

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 17 (2)

March/April 2024

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/17220241873>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1873>



A importância do cálcio para nutrição de plantas

The importance of calcium for plant nutrition

Amanda Aciely Serafim de Sá

Universidade Estadual de Goiás

Gustavo Henrique de Oliveira

Universidade Estadual de Goiás

Ramon Pereira da Silva

Universidade Estadual de Goiás

Corresponding author

Valeska Cristina Souza Silva de Assis

Universidade Estadual de Goiás

valeskacristinalab@gmail.com

Cintia da Silva de Oliveira

Universidade Estadual de Goiás

Jaiara Almeida de Oliveira

Universidade Estadual de Goiás

Maurício Tayar Casamassa

Universidade Estadual de Goiás

Mariana Pina da Silva Berti

Universidade Estadual de Goiás

Resumo: O íon cálcio (Ca^{2+}) é de fundamental importância para a nutrição da planta. O presente trabalho científico possui como objetivo abordar a dinâmica do elemento no sistema solo-planta, mecanismo de absorção, transporte e redistribuição, marcha de absorção, a exigência do cálcio nas principais culturas agrícolas, além da participação no metabolismo vegetal e os sintomas de deficiências e excessos nutricionais. O cálcio quando adsorvido a solução do solo é um elemento móvel, no entanto ao adentrar a planta, através do sistema radicular, esse elemento torna-se imóvel. Assim, o sintoma típico surge como clorose interveinal nas folhas mais novas e queda das flores. Esses sintomas também revelam a baixa mobilidade do cálcio na planta.

Palavras-chave: sistema solo-planta, absorção, transporte, metabolismo vegetal.

Abstract: The calcium ion (Ca^{2+}) is of fundamental importance for plant nutrition. The present scientific work aims to address the dynamics of the element in the soil-plant system, mechanism of absorption, transport and redistribution, absorption rate, calcium requirement in the main agricultural crops, in addition to participation in plant metabolism and symptoms nutritional deficiencies and excesses. When calcium is adsorbed to the soil solution, it is a mobile element; however, when it enters the plant, through the root system, this element becomes immobile. Thus, the typical symptom appears as interveinal chlorosis on younger leaves and flower drop. These symptoms also reveal the low mobility of calcium in the plant.

Keywords: soil-plant system, absorption, transport, plant metabolism

Introdução e contextualização

O íon cálcio (Ca^{2+}) é de fundamental importância para a nutrição da planta. Esse elemento é encontrado nos tecidos vegetais em concentração que pode variar entre 0,5 a 3 dag/kg da matéria seca (REITZ et al., 2021). Na planta, o cálcio irá preservar a integridade estrutural e funcional das membranas celulares vegetais, atuando como agente cimentante na forma de pectatos de cálcio na lamela média, contribuindo para regular o transporte e a troca iônica (HADI e KARIMI, 2012). O íon cálcio é um mensageiro secundário essencial em eventos de sinalização celular (PAIVA, 2019).

Dentro da planta o cálcio (Ca^{2+}) não pode ser mobilizado dos tecidos mais velhos e redistribuídos via floema. O Ca^{2+} é então depositado em vacúolos, sendo raramente redistribuído, o que impossibilita, direcionar o cálcio armazenado em uma folha basal para uma folha superior (WANG et al., 2020).

A deficiência de Ca^{2+} , embora rara, é muito prejudicial quando aparece e pode ser confundida facilmente com sintomas de pragas e doenças, como por exemplo o que ocorre na cultura do tomate, em que os frutos com deficiência de cálcio apresentam o sintoma de podridão mole, que se inicia normalmente na região peduncular, e que pode ser confundida com a provocada por *Erwinia spp* (HAHN et al., 2017). Os sintomas nutricionais incluem crescimento atrofiado e manchas pretas. Além disso, o excesso de fertilização também pode causar deficiência de Ca^{2+} , sendo geralmente identificado em pontas de folhas jovens, caracterizadas pelo fenótipo “chicoteamento” ou “*chicoteamento de buggy*” no milho (BHAR et al., 2023).

Esta revisão tem como objetivo abordar a dinâmica do elemento no sistema solo-planta, mecanismo de absorção, transporte e redistribuição, marcha de absorção, a exigência do cálcio nas principais culturas agrícolas, além da participação no metabolismo vegetal e os sintomas de deficiências e excessos nutricionais.

Dinâmica do cálcio no sistema solo-planta

O cálcio (Ca^{2+}) é essencial para todos os sistemas agrícolas e florestais, pois sua presença nos solos possui grande interferência na manutenção da vida de todo ecossistema (LUO et al., 2023). A presença do Ca-trocável é o indicador da disponibilidade de cálcio nos solos. Apesar de solos ácidos serem considerados pobres em Ca^{2+} , a calagem tem atuado como suporte aos produtores para a correção da deficiência do nutriente e correção do pH dos solos brasileiros, caracterizados majoritariamente por um alto grau de intemperização (MALAVOLTA, 2006).

O macroelemento cálcio é importante para a estabilização da matéria orgânica do solo e dos agregados, através de seu papel na formação de complexos com a argila e a matéria orgânica pela ponte catiônica (NEUVILLE, 2004). No solo, esse macroelemento promove o crescimento das raízes,

aumento da atividade microbiana e da disponibilidade de molibdênio (Mo). Além disso, o cálcio reduz a acidez do solo, diminui a toxidez do alumínio (Al), cobre (Cu) e manganês (Mn) (PRIETZEL et al., 2021).

