

HERÓI OU VILÃO? COBALTO E SEU PAPEL COMO MITIGADOR DE ESTRESSES ABIOTICOS EM PLANTAS

Data de aceite: 27/10/2023

Edson Dias de Oliveira Neto

Hosana Aguiar Freitas de Andrade
<https://orcid.org/0000-0001-9332-9689>

Ana Raquel Pereira de Melo
<https://orcid.org/0000-0002-7510-1186>

Paula Muniz Costa
<https://orcid.org/0000-0003-1117-5175>

Daiane Conceição de Sousa
<https://orcid.org/0000-0002-2342-8734>

Carlos Pedro de Menezes Costa
<https://lattes.cnpq.br/3454050244012343>

Fernando Freitas Pinto Júnior
<https://orcid.org/0000-0002-1465-7412>

Vicente Paulo da Costa Neto
<https://orcid.org/0000-0002-7251-9229>

Victor Breno Campelo Lima
<https://orcid.org/0000-0003-4553-6573>

Rhaiana Oliveira de Aviz
<http://lattes.cnpq.br/2715037307668915>

Ingrid Silva Setúbal
<http://lattes.cnpq.br/1794740526865620>

Maria Eduarda Cabral da Silva
<http://lattes.cnpq.br/9355115936223376>

RESUMO – Os elementos benéficos são importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, mas não são considerados um fator limitante para a sua produção. Dentre os elementos benéficos, destaca-se o Cobalto (Co), um componente essencial de várias enzimas, incluindo a nitrogenase envolvida na fixação biológica de nitrogênio. Os recentes esforços de pesquisa demonstram a importância do Co no metabolismo vegetal. No entanto, devido seu efeito ainda pouco compreendido, o objetivo deste artigo foi revisar a importância do Co como um potencial micronutriente para as espécies fixadoras de nitrogênio e o desempenho como atenuante de estresse vegetais, assim como evidenciar os possíveis efeitos tóxicos para as plantas, quando em níveis elevados no solo. Estudos detalham que sob estresse hídrico, o Co favorece o crescimento vegetativo e rendimento por aumentar o teor e a eficiência de auxinas e citocininas na planta. Em condição de estresse salino, por sua vez, a resposta da planta mediante a suplementação de Co não é diferente. O uso desse elemento, atua ainda, inibindo a produção do etileno ao regular a expressão da enzima ACC oxidase, uma das enzimas associada a via da síntese do etileno.

Portanto, o Co exerce variados efeitos benéficos para as plantas, porém tudo isto, depende da dose fornecida, ao considerar que o limite entre os benefícios e a toxicidade é muito estreito. Desta forma, estudos científicos são necessários para indicar a concentração adequada de Co, respeitando a singularidade de cada espécie, como forma de maximizar o potencial de uso desse elemento.

PALAVRAS-CHAVE: elemento benéfico, leguminosas, toxicidade, estresse hídrico.

HERO OR VILLAIN? COBALT AND ITS ROLE AS ABIOTIC STRESS MITIGATOR IN PLANTS

ABSTRACT – The beneficial elements are not considered a limiting factor for the production of plants, but they are important for their growth and development. Among the beneficial elements, Cobalt (Co) stands out, an essential component of several enzymes, including enzymes involved in legume nodulation and biological nitrogen fixation. Recent research efforts demonstrate the importance of Co in plant metabolism. However, due to its still poorly understood effect, the objective was to review the importance of Co as a potential micronutrient in mitigating abiotic stress. Studies detail that under water stress, Co seems to favor vegetative growth and yield by increasing the content and efficiency of auxins and cytokinins in the plant. Under salt stress, in turn, the plant response to Co supplementation is no different. The use of this element also acts by inhibiting the production of ethylene by regulating the expression of the enzyme aminocyclopropanecarboxylate oxidase (ACC oxidase), one of the enzymes associated with the ethylene synthesis pathway. Therefore, Co exerts several beneficial effects for plants, but all this depends on the amount supplied, considering that the limit between benefits and toxicity is very narrow. In this way, scientific studies are necessary to indicate the adequate concentration of Co, respecting the uniqueness of each species, as a way of maximizing the potential of this element.

KEYWORDS: beneficial element, legumes, toxicity, water stress.

1 | INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos no mundo vem crescendo a cada ano e conseqüentemente para atende-la se faz necessário o cultivo em áreas que anteriormente eram consideradas inaptas, por vários motivos, como por exemplo estar contaminado por metais pesados, ter excesso de sais, estar em regiões de temperaturas extremas ou até mesmo pela escassez d'água (REBOREDO et al., 2021; GAD et al., 2018; PRAMANIK et al., 2018). Plantas cultivadas nessas condições podem ser submetidas a condições de estresses abióticos, ou seja, onde o ambiente dificulta o desenvolvimento com seu potencial máximo. Uma das estratégias para obter uma boa produção mesmo em condições estressantes é a utilização de elementos químicos que possam atenuar ou mitigar esses estresses.

