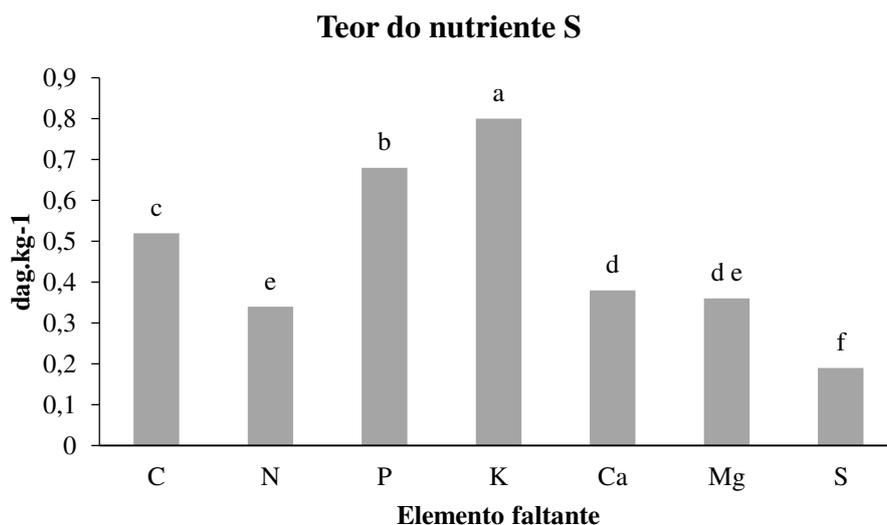


Figura 21. Teor médio do enxofre (dag.kg⁻¹) nas plantas de algodão cultivadas em solução completa e com omissão dos macronutrientes.

A falta dos nutrientes potássio e fósforo nas plantas proporcionou um aumento de aproximadamente 54% e 50%, respectivamente, no teor de enxofre encontrado nas plantas cultivadas com a solução completa. A provável ausência de S-SO₄⁻² tenha favorecido a absorção do primeiro caracterizando, a princípio, a ocorrência de um efeito competitivo.

6. CONCLUSÃO

A altura das plantas, o diâmetro caulinar, a emissão de folhas, a área foliar da planta e a matéria seca do algodão sofreram reduções expressivas nas omissões de N, K, Ca, P. A matéria seca também, sofreram reduções na ausência de Mg e S, no entanto bem menores que os demais.

Com a omissão dos macronutrientes os sintomas visuais das plantas foram vistos com mais severidade na falta dos elementos N, P, K, Ca, Mg, no entanto, as plantas com omissão de S não apresentaram sintomas visuais.

O teor de N nas plantas de algodão aumentou e diminuiu nas ausências de K e de Ca, respectivamente. O teor de P nas mesmas aumentou com a omissão de N, K, Mg e diminuiu com omissão de S. Já em relação ao teor de K, aumentou na ausência de S e diminuiu nas ausências de N, P, K e Ca. Os maiores teores de Ca, Mg e S nas plantas de algodão foram observados com a ausência de K.

O desempenho de crescimento da cultura do algodão foi comprometido quando as plantas foram submetidas à omissão dos macronutrientes, ressaltando a sua importância.

7. REFERÊNCIAS

ADEBITAN, S. A. **Evaluation of potassium fertilizer and tillage depth for the control of web blight of cowpea.** International Journal of Tropical Plant Diseases, p.73, 1998.

AFROUSHEH, M.; ARDALAN, M.; HOKMABADI, H. **Nutrient deficiency disorders in Pistacia vera seedling rootstock in relation to eco-physiological, biochemical characteristics and uptake pattern of nutrients.** Scientia Horticulturae, p. 141, 2010.

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira.** São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, p. 368, 2005.

ALMEIDA, E. F. A. **Nutrição mineral em plantas de copo-de-leite: deficiência de nutrientes e adubação silicatada,** 2007. 109p. Tese (Doutorado) UFLA- Lavras- MG.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. **The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper.** Plant Physiology, p. 375, 1939.

AVALHAES, C. C.; PRADO, R. M.; ROZANE, D.E.; ROMUALDO, L.M. & CORREIA, M.A.R. **Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de capim-elefante (cv. Mott) cultivado em solução nutritiva.** Revista Brasileira. Ciência Agrárias, p, 222, 2009.