O cálcio pode disponibilizado para solução do solo por três fontes distintas que são: minerais que contêm cálcio e o liberam quando intemperizados, como é o caso da calcita, do plagioclásio e da colemanita, por exemplo; cálcio presente complexado na matéria orgânica do solo e por fim, retido nos coloides de argilas e do húmus do solo na forma de cátion trocável (SARTO et al., 2019).

A carência de cálcio no solo, é suprida pela adição de carbonato de cálcio (CaCO_3) que é geralmente a forma em que o cálcio é utilizado na calagem e encontrado na natureza (MALAVOLTA, 2006). Em condições de acidez, a calagem promove a neutralização do Al^{3+} (Óxido de Alumínio), a elevação do pH e o fornecimento de Ca e Mg, possibilitando a proliferação de raízes, com reflexos positivos no crescimento da parte aérea das plantas, melhorando a eficiência de uso dos nutrientes e da água que estão no solo (NATALE, 2012).

Depois de ter entrado nas camadas do solo por intemperismo de minerais como carbonatos, muitos silicatos, o cálcio é ciclado intensivamente através do sistema solo-planta-microorganismo. Assim, esse elemento pode ser absorvido pelas plantas através das raízes não apenas ativamente para atender sua demanda fisiológica, mas também passivamente como parte do fluxo de transpiração (PAIVA, 2019).

O processo de contato íon-raiz do cálcio é majoritariamente por fluxo de massa, ou seja, o elemento se transloca de uma região de maior umidade para uma com menor umidade que é geralmente a superfície do sistema radicular. De acordo com a movimentação da água, o elemento se desloca em direção às raízes e pelos absorventes (TAIZ et al., 2017). A Figura 1 apresenta a dinâmica do macroelemento cálcio no sistema solo-planta. O cálcio é absorvido pelas raízes na forma de cátion bivalente (Ca^{2+}) após o contato íon raiz, majoritariamente por fluxo de massa. Nos tecidos vegetais, grande parte do Cálcio está concentrado nos vacúolos e nas mitocôndrias (QUIAN e XIANG, 2019).

Dentro da planta o íon cálcio vai ser transportado via xilema e irá participar de importantes vias metabólicas, como um componente importante da parede celular, principalmente na formação da lamela média. Além disso, desempenha funções de ativação enzimática e atuar na divisão celular, melhorar a nodulação na fixação biológica de nitrogênio, pois está ligado ao encurvamento do pelo radicular, por meio da divisão celular juntamente com o ácido indolético (AIA) na parte superior do pelo, o que faz com que este se curve e facilite a infecção pelas bactérias fixadoras (REITZ et al., 2021).

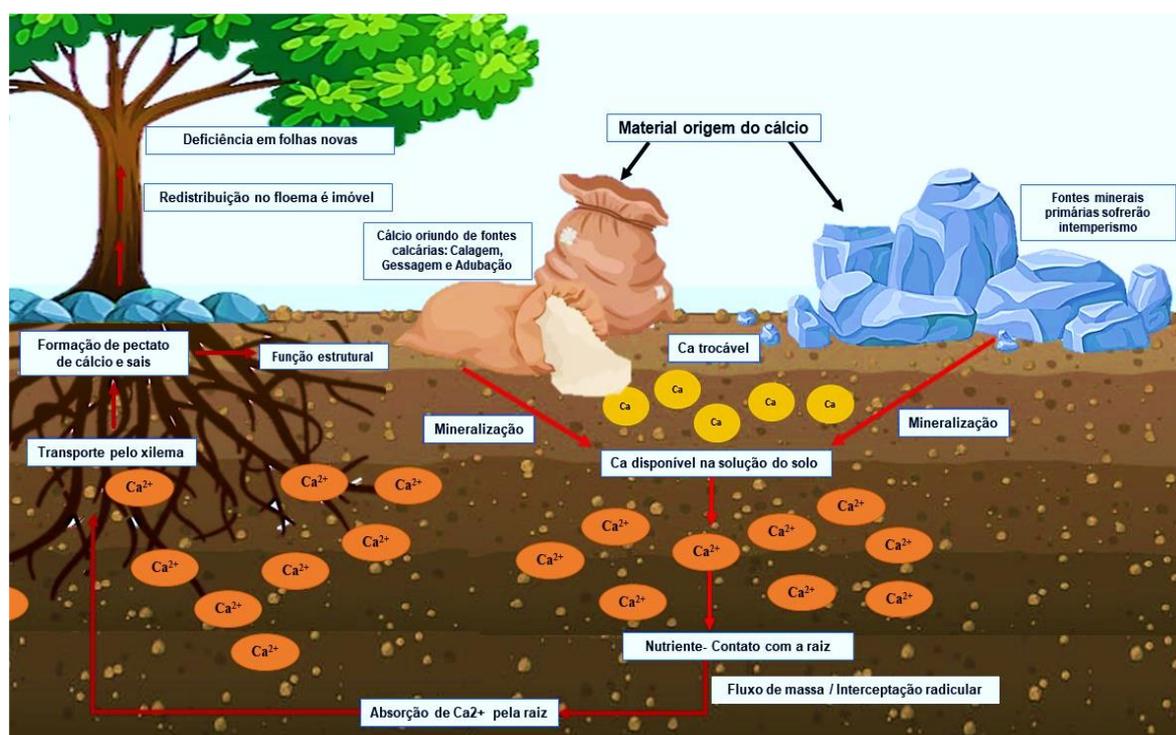


Figura 1. Ciclo do Cálcio no sistema solo-planta
Fonte. Próprios autores (2023)

Ademais, o cálcio é responsável pela produção e qualidade de culturas importantes como tomate, soja, milho, algodão dentre outras. Assim, a disponibilidade desse macroelemento no solo e sua absorção pela planta favorecem um equilíbrio dinâmico essencial para vida vegetal (BORIN et al., 2014).