A classificação de elementos químicos quando se trata de plantas é dividido em essenciais, benéficos e tóxicos. Os essenciais sendo aqueles com o qual em sua ausência a planta não completa seu ciclo vital com plenitude, os benéficos são aqueles não essenciais,

porém se a planta absorver pode trazer benefícios, e os tóxicos são aqueles que se absorvidos prejudicam o desenvolvimento da planta independentemente da quantidade (ARNON & STOUT, 1939).

Dentre os elementos benéficos temos o Cobalto (Co), um componente essencial de várias enzimas e coenzimas, incluindo um componente central da cobalamina vitamina B12 e seus derivados (RESHMA et al., 2014), e, como parte da vitamina B12, desempenha um papel em vários processos bioquímicos importantes, incluindo a síntese de ácidos nucléicos e aminoácidos (ADOLFO et al., 2016). A concentração de Co no solo varia entre 15 e 25 ppm (PILON-SMITS et al., 2009). Em contraste aos demais elementos benéficos, plantas cultivadas sob oferta limitada de Co estão sujeitas a apresentarem sintomas característicos de deficiência (BERTRAND, 1912). Apesar disso, não é considerado um essencial para plantas (HU et al., 2021), pois não atinge os critérios de essencialidades (ARNON & STOUT, 1939). Apesar dessas considerações, o Co pode ser considerado essencial para as plantas leguminosas por atuar na fixação biológica de nitrogênio.

Alguns autores afirmam que ele auxilia no equilíbrio hídrico da célula vegetal, retarda a senescência, melhora o transporte de nutrientes do sistema radicular para a parte aérea e aumenta a eficiência de reguladores de crescimento. Características essas que podem atenuar estresses abióticos (HU et al., 2021; LWALABA et al., 2017; TATTO et al., 2018).

Mesmo com tantos benefícios gerados pela utilização do Co a linha entre seu efeito benéfico e tóxico é tênue. Áreas contaminadas com Co provocam redução no crescimento e teor de clorofila em cevada (*Hordeum vulgare* L.), diminuição das enzimas responsável por regular a atividade nodular em grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) entre outros estresses nas mais diferentes culturas (ALI et al., 2009; MAHEY et al., 2020; KHAN e KHAN, 2010)

Diante do exposto, o objetivo deste artigo foi revisar a importância do Co como um potencial micronutriente para as espécies fixadoras de nitrogênio e o desempenho como atenuante de estresse vegetais, assim como evidenciar os possíveis efeitos tóxicos para as plantas, quando em níveis elevados no solo.

2 | CO, ELEMENTO ESSENCIAL EM LEGUMINOSAS

O Co é reconhecidamente um elemento essencial para as leguminosas (HU et al., 2021). Ali et al. (2009), ao testarem níveis de Co em solução nutritiva na cultura do grão de bico (*Cicer arietinum* L.), constataram que em pequena quantidade (50 μ M), o Co aumenta expressivamente o número e a massa seca de nódulos em resposta ao aumento das enzimas ribonucleotídeo redutase e metionina sintase. A atividade da enzima metilmalonil-coA também é elevada, causando aumento da síntese de legemoglobina, pigmento de proteína que regula a oferta de O₂ e, portanto, mantém a enzima nitrogenase ativa no nódulo.

Há três enzimas que controlam a enzima nitrogenase, no caso, são a metionina

sintase, metilmalonil-CoA mutase e ribonucleotídeo redutase, que são conhecidas por serem dependentes de cobalamina e, conseqüentemente do Co, elemento central da enzima (HU et al., 2021). Tomic et al. (2014) também observaram o efeito benéfico do Co sobre a produção de semente do trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.), cujo resultados foram atribuídos através do aumento da nodulação e/ou aumento da fixação de nitrogênio. Esses resultados sugerem que o Co é um elemento essencial para nodulação de leguminosas, que demanda esse elemento para o crescimento do rizóbio e conversão do nitrogênio atmosférico em forma assimilável para as plantas, através da atividade na nitrogenase nos nódulos radiculares.

Em um estudo com ervilha, Akbar et al. (2013) constataram que a fertilização de até 20 g de Co ha⁻¹ em adição ao nitrogênio (N) proporciona maiores rendimentos da cultura associados com maior teor de proteína na semente. Esses resultados são impulsionados pelo aumento de duas a cinco vezes o número e massa de nódulos radiculares, melhorando a fixação do N₂ atmosférico das plantas de ervilhas quando fertilizadas com Co. Em um experimento com a aplicação de Co na cultura da soja, Galindo et al., (2017), concluíram que o Co promoveu maior teor de nutrientes foliar, cogitado em maior desenvolvimento de grãos e, conseqüentemente, maior produtividade de grãos de soja em associação com a inoculação do *Azospirillum brasilense*.

