



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
LSO - DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PACES - PROJETANDO AGRICULTURA COMPROMISSADA EM
SUSTENTABILIDADE

ANA LAURA PEREIRA OLIVEIRA
RICARDO FUCHS DE PINHO

Manejos para redução de estresse hídrico

Piracicaba
2023

ANA LAURA PEREIRA OLIVEIRA
RICARDO FUCHS DE PINHO

Manejos para redução de estresse hídrico

Revisão bibliográfica apresentada ao Grupo PACES - Projetando Agricultura Compromissada em Sustentabilidade, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

Coordenadores:

Ana Clara Bordignon

João Gonçalves Ólea Leone

Piracicaba

2023

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. ESTRESSE HÍDRICO	5
3. MANEJOS PARA MITIGAR O ESTRESSE HÍDRICO	9
3.1 EXTRATO DE ALGAS	9
3.2 BACILLUS ARYABHATTAI	14
3.3 AMINOÁCIDO	17
3.4 INSETICIDAS E O ESTRESSE HÍDRICO	19
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1. INTRODUÇÃO

O aumento da produtividade é o principal objetivo dos produtores atualmente, para isso deve-se minimizar as perdas durante o todo o processo produtivo das culturas, desde sua implantação até a colheita, uma das preocupações relaciona-se com estresses bióticos e abióticos. As mudanças climáticas estão entre os fatores que prejudicam o processo produtivo das culturas, interferindo na importância econômica, a seca é um exemplo de fator limitante, uma vez que o déficit hídrico limita o desenvolvimento da cultura, retardando seu crescimento, tanto em relação com a expressão de genes como na integração hormonal (MORAIS, 2018).

O estresse hídrico prejudica a atividade fotossintética, a expressão gênica, a síntese proteica e dificulta a abertura estomática, o que retarda o crescimento e a produção vegetal. O manejo de irrigação dos cultivos está em crescimento, porém como consequência tem-se o aumento do consumo de água, que pode ser um motivo de preocupação devido à disponibilidade do recurso (MORAIS, 2018).

Com isso em vista, é importante buscar por outras estratégias que minimizem os efeitos do estresse hídrico nas lavouras e aumentem o índice de produção anual. Alguns manejos relacionados em especial com o solo, como melhor estruturação, aeração, incremento de matéria orgânica, são muito comentados, porém existem outras formas de mitigação de injúrias causadas por estresses abióticos, no caso do déficit hídrico.

As pesquisas com o uso de bioestimulantes estão em ascensão e se relacionam com questões de sustentabilidade, dentre eles pode-se citar o uso de extrato de alga, microorganismos como o *Bacillus aryabhattai*, aminoácidos e até mesmo tratamento de sementes. No presente trabalho, estes tópicos serão apresentados com maiores detalhes, com o intuito de apresentar maneiras de mitigação de estresses hídricos.

2. ESTRESSE HÍDRICO

A agricultura é uma ciência que depende de uma série de fatores para que se tenha os resultados desejados no final das safras. Ou seja, para que o plantio de uma cultura possa gerar produtividade e rentabilidade futuras não depende apenas de práticas agronômicas e humanas, mas sim de condições climáticas que favoreçam esse plantio. No entanto, como sabemos essas condições climáticas são questões não controladas pelo homem, mas que existem maneiras e técnicas agronômicas que podem ser usadas para mitigar esses efeitos deletérios do clima.

Entre um desses fatores climáticos está o estresse hídrico que, por mais que as áreas irrigadas vem tendo um acréscimo significativo, grande parte das terras agricultáveis ainda não contam com essa tecnologia. Períodos de estiagem ainda afetam mais de 25% regiões agrícolas de todo o mundo e, pondo em destaque o Brasil, a região do Nordeste brasileiro com suas irregularidades nos regimes pluviométricos são um dos principais limitadores de produção alimentícia na região (AZEVEDO et al., 2011). Para além, no ano de 2023, é perceptível como as safras nas regiões do Centro oeste do país vêm sofrendo com as secas prolongadas e as altas temperaturas, causando estresses nas plantas, dificultando assim altas produtividade.