Absorção, transporte e redistribuição

A absorção de cálcio pelas plantas ocorre principalmente por meio do xilema e do apoplasto, destacando-se a importância da transpiração e do fluxo de água para essa absorção (GILLIHAM et al., 2011). O cálcio não pode ser transportado dos tecidos mais velhos para os mais jovens através do floema, o que torna os tecidos em desenvolvimento dependentes do movimento de água pelo xilema para receber cálcio (WHITE e BROADLEY, 2003).

A captação de cálcio pelas plantas acontece principalmente através do apoplasto na ponta da raiz, onde não há células endodérmicas suberizadas, e também através do simplasto nas células endodérmicas suberizadas, onde a estria de caspari está presente (KARLEY et al., 2009). A captação apoplástica de cálcio na ponta da raiz é considerada a mais importante para a nutrição das plantas, pois não requer a movimentação através do simplasto para chegar aos vasos do xilema (WHITE et al., 2001), onde pode ser distribuído pelo fluxo transpiratório. A deficiência de cálcio nas plantas geralmente ocorre devido à baixa absorção de cálcio, distribuição ineficiente em relação à demanda e interações adversas com outros nutrientes.

A absorção e o acúmulo de cálcio nas plantas estão relacionados à taxa de transpiração, sendo as folhas desempenhando um papel importante na direção do fluxo e acúmulo de cálcio nos frutos, competindo por esse nutriente (TAYLOR et al., 2004). A absorção de cálcio pela planta é um processo fisiológico e bioquímico complexo, e os efeitos da aplicação foliar de fertilizantes cálcio exógenos na absorção de nutrientes pelas plantas ainda requerem mais pesquisas (LI et al., 2021).

Estudos têm investigado o transporte de cálcio nas

plantas, incluindo canais permeáveis, Ca^{2+} -ATPases e trocadores $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^{+}$. Esses mecanismos de transporte são complexos e altamente redundantes, diferindo em alguns aspectos dos sistemas homólogos presentes em animais e fungos (DEMIDCHICK, 2018).

O cálcio também desempenha um papel importante na absorção de outros elementos pelas plantas, influenciando seus efeitos sinérgicos e antagônicos (ARIF et al., 2016). Quando aplicado por meio da adubação foliar, os nutrientes pulverizados na superfície das folhas são absorvidos principalmente pelas cutículas foliares e estômatos (NIU et al., 2021), mas a redistribuição do cálcio pelo floema nas plantas é limitada.

Em situações de estresse hídrico ou deficiência de cálcio no solo, podem ocorrer manifestações de sintomas como a queima dos bordos das folhas em crescimento, conhecida como tipburn (CARASSAY et al., 2012). Nesses casos, pode ser necessário aumentar a irrigação ou aplicar cálcio por meio da pulverização foliar, como sugerido por Chang et al. (2004).

Porém, um adequado teor de cálcio pode promover a absorção e acúmulo de nutrientes sob condições de estresse, melhorando a distribuição de nitrogênio, fósforo e potássio (SHI et al., 2018). No entanto, a deficiência ou o excesso de cálcio podem afetar negativamente as características fotossintéticas das plantas e a absorção de outros elementos, inibindo seu crescimento (WENG et al., 2022).

Participação do cálcio no metabolismo vegetal

O cálcio (Ca^{2+}) desempenha um papel importante no fortalecimento da parede celular das plantas possuindo função estrutural compondo as paredes celulares (apoplasto) e a lamela média, ligando-se a fosfolipídios e sulfolipídeos além de atuar como neutralizador de ácidos orgânicos no citosol. A medida que as células crescem, a superfície de contato entre elas aumenta, o que também aumenta a necessidade de fornecimento de cálcio na forma de pectato de cálcio para formar a pectina, permitindo o alongamento das paredes celulares, e

contribuindo também para a alongação e divisão mitótica celular, refletindo diretamente no crescimento radicular (MALAVOLTA, 2006).

Além disso, o pectato de cálcio também faz parte da lamela média camada intermediária celular, que permite que as células se conectem umas às outras. Como mecanismo de fortalecimento da parede celular, o Ca^{2+} liga-se à Calmodulina, e ajuda a formar pontes cruzadas entre as cadeias de polissacarídeos na parede celular. Essas pontes cruzadas aumentam a rigidez e a resistência da parede celular, tornando a célula mais resistente ao estresse osmótico e mecânico, além de regular a deposição de compostos da parede celular, como lignina e suberina, proporcionando assim melhor resistência à água na parede celular (CAMPOS, 2019).

A Calmodulina, uma proteína que desempenha importante papel como ativador enzimático e função estrutural é encontrada na forma ativa e possui uma alta afinidade pelo Ca^{2+} , que sendo ativada pela ligação do íon faz com que ela possa atuar como um sensor intracelular de cálcio, atuando diretamente como regulador de íons, de metabolismo e resposta a estresses bióticos e abióticos (TAIZ et al, 2017).