Iram et al. (2017) verificaram que a taxa de 8 ppm de Co aplicado com fertilizante nitrogenado promove aumento do número de nódulos, com conseqüente aumento do teor foliar de N. Os autores verificaram ainda, que a aplicação de Co favoreceu a eficiência do uso de nitrogênio pela planta de feijão mungo (*Vigna radiata* L.). Essa resposta condicionou o aumento do teor de proteína nos grãos, refletindo no aumento de rendimento da cultura. A baixa concentração de Co (10 µM) em plântulas de feijão mungo apresenta 100% de germinação de sementes, promove o comprimento da raiz até 4,07 cm, aumenta o comprimento da parte aérea em até 16% e contribui para o acréscimo na quantidade de pigmentos (clorofila e carotenoides). No entanto, o efeito do Co sobre as plântulas de feijão mungo proporcionam efeito deletério em concentrações maiores que 50 µM (RESHMA et al., 2014).

De forma geral, as concentrações de Co em leguminosas variam entre 0,1 a 10 µg g⁻¹ de peso seco, sendo considerada uma concentração muito baixa, mas capaz de proporcionar, de forma geral, diversos benefícios para as culturas, ao passo que em altas concentrações, o Co atinge rapidamente efeitos de toxicidade às culturas (BAKKAUS et al., 2005).

3 | A TOXICIDADE CAUSADA POR CO EM PLANTAS

A mostarda indiana (*Brassica juncea* L.) é considerada uma cultura hiperacumuladora de Co, todavia, a suplementação com Co em dose superior à 100 µM induziu estresse

oxidativo na cultura. Apesar do acúmulo substancial de prolina, um protetor osmótico, o estresse oxidativo causado inibiu significativamente o crescimento das mudas em reposta aos danos à membrana por peroxidação lipídica e desequilíbrio na produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (Karuppanapadian & Wook, 2013).

Lwalaba et al. (2017) ao investigarem os efeitos de tolerância ao estresse por Co em três genótipos de cevada, constataram que a adição de 25 μM ou mais Co na solução nutritiva resultou na inibição do crescimento vegetativo, resultado da diminuição significativa no teor de clorofila e dois parâmetros fotossintéticos: taxa fotossintética e taxa de transpiração. Além disso, os mesmos autores observaram menor absorção e acúmulo de Co em genótipos mais tolerantes, como possível mecanismo de inativação do Co por quelação ou compartimentação em plantas.

Embora baixas concentrações ofertadas de Co na solução nutritiva melhore os parâmetros de nodulação em plantas de grão de bico (*Cicer arietinum* L.), Ali et al. (2009), obtiveram declínio das enzimas responsável por regular a atividade nodular desta cultura. Em maiores suplementações ($> 100 \mu\text{M}$) do metal Co, houve estresse oxidativo, que pode ser uma causa da inibição das enzimas nitrato redutase e nitrito redutase. No entanto, o estresse oxidativo gerado também causa declínio do nível de legemoglobina e danifica a membrana plasmática dos nódulos. Ambos os efeitos diminuem a atividade da nitrogenase e limita a assimilação de nitrogênio.

Embora algumas plantas suportam solos com concentração entre 4.000 – 10.000 ppm de Co (MAHEY et al., 2020), é notório que a toxidez causada por Co varia entre as espécies, a exemplo de Khan e Khan (2010) que avaliaram que o estresse por Co, acima do limite de 50 ppm, causa redução de biomassa e rendimento afetado pela desnaturação das moléculas de clorofila da folha que, conseqüentemente, causa declínio na atividade fotossintética da planta. O Co atua afetando negativamente a formação de clorofila, a partir da inibição das enzimas ácido 5-aminolevulínico e protoporfirina, envolvidas na síntese de intermediários de clorofila (SREE et al., 2015).

Para o tomate, o nível de 0,5 mM de Co é suficiente para expressar sintomas de toxidez, como clorose nas membranas interveais e queimadura na margem das folhas, principalmente folhas mais velhas, devido sua alta mobilidade no floema. Além disso, o excesso de Co afetou a absorção de P, S e Fe nos tomateiros, que culminou na redução de biomassa da planta (GOPAL et al., 2007). Nesta cultura, o teor de prolina e atividade de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase, catalase e peroxidase) apresentam aumento proporcional com o acréscimo da concentração de Co, indicando resposta bioquímica de proteção ao estresse oxidativo induzido em função do estresse por Co (HASSAN et al., 2011).

O excesso da oferta do Co (300-400 μM) diminui a concentração de clorofila, devido a precipitação do Fe como fosfatos e/ou sequestro em ferritina, sendo traduzido em interferência no metabolismo desse micronutriente, resultando em efeitos semelhantes à

deficiência do Fe (TEWARI et al., 2002). SREE et al. (2015), por outro lado, não observaram deficiência de Fe ou inibição de seu transporte entre as raízes e a parte aérea causada por estresse de Co em plantas de lentilha (*Lemna minor*), sugerindo que o teor de Fe nas folhas independe da concentração de Co. Entretanto, o acúmulo de Co resultou em inibição do crescimento vegetativo como reposta a supressão dos processos de divisão e alongamento celular. Na presença do Co, as plantas ainda apresentaram acúmulo de amido, como consequência do declínio do transporte de carboidratos para o órgão dreno, desequilíbrio entre a síntese e degradação do amido, além do armazenamento do carboidrato com amido em consequência da inibição do crescimento.