Sendo assim, para se iniciar a abordagem sobre o estresse hídrico, antes é interessante entender quais são as reais funções da água na planta e, a partir disso, compreender o que sua falta vai ocasionar. Ou seja, tratar quais são as funções da água, quais os efeitos pela redução dela e quais os sintomas observados em uma lavoura.

Portanto, a água é responsável por mais de 90% do conteúdo celular na maioria dos tecidos vegetais, sendo que a redução no conteúdo de água na célula inferior a 75% provoca mudanças estruturais podendo causar a morte. Ela é a responsável pela difusão e translocação de solutos, inicia o processo de fotossíntese com a fotólise da água (quebra da água em $4H^+$, 4 elétrons e duas moléculas de oxigênio) permitindo a formação de gradiente de concentração de hidrogênio que posteriormente irá rodar as bombas de ATP e energia na forma de elétrons, serve também como um filtro contra ondas eletromagnéticas abaixo do ultravioleta protegendo a célula de mutações (PIMENTEL, 2004).

Ainda sobre suas funções, a água é um grande regulador térmico devido seu alto valor de calor específico e de vaporização, o que permite o fenômeno de transpiração e regulação térmica. Também é a responsável pela turgescência celular, aumentando seu volume, interferindo no crescimento vegetal, na abertura e fechamento estomático e no movimento de folhas e flores (PIMENTEL, 2004). Portanto, com as funções da água descritas, pode-se perceber que a falta dela pode causar diferentes impactos no desenvolvimento vegetal e consequências para a produtividade da lavoura. O nome que se dá para a falta de água e as ações fisiológicas da planta é o estresse hídrico, e esse é o momento em que as ofertas de água não suprem as demandas.

Dito isto, pode-se definir que o estresse hídrico vai ser uma consequência do fenômeno chamado de déficit hídrico. Ele consiste na diminuição de água disponível no solo que pode ser provocada por diversos fatores como a redução dos índices pluviométricos, baixa capacidade de retenção de água, baixa umidade do solo, distribuição de água desuniforme durante o ciclo da cultura e entre outros fatores (ESTEVES, 2022). Esse déficit vai gerar consequências negativas que poderão ser irreversíveis dependendo da severidade, estágio de desenvolvimento da planta e genótipo.

Com a falta de água, a planta terá que optar entre a conservação de água ou pela produção de carboidratos por meio da assimilação de CO₂ na fotossíntese, afinal, existe um conflito entre abrir os estômatos para a entrada de gás carbônico e perder água por meio da transpiração e o fechamento estomático para a retenção de água, mas favorecendo a fotorrespiração (TAIZ et al., 2017). Com isso, é possível constatar que o déficit hídrico vai provocar o fechamento estomático, redução das taxas fotossintéticas, redução do crescimento vegetal e expansão foliar, gerando perdas na produtividade da cultura (SANTOS et al., 2004, 2006).

Como sintomas, já foi dito que uma das funções da água na fisiologia da planta é na geração de energia para a fotossíntese, portanto, será nítido uma redução no tamanho e desenvolvimento das plantas. Além disso, outra função é a turgidez de células, ou seja, as folhas novas que não possuem elevado grau de estruturação só conseguem permanecer eretas pela pressão que a água faz a partir da turgidez das células. Dito isto, na ausência de água, as folhas novas não terão a capacidade de permanecer eretas e tendem a murchar (Figura 1). Por fim, em caso de déficit hídrico severo causará a morte das plantas.

Figura 1: Sintomas de plantas em estresse hídrico.



Fonte: Mais Soja (2019).

Visando demonstrar os efeitos que esse estresse vai ter em plantas de soja, o seguinte experimento mostra quais foram os resultados na planta com o estímulo de déficit hídrico em diferentes estádios da soja. No experimento, foi dividido os estádios de desenvolvimento da soja em 4 diferentes grupos, o grupo 1 (S1) sendo aquele responsável pelo desenvolvimento vegetativo (V2 a V12), grupo 2 (S2) Floração à Início da Frutificação (R1 a R3), grupo 3 (S3) completa formação de vagens à formação da produção (R4 a R6) e por fim o grupo 4 (S4) Maturação (R7 a R8).