O cálcio atua como um segundo mensageiro em diversas vias de sinalização em resposta a estímulos estressantes, ora ativando enzimas conhecidas como quinases responsáveis por ativar canais iônicos na membrana celular permitindo que íons ou moléculas específicas entrem ou saiam da célula, ora sinalizando as plantas para responderem a estresses bióticos e abióticos (CAMPOS, 2019). Estímulos externos e internos atuam no mecanismo de transporte do Ca^{2+} , alterando seus níveis no citoplasma: quando a célula percebe essa mudança no nível citoplasmático, o Ca^{2+} disponível no apoplasto, mitocôndrias e retículo endoplasmático é liberado no citosol ativando enzimas como a Calmodulina e induzindo a resistência das plantas a esses estímulos aos quais são expostas (ROCHA et al, 2019).

Na membrana celular, o Cálcio desempenha um papel importante na regulação da permeabilidade das membranas celulares das plantas. Este nutriente ajuda a regular a permeabilidade celular ativando transportadores de íons, como a ATPase de cálcio, que ajudam a bombear o cálcio para dentro e para fora das células (SARTO et al, 2019).

A permeabilidade da membrana a compostos hidrofílicos depende em grande parte das concentrações de Ca^{2+} e H^+ no meio. Estudos demonstraram que em pH abaixo de 4,5, a membrana torna-se mais permeável, favorecendo o efluxo de cátions como o K^+ (infiltração) (TAIZ et al, 2017). Este efeito adverso da acidez na absorção de íons é contrabalançado pela presença de concentrações de Ca^{2+} , que foram consideradas suficientes para manter a permeabilidade normal da membrana. Isso ajuda a manter níveis adequados de cálcio nas células e regula a concentração de outros íons, como sódio e potássio (PEREIRA et al, 2020).

O aumento na concentração de cálcio também pode desencadear respostas fisiológicas, como a abertura de estômatos, a indução de resistência sistêmica adquirida e a produção de metabólitos secundários, ajudando as plantas a sobreviver a condições estressantes. Além disso, o cálcio pode modular o metabolismo de outras moléculas importantes para a resposta ao estresse, como hormônios vegetais e compostos de sinalização, como o ácido abscísico e o etileno (PRADO, 2008).

Exigências do cálcio nas principais culturas

A exigência nutricional está relacionada às quantidades de macro e micronutrientes em que a cultura retira do solo, do adubo e do ar, para conseguir realizar seu ciclo e atender suas demandas fisiológicas. Desse modo, a quantidade de nutrientes exigida é referida de acordo com a função dos seus teores no material vegetal e no total de matéria seca. Essa variação e concentração muda de acordo com as espécies e a relação de nutrientes absorvidos variam entre as culturas (FAQUIN, 2005).

Na cultura da soja, por exemplo, o cálcio é o 4º maior nutriente extraído pela cultura (12,2 kg de cálcio para 1000 kg de grãos), seguindo a ordem: $\text{N} > \text{K} > \text{S} > \text{Ca} > \text{Mg} = \text{P}$. Porém, com relação ao cálcio, somente 22% da extração é exportada para os grãos, seguindo a ordem de exportação: $\text{N} > \text{K} > \text{S} > \text{P} > \text{Ca} > \text{Mg}$ (KURIHARA, et al., 2014).

Na cultura do milho, de maneira geral as extrações dos macronutrientes aumentam com o acréscimo da produtividade. O nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade, e o cálcio é o 3º nutriente absorvido nessa relação, em que a maior exigência da cultura refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo (SÁ, et., al, 2011). De acordo com Coelho & França (1995) para a produção de 7,87 toneladas de grãos de milho/ha, é necessário 27 kg de cálcio para ser extraídos pelas plantas. Já para silagem, para produção de 15,31 toneladas/ha de matéria seca são necessários 41 kg/ha de cálcio, ficando atrás no N, e K em termos de absorção.

Na cultura do feijão, o cálcio também é o 3º nutrientes a ser absorvido em maior quantidade, ficando atrás do N e K. Já na exportação de nutrientes da planta para os grãos, o cálcio é o penúltimo entre os macronutrientes a ser exportado em maior quantidade, correspondendo a 3,1 kg/ha de cálcio exportado pelas plantas de feijão (NASCIMENTO et al., 2012).

O requerimento nutricional para cultura do sorgo varia diretamente com o potencial de produção. Segundo Coelho (2017) a extração de nutrientes pelo sorgo grânifero possui maior exigência pelo nitrogênio e potássio, seguindo-se o cálcio, o magnésio e o fósforo. No entanto, no que se refere exportação dos nutrientes, o fósforo e o nitrogênio é quase todo translocado para os grãos, seguindo-se o potássio o magnésio e o cálcio. Isso implica que a incorporação dos restos culturais do sorgo devolve ao solo parte dos nutrientes, principalmente potássio, cálcio e magnésio, contidos na palhada (COELHO, 2017).

As altas quantidades de cálcio encontradas nos frutos de tomate são essenciais para a produção de boa qualidade, pois esse macroelemento contribui na manutenção da boa estrutura e qualidade do fruto, além de reduzir os riscos de doenças como a podridão apical. Para a cultura do tomateiro, apresenta o nitrogênio como o macroelemento mais absorvido, seguido do potássio, cálcio, enxofre, magnésio e fósforo (SILVA, 2009).