O excesso de Co (500 μM) promoveu efeitos específicos de toxicidade na parte vegetativa e reprodutiva nas plantas de mostarda, com diminuição do peso seco da raiz, redução do tamanho das folhas e manchas necróticas, secas e murchas em folhas mais velhas, que culminou no abortamento de flores e diminuição do número de vagens (SINHA et al., 2012).

4 | RELAÇÕES ENTRE COBALTO E ESTRESSE HÍDRICO

A necessidade hídrica das culturas condiciona as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas. Quanto maior a disponibilidade de água no solo, melhor a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e maior a eficiência fotossintética, resultando em um máximo rendimento agrícola (BALDO et al., 2009). De acordo com Farias et al. (2001), condições de estresse hídrico são capazes de reduzir drasticamente a produção das culturas, onde os afetados não são apenas os produtores, mas também toda a sociedade. O déficit hídrico geralmente é o principal fator responsável por perdas na lavoura. A redução da massa seca de plântulas em função da restrição hídrica se dá devido à demora dos processos fisiológicos e bioquímicos ou pela dificuldade de hidrólise e a mobilização das reservas armazenadas nas sementes (ÁVILA et al., 2008). Em condições de campo normalmente a planta está submetida a mais de um estresse, como por exemplo o estresse hídrico juntamente com o estresse por metais pesados.

A contaminação ambiental por metais devido a diferentes atividades antrópicas é uma realidade mundial (REBOREDO et al., 2021). Níveis tóxicos de metais demonstraram alterar as relações hídricas das plantas (KIRHAM, 1978). Diante do exposto, faz-se necessário conhecer as interações entre as relações hídricas da planta e o Cobalto.

De acordo com Talukder et al. (1994), os efeitos benéficos do cobalto incluem retardamento da senescência da folha, aumento na resistência à seca em sementes, regulação do acúmulo de alcaloides em plantas medicinais, e inibição da biossíntese de etileno. Segundo Gad e El-Metwally (2015) o cobalto é um dos nutrientes benéficos menores que tem um papel efetivo no enfrentamento do estresse, pois melhora o equilíbrio hídrico da célula vegetal cultivada sob estresse hídrico e térmico e salinidade, o que pode

ser devido à sua importância no aumento da eficiência da planta, fortalecendo os processos de crescimento da planta. incluindo retardar o envelhecimento das plantas e melhorar o movimento de nutrientes da raiz para as partes vegetativas e vice-versa e aumentar a eficiência dos reguladores de crescimento e aumentar a produção.

Tatto et al. (2018) constataram que o bioestimulante (FertiactylLeg, Cobalto 0,5% m/v) usado no tratamento das sementes de soja proporcionou maior quantidade de germinação, menor número de plântulas anormais e sementes mortas submetido à estresse hídrico em relação às não tratadas, demonstrando induzir resistência em condições de estresse hídrico. Alak e Al-Sabagh (2020) embebendo sementes de feijão Mungo (*Vigna radiata* L.) em soluções com diferentes concentrações de cobalto (4, 8 e 12 mg L⁻¹) antes do cultivo, obtiveram plantas com maiores altura da planta, número de ramos, número de folhas e área foliar em condição de estresse hídrico (depleção de 50% da água disponível). Os autores atribuíram esse resultado ao aumento do equilíbrio hídrico dentro das células da planta, aumentando a eficiência do metabolismo e também aumentando as enzimas importantes nos diferentes processos que levaram a uma melhoria no crescimento vegetativo.

Ledan e Alag (2021) verificaram que os efeitos nocivos provenientes do estresse hídrico de 50% da água disponível no cultivo de milho verde foram reduzidos com aplicações foliares de cobalto nas concentrações 4, 8 e 12 mg L⁻¹. Os autores obtiveram resultados positivos para crescimento vegetativo e rendimento, eles atribuíram esses resultados ao papel positivo do cobalto em aumentar o teor e a eficiência de auxinas e citocininas na planta, o que levou a um aumento nos processos de divisão e alongamento celular. Benlloch-gonzález et al. (2010) estudando o efeito da inanição de K⁺ na condutância estomática de girassol sob estresse hídrico obtiveram resultados positivos quando adicionaram 5 µM de CoSO₄ na água de irrigação, os autores chegaram à conclusão de que o Co neutraliza parcialmente o efeito da inanição de K⁺ na abertura estomática. Em outras palavras, o efeito inibidor da inanição de K⁺ no fechamento estomático de estresse hídrico desaparece parcialmente após o tratamento com cobalto. Severo (2021) aplicando Co+Mo (3%+10%) via foliar em dose única 15 dias após a emergência das plântulas verificaram que o milho verde teve melhor crescimento, produção de biomassa e produção da espiga sob estresse hídrico de 40% da evapotranspiração da cultura. Além do milho, o Co influencia diretamente as leguminosas que são fixadoras de nitrogênio.