BALARDIN, R.S.; DALLAGNOL, L.J.D.H.T.; NAVARINI, L. **Influência do Fósforo e do Potássio na Severidade da Ferrugem da Soja Phakopsora pachyrhizi.** Fitopatologia Brasileira, p. 467, 2006.

BASSETO, M. A., CERESINI, P. C., VALÉRIO FILHO, W. V. **Severidade da mela da soja causada por *Rhizoctonia solani* AG-1 IA em função de doses de potássio.** Summa Phytopathologica, p. 62, 2007.

BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W. C.; SOUTO, J. S. **Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, p. 142, 2008.

BATISTA, R. C. **Avaliação emergética da cultura do algodão colorido irrigado com água residuária em ambiente semiárido,** 2008. p. 187. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. PB.

BELTRÃO, N. E. de M. **Fisiologia do algodoeiro: aspectos fisiológicos na produção e na qualidade da fibra do algodoeiro,** Salvador, BA, 2005, *In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO,* 5, 2005, Campina Grande, PB. Anais Campina Grande: EMBRAPA – CNPA, p. 9. 2005.

BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de; LUCENA, A. M. A. de; SANTOS, J. W.; SOUSA, J. G. de. **Modificações no algodoeiro herbáceo superprecoce sob influência do cloreto de mepiquat.** Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, p. 35, 2010.

BELTRÃO, N.E.M. **Fisiologia da Produção do Algodoeiro.** Circular Técnica p. 94. 2006.

BELTRÃO, N.E.M.; SOUZA, J.G.; PEREIRA, J.R. **Potencialidades de alguns subprodutos do algodoeiro. I. fitomassa e seu subproduto principal, a celulose.** (Comunicado Técnico, 114). Campina Grande, PB. p. 4, 2000.

BERGMAM, W. **Nutritional disorders of plants.** New York: G. Fischer, p. 741, 1992.

BESSEN, G. M. P.; GONÇALVES, J. S.; SOUZA, S. A. M.; URBAN, M. L. P. **Desenvolvimento da Produção de Têxteis de Algodão no Brasil.** 1995. **Net.** Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpica/tec1-1295.pdf> Acesso em: 07 de novembro de 2016.

BEZERRA, J. R. C. DIAS, J. M.; PEREIRA, J. R.; GUEDES, F. X. **Consumo hídrico do algodoeiro BRS 200 Marrom.** Campina Grande: Embrapa Algodão, p. 11, 2009.

BOTTRILL, D. E., POSSINGHAM, J. V., KRIEDEMANN, P. E. **The effect of nutrient deficiencies on photosynthesis and respiration in spinach**. Plant and Soil. p. 424, 1970.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 2009, p. 152, Tese Doutorado. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande.

BULL, L. T. **Nutrição mineral do milho**. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, p. 63- 1993.

CADAHÍA, C. **Fertirrigación: aspectos basicos**. In: Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid: Mundi-Prensa, p. 79, 1998.

CAKMAK I. **Magnesium in crop production, food quality and human health**. Plant and Soil, p. 368, 2013.

CARVALHO, M.C.S; FERREIRA, G.B.; STAUT, L.A. **Nutrição calagem e adubação do algodoeiro**. In: Freire, E.C. Algodão no Cerrado do Brasil. Brasília: ABRAPA, p. 918, 2007.

CARVALHO, P. P. **Manual do algodoeiro**, Lisboa: IITC, p. 282, 1996.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAN, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. **Seja o doutor do seu sorgo**. Piracicaba: POTAFOS, p. 24, 2002.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Prospecção para safra 2012/13: algodão. Brasília, DF. 2015. **Net**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Algodao/27RO/App_Propespec%C3%A7%C3%A3o_safra_Algod%C3%A3o.pdf> Acesso em 09//12/2016.

CORREIA, M. A. R., PRADO, R. M., ALMEIDA, T. B. F., PUGA, A. P., BARBOSA, J. C. **Avaliação da desordem nutricional de plantas de amendoim cultivadas em solução nutritiva suprimidas de macronutrientes**, Scientia Agraria, Curitiba, p.21, 2012.