Em culturas como o arroz, algodão e girassol o requerimento nutricional de cálcio é baixo, quando comparada à de N, P e K, sendo a correção de Ca realizada pela calagem. Dessa forma, para correção da deficiência de Ca, recomenda-se a calagem, cuja necessidade é determinada com base nos resultados da análise do solo (MALAVOLTA, 2006).

Tabela 1. Exigências de cálcio (Kg/ha) de algumas culturas brasileiras.

Cultura	Colheita - t/ha	Exigência de cálcio - kg/ha
Milho	6,4	36
Arroz	3,2	20
Trigo	3	16
Soja	3	70
Feijão	3	54
Algodão	1,3	61
Café	2	142
Tomate	41	31
Laranja	6 caixas/pé	25
Cana-de-açúcar	100	30
Sorgo	7,8	22

Fonte. Malavolta 1980/Adaptada pelos autores (2023)

Marcha de absorção do cálcio na planta

A racionalização dos programas de adubação requer a definição das fases de desenvolvimento em que a cultura apresenta maiores exigências nutricionais (NASCIMENTO et al., 2012). Estudos denominados "marcha de absorção" estão sendo conduzidos para estabelecer as quantidades absorvidas de nutrientes de acordo com a idade e/ou estágio fisiológico de uma planta (ECHER; DOMINADO; CREST, 2009).

É crucial determinar a absorção e o

acúmulo de nutrientes durante as diversas fases de desenvolvimento das plantas para um manejo adequado da fertilização, resultando em um manejo mais econômico e ambientalmente correto (SILVA et al. 2017). Silva et al. (2017) estudou a absorção de cálcio na cultura do amendoim (Figura 3) e observou que a absorção do Ca^{2+} aumentou do 30º ao 100º dia após a emergência (DAE). O pico de absorção foi no 110º DAE, seguido por uma queda brusca até os 120º DAE, e manteve-se abaixo de 0,20 g dia⁻¹ até a última avaliação.

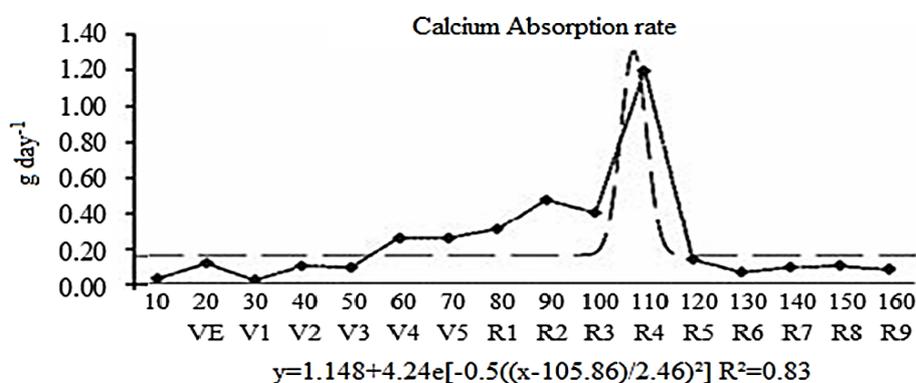


Figura 2. Absorção de cálcio em plantas de amendoim em diferentes épocas de avaliação.

Fonte. SILVA et al., 2017.

No caso do algodoeiro, Sarruge et al. (1963) identificaram que a absorção de cálcio é baixa até o estágio de desenvolvimento das "orelhas". A partir desse estágio, a taxa de absorção aumenta até a floração e se mantém estável até a formação das "maçãs". Após a formação das "maçãs", a taxa de absorção se torna crescente e linear até a maturação dos capulhos.

A correção da deficiência de Ca no solo é feita geralmente por meio da calagem meses antes do plantio. No entanto, o excesso de cálcio pode reduzir os teores de P e K no solo. A aplicação foliar de cálcio é recomendada durante a floração e pós-

floração na cultura da soja. A calagem não resultará em maior produtividade se a deficiência de Ca^{2+} já estiver corrigida ou se o solo já apresentar níveis adequados de cálcio (PREZOTTI e GUARÇONI, 2013).

Na cultura do sorgo (Figura 4), o cálcio se acumula lentamente até cerca de 32 DAE, próximo ao estágio V9, e as maiores taxas de acúmulo ocorrem entre 32 e 55 DAE, período que coincide com o maior acúmulo de matéria seca. A absorção de cálcio pelo sorgo é influenciada pela absorção de potássio e pelo fluxo respiratório (BEVILAQUA, et al., 2002).