O Co é um componente estrutural da vitamina B12 a qual é precursora da leg-hemoglobina, que por sua vez, impede a inativação da enzima nitrogenase por falta de oxigênio (SANTOS NETO, 2017). E o nitrogênio está intimamente relacionado ao estresse hídrico. A maioria dos solutos e proteínas produzidos durante uma resposta ao estresse são compostos contendo N, como aminoácidos, amidas, betaínas. Assim, a maior absorção de nitrogênio pode atenuar os efeitos deletérios decorrentes do déficit hídrico nos cereais (MARQUES, 2019). Apesar desse efeito benéfico para as leguminosas, o Co em excesso pode ser um problema.

Do ponto de vista de áreas contaminadas por cobalto, o metal em concentrações elevadas é considerado tóxico as plantas. A contaminação dos solos por concentrações excessivas de metais resulta em deficiência de ferro, estresse, inibição na fotossíntese por inativação da Rubisco e diminuição atividade microbiana e fertilidade em plantas (LWALABA et al., 2017). Um trabalho recente buscou alternativa para mitigar o estresse por cobalto, Ozfidan-Konakci et al. (2022) verificaram que o nanomaterial fulereno como condicionador de solo mantiveram com sucesso o teor relativo de água em milho contra o estresse de Co. Em pesquisa pioneira sobre contaminação por Co e suas relações hídricas, Rauser e Dumbrof (1981) cultivando mudas de feijão branco (*Phaseolus coccineus* L.) de forma hidropônica, adicionaram 400 μM de Co na solução nutritiva durante dois dias e constataram que o potencial hídrico das folhas (PHF) tivera um decréscimo no 1º dia, porém, no 2º dia o PHF retornou ao nível do controle.

Em suma, podemos dizer que o cobalto interage com as relações hídricas da planta de três formas: 1º - diretamente, reduzindo o estresse pela seca através de seu papel no equilíbrio do potencial hídrico na célula vegetal, 2º - indiretamente, auxiliando no fornecimento de nitrogênio para a cultura, que conseqüentemente terá uma maior eficiência de uso da água e 3º em áreas contaminadas por cobalto podendo ter um efeito prejudicial temporário ou permanente nas relações hídricas da cultura.

5 | COBALTO ATENUANDO ESTRESSE SALINO

A salinidade é um dos fatores mais sérios que limitam a produtividade das culturas agrícolas. A alta salinidade afeta as plantas de várias maneiras: estresse hídrico, toxicidade iônica, distúrbios nutricionais, estresse oxidativo, alteração de processos metabólicos, desorganização da membrana, redução da divisão e expansão celular, genotoxicidade (Gad et al., 2018).

O Co tem sido citado como promotor de tolerância da planta à salinidade, por meio de sua participação mediando mecanismos fisiológicos em diferentes níveis de estresse salino. Em estudos realizados por Brengi et al., 2022, aplicando diferentes níveis de NaCl (0, 25, 2, 3, 4 dsm), resultados indicaram que o aumento dos níveis de sal reduziu o crescimento e a produtividade das plantas, o que pode ser resultado da toxicidade de íons, estresse oxidativo, hiperprodução de H_2O_2 , aumento de produção e acúmulo de molondialdeído (danos a membrana) e diminuição do aporte de nutrientes essenciais. Porém, com a aplicação foliar de 15 mg/L de Co mitigou a inibição de crescimento e frutificação e, aumentou o tamanho dos frutos. Verificou-se também o aumento na concentração de alguns metabólitos como: proteínas solúveis totais, concentração de nutrientes essenciais e atividade de enzimas antioxidantes como catalase (CAT), superóxido dimutase (SOD), peroxidase (POD). Também houve redução e ajuste dos níveis de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malonaldeído (MDA).

Nadia Gad e El-Metwally (2015) também observaram em seus estudos que o cobalto a 20 ppm estimulou o crescimento, teor de acúmulo de água, quantidade e qualidade da produção e teor de nutriente, aumentou o teor de prolina, potencial hídrico foliar e ácido abscísico, em milho, sob condições de salinidade.

Em estudos com estresse salino em plântulas de tomate, Gad et al., 2017 observou também o papel do Co como atenuador de estresse. Em que todas as concentrações de Cobalto (0,0; 7,5; 10; 12,5; 15,0 ppm), em que a concentração de 12,5 tiveram os maiores valores de parâmetro de crescimento, quando associado a salinidade do solo de 5,40 ds/ m⁻¹. Diante do que foi descoberto, os estudos recomendam a possibilidade de uso para superar os efeitos da salinidade,. O uso do cobalto ainda auxiliou as plantas incrementando o conteúdo de clorofila, no potencial hídrico foliar (potencializando o processo fotossintético diretamente), em hormônios endógenos como, as auxinas e as, giberelinas. Melhorou a biossíntese de prolina. por conta do papel vital do Co, gerando economia de água na planta.