CRUZ, M. C. P., M. E. FERREIRA & N. G. FERNANDES. **Diagnose por subtração em girassol**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, p. 1315, 1983.

DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R. **Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores**. In: FERNANDES, M.S., Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. Deficiências de macronutrientes em sorgo, Ciênc. agrotec, Lavras, p. 233, 2006.

DEVELASH, R.K.; SUGHA, S. **Factors affecting development of downy mildew (Peronospora destructor) of onion (Allium cepa)**. Indian Journal of Agricultural Sciences, p. 74. 1997.

DUTRA, A. S.; MEDEIROS FILHO, S. **Influência da pré-hidratação das sementes de algodão na resposta do teste de condutividade elétrica**. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, p. 52, 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. Cultivo do algodão irrigado. Sistemas de Produção 3. 2ª edição. Versão Eletrônica. Set/2006. Net Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 05 dez. 2016.

EMBRAPA. **Algodão Colorido, Tecnologia Embrapa para a geração de emprego e renda na agricultura familiar do Brasil**, Campina Grande-PB, 2011.

EPSTEIN, E.; BLOMM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, p. 403, 2006.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – FAEPE. Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras, 2005.

FAQUIN, Valdemar **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, Especialização, p. 77, 2002.

FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 432, 2006.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, p. 1042, 2011.

FERREIRA, G. B., SANTOS, A. C. M., XAVIER, R. M., FERREIRA, M. M. M., SEVERINO, L. S., BELTRÃO, N. E. M. **Deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus communis L.*): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura**. I congresso brasileiro de mamona: energia e sustentabilidade. 2004.

FERREIRA, M. M. M. **Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010**, Revista Agro@mbiente On-line, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR, p. 83, 2012.

FONSECA, J. A.; MEURER, E. J. **Inibição a absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, p. 50, 1997.

FRYXELL, P.A. **Taxonomy and germplasmresources**. In: KOHEL, R.J.; LEWIS, C.F. Cotton. Madison, Wisconsin: American SocietyofAgronomy, p. 57, 1984.

FUNK, J.L., Amatangelo K.L.; **Physiological mechanisms drive differing foliar calcium content in ferns and angiosperms**. Oecologia, p. 32, 2013.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas Parte 1 - Conjunto hidráulico**. 2009.

FURLANI, P.R.; BOLONHEZI, D.; SILVEIRA, L.C.P.; FAQUIN, V. **Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, p. 98, 1999.

GARCIA JUNIOR, D.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; SOUZA, P.E.; CARVALHO, J.G.; BALIEIRO, A.C. **Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva**. Fitopatologia Brasileira, p. 291. 2003.

GONDIM, A.R.O., PRADO, R.M., ALVES, A.U., FONSECA, I.M.; **Crescimento inicial do milho cultivar BRS 1030 sob omissão de nutrientes em solução nutritiva**. Revista Ceres, Viçosa, p. 714, 2016.

GRANT, C.A. et al. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Inf. Agronômicas, POTAFÓS, p. 5, 2001.

GRZEBISZ, W.; GRANSEE, A.; SZCZEPANIAK, W.; DIATTA, J.; **The effects of potassium fertilization on water-use efficiency in crop plants**. J Plant Nutr Soil Sci, p. 374, 2013.

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

HAAG, H.P.; DECHEN, A.R.; CARMELLO, Q.Q.C.; MONTEIRO, F.A. **Princípios de nutrição mineral: aspectos gerais**. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DE HORTALIÇAS. Anais... Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 73, 1993.

HOAGLAND DR; ARNON DI. **The waterculture method for growing plants without soil**. Berkeley, CA: Agric. Exp. Stn., Univ. of California. 1950.

ICAC INTERNATIONAL COTTON ADVISORY COMMITTEE. Cotton this month. Net. Disponível em https://www.icac.org/cotton_info/publications/updates/2015/English/ectm5_15. pdf. 2015.

ITO, M.F.; MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, M.A.S.; DUDIENAS, C.; TANAKA, R.T.; GALLO, P.B.; MIRANDA, M.A.C. **Efeito residual da adubação potássica e da calagem sobre a incidência de *Phomopsis* spp. em sementes de soja.** Fitopatologia Brasileira, p. 49, 1994.