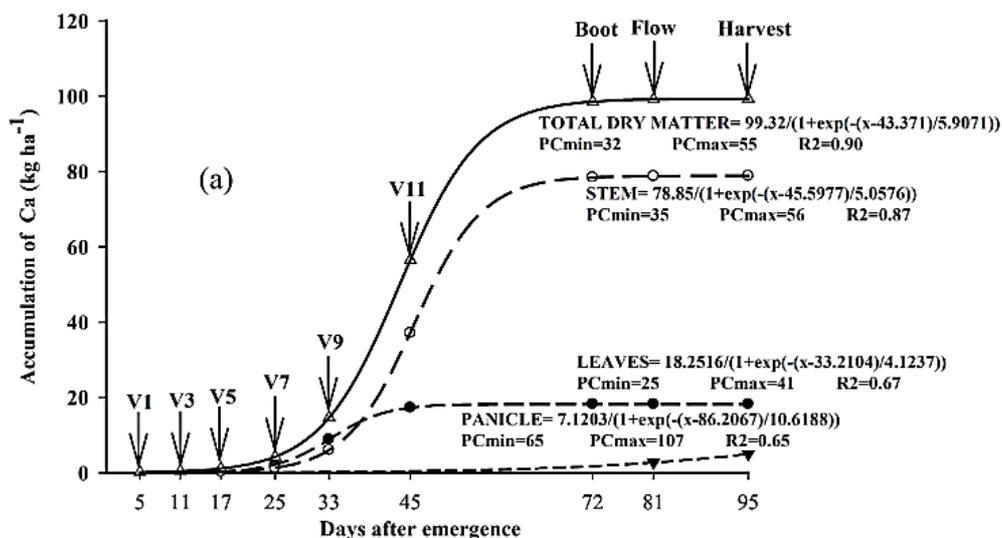


Figura 4. Acúmulo de cálcio (a), magnésio (b) e enxofre (c) na parte aérea do sorgo biomassa, em função dos dias após a emergência.

Fonte: CAVALCANTE et al., (2018).

Os modelos apresentados pela Figura 4 foram ajustados de acordo com os dias após a emergência, em relação à matéria seca total, caule, folha e panícula. O ponto mínimo de curvatura (PCmin) indica o início de ganhos significativos no acúmulo de Ca. O ponto máximo de curvatura (PCmax) indica o momento em que o acúmulo dos elementos começa a se estabilizar (CAVALCANTE et al., 2018).

Sintomas de deficiências e excesso nutricional

O Cálcio (Ca^{2+}) exerce funções bioquímicas fundamentais para o desenvolvimento da planta de modo que sua deficiência pode causar sérios danos a planta (MALAVOLTA, 2006). Uma das funções mais importantes do cálcio é a sua participação na formação e estabilização da parede celular das células vegetais, fornecendo rigidez e suporte a planta.

Quando as plantas estão com deficiência de cálcio, a parede celular pode se tornar mais fina e mais fraca, levando a menor rigidez e suporte da planta, resultando em crescimento mais lento e afetando diretamente a absorção de outros nutrientes, como o Magnésio e o Nitrogênio, necessário para a produção de clorofila, resultando assim em folhas mais pálidas (PRADO, 2008).

A nível celular, a deficiência de cálcio causa um enfraquecimento das células e até morte celular, obrigando a planta a mobilizar cálcio dos tecidos mais antigos para os tecidos novos, a fim de atender às suas necessidades metabólicas causando a morte das células nas margens das folhas levando a necrose marginal. Os sintomas da deficiência aparecem primeiro nas folhas novas e nos pontos de crescimento (meristema apical), provavelmente como consequência da imobilidade do cálcio na planta (TAIZ et al, 2017).

Dentre as principais consequências da deficiência de cálcio, pode-se destacar a clorose

internerval. Em uma planta saudável, os íons são transportados através das células das folhas por meio de plasmodesmos, no entanto, em uma planta com deficiência de cálcio, a mobilidade dos íons é afetada causando uma acumulação de íons nas áreas mais próximas as nervuras das folhas e clorose nas áreas internervalis (PEREIRA, 2020).

O cálcio está envolvido na sinalização de hormônios vegetais, como etileno e ácido abscísico, que controlam a senescência e a desfolha e sua carência danifica as membranas celulares e acelera a morte celular acarretando menor resistência ao estresse oxidativo e consequente envelhecimento da planta (TAIZ et al, 2017).

A deficiência de Cálcio também afeta diretamente a produção do Ácido Indolacético (AIA), levando a um acúmulo de AIA nos ápices dos brotos, inibindo o crescimento e expansão dos brotos e estimulando o perfilhamento (desenvolvimento de brotos laterais) (PRADO, 2008).

Outro sintoma característico da deficiência deste macroelemento inicia-se com a flacidez dos tecidos da extremidade dos frutos, que evolui para uma necrose negra. O sintoma é conhecido como podridão estilar ou "fundo-preto". Em condições em que ocorrem períodos curtos de deficiência – principalmente quando ocorrem mudanças bruscas de condições climáticas – observam-se tecidos necrosados no interior dos frutos, cujo sintoma é conhecido como coração preto (CAMPOS, 2019).

O excesso de cálcio nas plantas pode levar a distúrbios nutricionais, desequilíbrios iônicos, toxicidades e outras anomalias fisiológicas, podendo interferir diretamente no balanço iônico de nutrientes, aumentando a concentração de cálcio no citoplasma e diminuindo a concentração de outros íons, como potássio, magnésio, manganês e ferro afetando assim a absorção de nutrientes tão essenciais quanto o cálcio (SARTO et al., 2019).

Cálcio em quantidades demasiadas pode ser prejudicial as plantas, visto que seu excesso gera acúmulo em tecidos vegetais causando internódios e diminuição do tamanho das folhas, causa toxidez nas membranas células afetando o metabolismo das plantas (ROCHA et al, 2019)

Conclusões

O macroelemento cálcio é de fundamental importância para todas as funções metabólicas da planta, incluindo a função protetora contra pragas e patógenos. Além disso, esse nutriente por se encontrar localizado na parede celular (lamela média), exerce a função estabilizante, agindo diretamente na textura, na firmeza e na maturação dos frutos.