Também foi observado na cebola (Gad et al., 2020) que Co influenciou a modulação do nível de fito hormônios (por exemplo, auxinas e citocininas) durante o estresse salino. Li et al. (2005) demonstrou que o Co promove o equilíbrio do nível de enzimas antioxidantes e reduz a lesão da membrana sob estresse hídrico. Também demonstrou que o Co inibiu a produção de etileno em folhas de plântulas de batata durante estresse osmótico. E também o efeito de alívio na senescência dos tecidos acontece pois o Co inibe a atividade da ACC oxidase e reduz a produção de etileno.

O estresse salino pode causar redução no teor de poliaminas, (sendo que estas exercem função protetora a membrana celular quando as plantas estão submetidas a estresses) (Pandey et al., 2000). Ao freiar a redução nos teores de poliaminas, o Co pode exercer alguns efeitos benéficos na recuperação dos danos causados a membrana celular.

Em estudos utilizando 6 genótipos de arroz em meio de cultura salino, (Attia et al., 2014) pôde ser observado que o estresse salino diminuiu os percentuais de regeneração de plantas em todos os genótipos estudados. Já quando o cobalto foi adicionado ao meio de cultura, diminui o efeito negativo da salinidade na capacidade de regeneração, pois o Co é constituinte de várias enzimas e coenzimas. Sendo assim possível e recomendado o uso de sulfato de cobalto na cultura de tecido de embrião de arroz.

Mediante os estudos expostos é possível perceber a ação efetiva exercida pelo Co como atenuador. Das alterações metabólicas sofridas pela planta quando submetidas ao estresse salino.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme foi demonstrado na presente revisão, o Cobalto exerce vários efeitos benéficos para as plantas, desde a questão nutricional, até ações metabólicas ligadas a

atenuação de algumas condições estressantes em que a planta pode estar submetida nos variados ambientes e também no cenário das mudanças climáticas e ambientais que vem ocorrendo ao longo do tempo e continuam em progresso.

Quanto a questão do equilíbrio hídrico o mesmo pode ser indicado para manutenção do status hídrico através da melhora na ação dos reguladores de crescimento e também da nutrição da planta, além da ação de alguns compostos secundários como a prolina. Já quanto a questão da salinidade o Co, age aumentando também o teor de prolina, assim como estimulou o crescimento das plantas através da ação nutricional, aumento na concentração de pigmentos, melhora na ação de fitormônios e inibindo também a ação de etileno.

Porém, tudo isto, depende da dose que será disponibilizada as plantas, a depender de estudos, para aferir qual a concentração ideal para cada planta. Nas pesquisas citadas, foi observado também que a ação interativa dele com outros elementos metálicos também depende desta concentração, pois o efeito pode ser tóxico ou antagonico para as culturas. Mediante tudo que foi observado, faz-se necessário o desenvolvimento das pesquisas para apurar a participação deste elemento tanto na questão de enfrentamento a estresses como na associação com alguns nutrientes metálicos afim de entender este nutriente, buscando cada vez mais explorar de forma benéfica às plantas.

Portanto a literatura a respeito do papel do Co para enfrentar este estresse deveria ser aumentada e serve de base para elaboração de experimentos científicos nas mais variadas culturas.

REFERÊNCIAS

ADOLFO, F. R.; do NASCIMENTO, P. C.; BOHRER, D.; de CARVALHO, L. M.; VIANA, C.; GUARDA, A.; COLIM, A. N.; MATTIAZZI, P. **Simultaneous determination of cobalt and nickel in vitamin B12 samples using high-resolution continuum source atomic absorption spectrometry.** Talanta, v. 147, p. 241-245, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.09.073>

AKBAR, F. M.; ZAFAR, M.; HAMID, A.; AHMED, M.; KHALIQ, A.; KHAN, M. R.; REHMAN, Z.; U. **Interactive effect of cobalt and nitrogen on growth, nodulation, yield and protein content of field grown pea.** Horticulture, Environment, and Biotechnology, v. 54, n. 6, p. 465-474, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0001-6>

ALAK, M. K.; AL-SABAGH, T. M. H. B. **Role of soaking seeds with cobalt and ascorbic acid in alleviation of mung bean under water stress effect.** Plant Archives, v. 20, n. 1, p. 253-259, 2020.

ALI, B.; HAYAT, S.; HAYAT, Q.; AHMAD, A. **Cobalt stress affects nitrogen metabolism, photosynthesis and antioxidant system in chickpea (*Cicer arietinum* L.).** Journal of Plant Interactions, v. 5, n. 3, p. 223-231, 2010. <https://doi.org/10.1080/17429140903370584>

ARNON D. I.; STOUT P. R. **The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper.** Plant physiology, v. 14, n. 2, p. 371, 1939. <https://doi.org/10.1104/pp.14.2.371>

ATTIA, S.A.A.; NADIA, G.; ABDEL-RAHMAN, H.M.; SHENODA AND AIDA, A.R. **In-vitro Enhancement of salinity tolerance in rice using cobalt sulfate**. World Applied Sciences Journal, 31(7): 1311-1320. 2014.

ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. D. L.; SCAPIM, C. A.; FAGLIARI, J. R.; SANTOS, J. L. D. **Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola**. Revista Brasileira de Sementes, v. 29, p. 98-106, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000100014>

BAKKAUS, E.; GOUGET, B.; GALLIEN, J. P.; KHODJA, H.; CARROT, F.; MOREL, J. L.; COLLINS R. **Concentration and distribution of cobalt in higher plants: The use of micro-PIXE spectroscopy**. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. v. 231, p. 350 – 356, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2005.01.082>

BALDO, R., SCALON, S. D. P. Q., ROSA, Y. B. C. J., MUSSURY, R. M., BETONI, R., & BARRETO, W. D. S. **Comportamento do algodoeiro cultivar Delta Opal sob estresse hídrico com e sem aplicação de bioestimulante**. Ciência e Agrotecnologia, v.33, p. 1804-1812, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000700018>

BENLLOCH-GONZÁLEZ, M.; ROMERA, J.; CRISTESCU, S.; HARREN, F.; FOURNIER, J. M.; BENLLOCH, M. **K⁺ starvation inhibits water-stress-induced stomatal closure via ethylene synthesis in sunflower plants**. Journal of experimental botany, v. 61, n. 4, p. 1139-1145, 2010. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp379>

BERTRAND G. On the Role of Trace Substances in Agriculture. Concord, NH: Rumford. 1912.

BRENGI, SARY H.; ABD ALLAH, E. M.; ABOUELSAAD, IBRAHIM A. **Effect of melatonin or cobalt on growth, yield and physiological responses of cucumber (*Cucumis sativus L.*) plants under salt stress**. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, v. 21, n. 1, p. 51-60, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.06.012>

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. D.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. **Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v.9, n.3, 2001.

GAD, N., ABDEL-MOEZ, M. R., ABO-BASHA, D. M., & HASSAN, N. M. **Mitigation the effect of salinity as a result of climate change by using cobalt on tomato production in newly reclaimed lands**. 2017.

GAD, N.; EL-METWALLY, I. M. **Chemical and physiological response of maize to salinity using cobalt supplement**. International Journal of ChemTech Research, v. 8, n. 10, p. 45-52, 2015

GAD, N.; HASSAN, N. M. K; SAYED, S. A. A. E. **Influence of Cobalt on tolerating climatic change (Salinity) in onion plant with reference to physiological and chemical approach**. Plant Archives, v. 20, n. supplement 1, p. 1496-1500, 2020.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA, M.; BUZZETTI, S.; SANTINI, J. M.; LUDKIEWICZ, M. G.; BAGGIO, G. **Modes of application of cobalt, molybdenum and Azospirillum brasilense on soybean yield and profitability**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 21, p. 180-185, 2017.

GOPAL, R.; DUBE, B. K.; SINHA, P.; CHATTERJEE, C. **Cobalt toxicity effects on growth and metabolism of tomato**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 34, n. 5-6, p. 619-628, 2003.

HU, X.; WEI, X.; LING, J.; CHEN, J. **Cobalt: An Essential Micronutrient for Plant Growth?**. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, 2021.

IRAM, A.; AWAN, T. H.; TANVEER, A.; AKBAR, N.; SALEEM, M. F.; SAFDAR, M. E. **Optimization of cobalt and nitrogen for improving seed yield, protein content and nitrogen use efficiency in mungbean**. *Journal of Environmental and Agricultural*, v. 2, n. 1, p. 173-179, 2017.

KHAN, A. R.; AZHAR, W.; WU, J.; ULHASSAN, Z.; SALAM, A.; ZAIDI, S. H. R.; YANG, S.; SONG, G.; GAN, Y. **Ethylene participates in zinc oxide nanoparticles induced biochemical, molecular and ultrastructural changes in rice seedlings**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 226, p. 112844, 2021.

KHAN, M. R.; KHAN, M. M. **Effect of varying concentration of nickel and cobalt on the plant growth and yield of chickpea**. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, v. 4, n. 6, p. 1036-1046, 2010.

LI, C. Z., LI, C. Z., WANG, D., & WANG, G. X. **The protective effects of cobalt on potato seedling leaves during osmotic stress**. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, v. 46, 2005.

LWALABA, J. L. W., ZVOBGO, G., FU, L., ZHANG, X., MWAMBA, T. M., MUHAMMAD, N., MUNDENE, R.P.M., ZHANG, G. **Alleviating effects of calcium on cobalt toxicity in two barley genotypes differing in cobalt tolerance**. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 139, p. 488-495, 2017.