LAVRES JUNIOR, J.; BOARETTO, R.M.; SILVA, M. L.S.; CORREIA, D.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. **Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar IRIS.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, p. 151, 2005.

LIMA, L.H.G.M. **Qualidade fisiológica de sementes de genótipos de algodoeiro sob estresse salino.** 2007, p. 44, Dissertação. UFRN. Natal, RN.

MAIA, L. S.; TATIANE, J.; BONFIM, P. G.; MAIA G.; EUGENIO, R.; TRENTIN, R. **Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-manso cultivadas em solução nutritiva** Revista Ceres, p. 731, 2014.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** Agronômica Ceres, p. 638, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola.** São Paulo: Agronômica Ceres, p. 528, 1976.

MALAVOLTA, E. **O futuro da nutrição de plantas o futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais.** *In.:* Informações agronômicas, p. 10, 2008.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**, p. 319, 1997.

MALAVOLTA, E.; GOMES, P. F.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel. p. 187, 2002.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Algodão. 2015. **Net** Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/algodao>> Acesso em 09/12/2016.

MARSCHNER P. **Mineral nutrition of higher plants**. New York, Academic Press. p. 651, 2012.

MARTINEZ, H.E.P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. Viçosa: UFV, p. 61, 2002.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, p. 655, 1982.

MIN YAN, W. **Study of common symptoms of element deficiency and concentration changes of nutrients in composite plants**. Plant Nutrition and Fertilizer Science, p. 1007, 2008.

NIU J., ZHANG W., RU S., CHEN X., XIAO K., ZHANG X., ASSARAF M., IMAS P., MAGEN H., ZHANG F.; **Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in the North China Plain**. Field Crops Research, p. 76, 2013.

OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. **Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, p. 445, 2004.

PRADO, R. de M.; VIDAL, A. A. **Efeitos da omissão de macronutrientes em solução nutritiva sobre o crescimento e a nutrição do milho.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, p. 214, 2008.

PRADO, R. M., LEAL, R. M. **Desordens nutricionais por deficiência em girassol var. catissol-01.** Pesquisa Agropecuária Tropical, p. 193, 2006,

PRADO, R. M., ROMUALDO, L. M., ROZANE, D. E. **Omissão de macronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de sorgo (cv. BRS 3010) cultivadas em solução nutritiva,** Científica, Jaboticabal, p. 128, 2007.

PRADO, R.M. **Nutrição de Plantas.** São Paulo: Editora da UNESP, p. 407, 2008.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação.** Agronômica. Ceres, São Paulo. p. 343, 1991.

REGIS, P.V.; BASTOS, A.R.R.; MENDONÇA, A.V.R.; CARVALHO, J.G. **Efeito da relação ca:mg do corretivo no desenvolvimento e nutrição mineral de mudas de Aroeira (Myracrodruon urundeuva Fr. All.).** Cerne, p. 39, 2000.

REIS, A.R.; FAVARIN, J.L.; GRATÃO, P.L.; CAPALDI, F.R.; AZEVEDO, R.A. **Antioxidant metabolism in coffee (Coffea arabica L.) plants in response to nitrogen supply.** Theoretical and Experimental Plant Physiology, p. 213, 2015.

REUVENI, M.; NAOR, A.; REUVENI, R.; SHIMONI, M.; BRAVDO, B. **The influence of NPK fertilization rates on susceptibility to powdery mildew of field-grown wine grapes.** Journal of Small Fruit and Viticulture, p. 41, 1993.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; BRINHOLI, O. **Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. p. 1448, 1984.

ROSOLEM, C. A.; OSOLEM, C. A.; **Interação do potássio com outros íons.** *In:* YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Potáfos, p 260, 2005.

ROSOLEM, C. A.; WITACKER, J. P. T.; VANZOLINI, S.; RAMOS, V. J. **The significance of root growth on cotton nutrition in an acid low-P soil.** Plant and Soil, p. 190. 1999.

ROSOLEM, C. A. **Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, p. 392, 2007.