É certo que sérias perdas econômicas ocorrem anualmente em órgãos como frutos e folhas, devido a desordens fisiológicas e podridões causadas pelo teor inadequado de cálcio em seus tecidos.

Dessa forma, a revisão empreendida nos possibilita identificar respostas relacionadas ao reconhecimento dos sintomas manifestados na planta em virtude da deficiência ou do excesso de Cálcio.

Referências

Arif, N., Yadav, V., Singh, S., Singh, S., Ahmad, P., Mishra, R. K., Chauhan, D. K. Influence of high and low levels of plant-beneficial heavy metal ions on plant growth and development. *Frontiers in environmental science*, v. 4, p. 69, 2016.

Bevilaqua, G. A. P.; Silva Filho, P. M.; Possenti, J. C.. Aplicação Foliar de Cálcio e Boro e Componentes de Rendimento e Qualidade de Sementes de Soja. *Ciência Rural*, v. 32, n. 1, p. 31–34, fev. 2002.

Bhar, A.; Chakraborty, A.; Roy, A. The captivating role of calcium in plant-microbe interaction. *Frontiers in Plant Science*, vol. 14, 2023.

Borin, A.L.D.C.; Ferreira, G.B.; Carvalho, M.C.S. Adubação do algodoeiro no ambiente de cerrado. Campina Grande, PB: Comunicado Técnico 375, 2014.

Campos, F.G.. Cálcio e sinalização do restabelecimento vegetal após estresse mecânico. 2019.90 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas - Instituto de Biociências, UNESP.2019

Carassay, L. R., Bustos, D. A., Golberg, A. D., & Taleisnik, E. Tipburn in salt-affected lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants results from local oxidative stress. *Journal of plant physiology*, v. 169, n. 3, p. 285-293, 2012.

Cavalcante, T. J., Castoldi, G., Rodrigues, C. R., Nogueira, M. M., & Albert, A. M. Macro and micronutrients uptake in biomass sorghum. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 48, n. 4, p. 364–373, out.

2018.

Chang, Y.; Grace-martin, K.; Miller, W. B. Efficacy of Exogenous Calcium Applications for Reducing Upper Leaf Necrosis in *Lilium Star Gazer*. *HortScience*, v. 39, n. 2, p. 272-275, 2004.

Coelho, A. M.; França, G. D. Seja o Doutor do seu Milho. Arquivo do agrônomo n°2 Potafos, 1995.

Coelho, D. S., Simões, W. L., Salviano, A. M., Souza, M. A., & Santos, J. E. (2017). Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 16(2), 178-192.

Echer, F. R.; Dominato, J. C.; Creste, J. E. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. *Horticultura Brasileira*, Vitória da Conquista, v. 27, n. 2, p.176-182, 2009.

Faquin, V. Nutrição Mineral de Plantas. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005.

Ferreira, A.O.; Sá, J.C.M.; Amado, T.J.C.; Brieds, C. Schossler, D.S. Relação do conteúdo de carbono com a porcentagem de cálcio na CTC pH 7,0 sob sistema plantio direto de longa duração. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, n.13; 2011.

Gilliam, M., Dayod, M., Hocking, B. J., XU, B., CONN, S. J., Kaiser, B. N., & Tyerman, S. D. Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow. *Journal of experimental botany*, v. 62, n. 7, p. 2233-2250, 2011.

Hadi, M. R.; Karimi, N. The role of calcium in plants' salt tolerance. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 35, p. 2037–2054, 2012.

Karley, Alison J.; White, Philip J. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. *Current opinion in plant biology*, v. 12, n. 3, p. 291-298, 2009.

Kurihara, C.H.; Staut, L.A.; Maeda, S.; Santos, F.C. Diagnóstico do Estado Nutricional de Soja e Algodoeiro, pelos Métodos das Faixas de Suficiência e DRIS, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Circular Técnica 29 da Embrapa. 2014.

Li, L., Zhang, H., Tang, M., & Chen, H. Nutrient uptake and distribution in mycorrhizal cuttings of *Populus canadensis* 'Neva' under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 21, n. 3, p. 2310-2324, 2021.

Li, T., Wei, Q., Sun, W., Tan, H., Cui, Y., Han, C., & Yan. Spraying sorbitol-chelated calcium affected foliar calcium absorption and promoted the yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Frontiers in Plant*