LWALABA, J. L. W.; ZVOBGO, G.; MULEMBO, M.; MUNDENE, M.; ZHANG, G. **The effect of cobalt stress on growth and physiological traits and its association with cobalt accumulation in barley genotypes differing in cobalt tolerance**. *Journal of Plant Nutrition*, v. 40, n. 15, p. 2192-2199, 2017.

MARQUES, D.M. **Déficit hídrico e doses de nitrogênio na morfofisiologia e produção de genótipos de milho inoculados por *Azospirillum brasilense***. UFLA, 2019. 79p. Tese (Doutorado em Botânica Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NADIA GAD E IM EL-METWALLY, **Chemical and physiologica response of corn to salinity using cobalt supplement**. *International Journal of chem Tech Research*. 8(10) pp. 45-52. 2015.

OZPIDAN-KONAKCI, C.; ALP, F. N.; ARIKAN, B.; ELBASAN, F.; CAVUSOGLU, H.; YILDIZTUGAY, E. **The biphasic responses of nanomaterial fullerene on stomatal movement, water status, chlorophyll a fluorescence transient, radical scavenging system and aquaporin-related gene expression in *Zea mays* under cobalt stress**. *Science of The Total Environment*, v. 826, p. 154213, 2022.

PANDEY, S., S.A. RANADE, P.K. NAGAR, AND N. KUMAR. **Role of polyamines and ethylene as modulators of plant senescence**. *J. Biosci.* 25: 291-299. 2000.

PILON-SMITS, E. A.; QUINN, C. F.; TAPKEN, W.; MALAGOLI, M.; SCHIAVON, M. **Physiological functions of beneficial elements**. *Current opinion in plant biology*, v. 12, n. 3, p. 267-274, 2009.

PRAMANIK, K.; MITRA, S.; SARKAR, A.; MAITI, T. K. **Alleviation of phytotoxic effects of cadmium on rice seedlings by cadmium resistant PGPR strain *Enterobacter aerogenes* MCC 3092**. *Journal of hazardous materials*, v. 351, p. 317-329, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.03.009>.

RAUSER, W. E.; DUMBROFF, E. B. **Effects of excess cobalt, nickel and zinc on the water relations of *Phaseolus vulgaris***. *Environmental and Experimental Botany*, v. 21, n. 2, p. 249-255, 1981.

REBOREDO, F. H.; PELICA, J.; LIDON, F. C.; PESSOA, M. F.; SILVA, M. M.; GUERRA, M.; RAMALHO, J. C. **The Tolerance of Eucalyptus globulus to Soil Contamination with Arsenic.** Plants, v. 10, n. 4, p. 627, 2021.

RESHMA, A. R.; VAMIL, R.; SINGH, G.; AHMAD, M.; SHARMA, R. **Effect of molybdenum and cobalt induced heavy metal stress on seedling growth stage of *Vigna radiata*.** Acta Botanica Hungarica, v. 56, n. 1-2, p. 227-241, 2014.

SANTOS NETO, J.V. **Forma de aplicação do níquel, cobalto e molibdênio em sistema plantio direto na cultura da soja,** UFU, 2017. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

SEVERO, P. J. D. S. **Produção de milho verde sob déficit hídrico em associação às bactérias promotoras do crescimento ou Co+ Mo.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. 2021. 54f. Dissertação (Mestrado em horticultura tropical)

SINHA, P.; KHURANA, N.; NAUTIYAL, N. **Induction of oxidative stress and antioxidant enzymes by excess cobalt in mustard.** Journal of plant nutrition, v. 35, n. 6, p. 952-960, 2012.

SREE, K. S.; KERESZTES, Á.; MUELLER-ROEBER, B.; BRANDT, R.; EBERIUS, M.; FISCHER, W.; APPENROTH, K. J. **Phytotoxicity of cobalt ions on the duckweed Lemna minor–Morphology, ion uptake, and starch accumulation.** Chemosphere, v. 131, p. 149-156, 2015.

TALUKDER, G.; SHARMA, A.; PALIT, S. **Effects of Cobalt on Plants.** The Botanical Review, vol.60, n.2. p.149 - 181 1994.

TATTO, L.; KULCZYNSKI, S. M.; BELLÉ, C.; MORIN, D.; RUBIN, F. M.; ULIANA, M. P. **Desempenho de sementes de soja tratadas com bioestimulante sob diferentes condições de potencial osmótico.** Revista Eletrônica Científica Da UERGS, v. 4, n. 3, p. 397-408, 2018.

TEWARI, R. K.; KUMAR, P.; SHARMA, P. N.; BISHT, S. S. **Modulation of oxidative stress responsive enzymes by excess cobalt.** Plant Science, v. 162, n. 3, p. 381-388, 2002.

TOMIC, D.; STEVOVIC, V.; DJUROVIC, D.; STANISAVLJEVIC, R. **Effect of cobalt application on seed production in red clover (*Trifolium pratense* L.).** Journal of Agricultural Science and Technology, v. 16, n. 3, p. 517-526, 2014.