SALEEM, M.F.; BILAL, M.F.; ANJUM, S.A.; RAZA, M.A.S.; MAQBOOL, M.; GHAFFARI, A. **Effect of fruiting branch/square removal on growth and quality of bt cotton under different potassium rates.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, p. 166, 2016.

SANCHES, P.A. **Suelos de los trópicos: características y manejo.** San José: IICA. p. 66, 1981.

SANTI, A., CAMARGOS, S. L., SCARAMUZZA, W. L. M. P., SCARAMUZZA, J. F. **Deficiências de macronutrientes em sorgo,** Ciênc. agrotec. Lavras. 2006

SANTOS, A. R.; MATTOS, W. T.; ALMEIDA, A. A. S.; MONTEIRO, CORRÊA, F. A. B. D. Umesh C. Gupta **Boron nutrition and yield of alfafa cultivar crioula in relation to boron supply.** Scientia Agricola, p. 500, 2004.

SANTOS, R.F.; KOURY, J.; SANTOS, J.W. **O Agronegócio do algodão crise e recuperação no mercado brasileiro da matéria-prima agrícola.** *In:* BELTRÃO, N.E.M.; AZEVEDO, D.M.P. (Org.). O agronegócio do algodão no Brasil. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 60, 2008.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P., **Análises químicas em plantas,** Piracicaba, ESALQ/USP, p. 55, 1974.

SAVASTANO, S. **Caroço de algodão na alimentação de ruminantes**, Campinas: CATI, folder, 1999.

SEAGRI- Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária. Cultura do Algodão. Net. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/Algodao.htm>> acesso em: dezembro de 2016.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. **Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos CHM, CND e DRIS**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, p. 113, 2010.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Embrapa Soja, 2008. - Londrina: Embrapa Soja, p. 148, 2008.

SILVA, E. B., TANURE, L. P. P., SANTOS, S. R., REZENDE JÚNIOR, P. S. **Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, p. 397. 2009.

SILVA, M. A. C. **Métodos de avaliação do estado nutricional para o algodoeiro no Centro-Oeste do Brasil**. Jaboticabal, 2006.

SILVA, M. A. C.; NATALE, W.; MALHEIROS, E. B.; PAVINATO, A. **Estabelecimento e validação de normas DRIS para a cultura do algodão no centro-oeste do Brasil**. Acta Scientiarum Agronomy. p. 99, 2009.

SOUZA, F. G., CHAVES. L.H.G., ALVES, A. N. **Diagnose por subtração para deficiências de nitrogênio e potássio em gergelim cultivado com solução nutritiva**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, p. 176, 2016.

STAMATIADIS, S.; TSADILAS, C.; SAMARAS, V.; SCHEPERS, J.S.; ESKRIDGE, K. **Nitrogen uptake and N use efficiency of Mediterranean cotton under varied deficit irrigation and N fertilization**. European Journal of Agronomy, p. 151, 2016.

STCP ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA. **Caracterização de Diferentes Oleaginosas para a Produção de Biodiesel**, 2006.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, p. 719, 2004.

TEZOTTO, T.; SOUZA, S.A.R.; MIHAIL, J.; FAVARIN, J.L.; MAZZAFERA, P.; BILYEY, K.; POLACCO, J.C. **Deletion of the single UreG urease activation gene in soybean NIL lines: characterization and pleiotropic effects**. Theoretical and Experimental Plant Physiology, p. 16, 2015.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan, p. 634, 1993.

VIEIRA, Hugo. **Exigências nutricionais e sintomas de deficiência de macronutrientes em plantas jovens de (*Moringa Oleifera* Lam)**. 2007, p.79. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - UFCG). Campina Grande, PB.

WHITE, P.J., BROADLEY, M.R.; **Calcium in plants**. *Annals of Botany*, p. 511, 2003.

WILKINSON, S.R.; GRUNES, D.L.; Sumner, M.E. 1999. **Nutrient Interactions in Soil and Plant Nutrition**. In *Handbook of Soil Science*; Sumner, M.E.; CRC Press: Boca Raton, FL, p. 112. 1999;

YOST, M. A.; RUSSELLEC M P.; COULTERA J. A.; SHEAFFERA C. C.; KAISERB D. E. **Potassium management during the rotation from alfafa to corn**. *Agronomy Journal*, p. 1793, 2011,