- Science, v. 13, 2022.
- Li, T., Wei, Q., Sun, W., Tan, H., Cui, Y., Han, C., Yan, D. Spraying sorbitol-chelated calcium affected foliar calcium absorption and promoted the yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 2022.
- Li, Y.; Zhang, T.; Zhou, Y.; Zou, X.; Yin, Y.; Li, H.; & Zhang, S. Ectomycorrhizal symbioses increase soil calcium availability and water use efficiency of *Quercus acutissima* seedlings under drought stress. *European Journal of Forest Research*, v. 140, n. 5, p. 1039-1048, 2021.
- Lihavainen, J., Keinänen, M., Keski-saari, S., Kontunen-soppela, S., Söber, A., & Oksanen, E. Artificially decreased vapour pressure deficit in field conditions modifies foliar metabolite profiles in birch and aspen. *Journal of Experimental Botany*, v. 67, n. 14, p. 4367-4378, 2016.
- Luo, Y.; Chunmao S. Shengtian Y. Yang L. Shuang Z. Chunchang Z. Characteristics of Soil Calcium Content Distribution in Karst Dry-Hot Valley and Its Influencing Factors. *Water*, vol. 15, 1119, 2023.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. *Agronômica Ceres*, 2006.
- Nascimento, M. S. D., Crusciol, C. A. C., Fernandes, A. M., & Zanotto, M. D. Nutrient extraction and exportation by castor bean hybrid Iyra. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 1, p.113-124, 2012.
- Natale, W.; Rozane, D. E. Parent, L.E.; Parent, S.E. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP*, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, 2012.
- Neuville DR, Cormier L, Flank AM, Briois V, Massiot D. Al speciation and Ca environment in calcium aluminosilicate glasses and crystals by Al and Ca K-edge X-ray absorption spectroscopy. *Chem Geol* 213:153–163, 2004.
- Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 21, p. 104-118, 2021. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 21, p. 104-118, 2021.
- Paiva, E.A.S. Are calcium oxalate crystals a dynamic calcium store in plants? *New Phytologist*, vol. 223, p. 1707–1711, 2019.
- Pereira, E. G., Saraiva, A. G., Dias, A. C., Ferreira, N. D. S., De Lima, B. R., 2020. O metabolismo de nitrogênio em plantas de arroz é severamente afetado pela deficiência de cálcio e magnésio. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 15351–15362.
- Prado, R. de M. Cálcio. *Nutrição de plantas*. São Paulo: UNESP, 2008. p.181-2008.
- Prezotti, L.C.; Guarçoni, A.M. Guia de interpretação de análise de solo e foliar. Vitória, ES: Incaper, 2013.
- Prietzl, J.; Klysubun, W.; Hurtarte, L. C. C. The fate of calcium in temperate forest soils: a Ca K-edge XANES study. *Biogeochemistry*, vol. 152, p. 195–222, 2021.
- Quian, D.; Xiang, Yun. Actin Cytoskeleton as Actor in Upstream and Downstream of Calcium Signaling in Plant Cells. *Int. J. Mol. Sci.* 2019.
- Reitz, N.F., Shackel, K.A. Mitcham, E.J. Differential effects of excess calcium applied to whole plants vs. excised fruit tissue on blossom-end rot in tomato. *Scientia Horticulturae*, vol. 290, 110514, 2021.
- Rocha, J.H.T e Du Toit, B. e Gonçalves, J.L.M. Ca and Mg nutrition and its application in Eucalyptus and Pinus plantations. *Forest Ecology and Management*, v. 442, p. 63-78, 2019.
- Sá, J. C. M.; Ferreira, A. O.; Briedis, C.; Vieira, A. M.; Figueiredo, A. G. Extração de nutrientes e produtividade de genótipos de milho afetados por níveis de palha. *Acta Scientiarum. Agronomy*. v. 33, n. 4, p. 715-722, 2011.
- Sarruge, J. R., Gomes, L., Haag, H. P., & Malavolta, E. Estudo sobre a Alimentação Mineral do algodoeiro I: marcha da absorção do macronutrientes. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, v. 20, p. 13–23, 1963.
- Sarto, M.V.M.; Lana, M.C.; Rampim, L. Rosset, J.S; Sarto, J.R.W.; Bassegio, d. Effects of calcium and magnesium silicate on the absorption of silicone and nutrients in wheat. *Semana de Ciências Agrárias, Londrina*, v.40, n.1, p.67-801, 2019.
- Silva, C. J. A.; V. da C., J. P.; S. R., L.; L. B., A.; F. de L., D. Nutrição do tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) em função de doses de fertilizantes orgânicos. *Revista Caatinga*, vol. 22, núm. 3, julho-septiembre, 2009, pp. 242-253. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil.
- Silva, E. D. B., Ferreira, E. A., Pereira, G. A. M., Silva, D. V., & Oliveira, A. J. M. Peanut plant nutrient absorption and growth. *Revista caatinga*, v. 30, p. 653-661, 2017.
- Taiz, L. et al. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2017.

Taylor, M. D.; Locascio, S. J. Blossom-end rot: a calcium deficiency. *Journal of Plant nutrition*, v. 27, n. 1, p. 123-139, 2004.

Taylor, M. D.; Locascio, S. J.; Alligood, M. R. Blossom-end rot incidence of tomato as affected by irrigation quantity, calcium source, and reduced potassium. *HortScience*, v. 39, n. 5, p. 1110-1115, 2004.

Wang, L. J., Huang, W. D., Li, J. Y., Liu, Y. F., & Shi, Y. L. Peroxidation of membrane lipid and Ca²⁺ homeostasis in grape mesophyll cells during the process of cross-adaptation to temperature stresses. *Plant Science*, v. 167, n. 1, p. 71-77, 2004.

Wang, Y., Martins, L. B., Sermons, S., balint-kurti, P. Genetic and physiological characterization of a calcium deficiency phenotype in maize. *G3: Genes Genomes Genet.* 10 (6),1963–1970, 2020.

Weng, X., LI, H., Ren, C., Zhou, Y., Zhu, W., Zhang, S., & Liu, L. Calcium regulates growth and nutrient absorption in poplar seedlings. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 2022.

White, P. J. The pathways of calcium movement to the xylem. *Journal of Experimental Botany*, v. 52, n. 358, p. 891-899, 2001.

White, P. J.; Broadley, M. R. Calcium in plants. *Annals of botany*, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003.