Adiante, todos esses grupos passaram por déficit hídrico (Déficit no S1 =DS1, Déficit no S2 =DS2, Déficit no S3 = DS3, Déficit no S4 = DS4 e Déficit no ciclo total = DCT), e no final e foram comparados com uma área irrigada (IP), com isso procurou-se avaliar os seguintes aspectos: Número de Vagens por Planta, Número de Grãos por Planta, Abortamento, Peso de 100 Grãos e Produtividade. Segue a tabela com os resultados:

Tabela 1: Efeito do déficit hídrico em diferentes estádios da soja no número de vagens por planta, abortamento, peso de 1000 grãos e produtividade.

Tratamentos	Número de Vagens por Planta	Número de Grãos por Planta	Abortamento (%)	Peso de 100 Grãos (g)	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
IP (área irrigada)	29,7 ab	63,9 a	20,5	12,4 abc	2783,0 a
DS1 (V1 a V12)	25,4 bc	50,4 ab	21,6	13,4 a	2399,2 ab
DS2 (R1 a R3)	24,9 bc	52,2 ab	19,7	13,3 a	2530,3 ab
DS3 (R4 a R6)	25,6 ab	48,3 ab	29,2	9,8 c	1728,4 b
DS4 (R7 a R8)	28,7 ab	59,5 a	23,7	13,2 ab	2735,9 a
DCT (total)	22,7 c	41,0 b	22,4	10,0 bc	1715,3 b

Fonte: Adaptado de Gava *et al* (2015).

Analisando os resultados, fica nítido como o déficit hídrico afeta cada um dos estádios diferentes e como o déficit geral reduz muito todos os aspectos, em especial a produtividade. Iniciando pelo número de vagens por planta, os períodos que mais sofreram redução foram no vegetativo (S1), ou seja, produção de área foliar e espaço para vagens e justamente no período de floração (S2) (flores que irão originar vagens). Sobre o número de grãos por planta foi o momento de formação das vagens que mais sofreu redução. Falando sobre o abortamento floral, como imaginado o período de déficit hídrico na floração foi o que mais causou danos e sobre a redução no peso de 1000 grãos a falta de água no grupo três (enchimento de grãos) ganhou destaque. Por fim, a produtividade teve como principal queda a falta de água na completa formação de vagens e enchimento dos grãos e obviamente no déficit do ciclo total (GAVA, *et al*, 2015).

Abordado sobre o que é o estresse hídrico e como ele pode alterar na produtividade das culturas, adiante será explicado sobre formas de mitigar esse problema nas lavouras e conseguir controlar os efeitos deletérios pela falta de água.

3. MANEJOS PARA MITIGAR O ESTRESSE HÍDRICO

Estresse causados por fatores abióticos são comum e de difícil prevenção, por se tratar de fatores que fogem do controle do produtor, por exemplo falta de água, excesso de temperatura, dessa maneira, é importante manejos que busquem mitigar os danos causados. Com o avanço das tecnologias, foram criadas variedades resistentes, que auxiliam na proteção das lavouras e melhor desenvolvimento da cultura. Além disso, algumas das estratégias que podem ser adotadas para a mitigação de estresses abióticos, e que estão ganhando maior apoio, são o uso de bioinsumos, dentre eles extratos de alga, aminoácidos e biológicos com bactérias, por exemplo o *Bacillus Aryabhatai*.

3.1 EXTRATO DE ALGAS

O uso de extrato de algas é uma alternativa para a melhora do desempenho das culturas, para que os estresses abióticos, em especial os causados por déficit hídrico, não sejam muito prejudiciais. A utilização do extrato de algas aumenta anualmente, com a maior aceitação dos produtores (KHAN *et al.*, 2009). Os produtos derivados de extrato de alga são produzidos a partir de espécies que habitam em águas salgadas. Dentre as espécies de algas marinhas que se destacam tem-se a *Ascophyllum nodosum* (L.), tem capacidade de agregar em propriedades desde a promoção de crescimento vegetal até no uso da alimentação humana e animal (CRAIGIE, 2011).

A constituição do extrato de alga se trata de uma mistura complexa, que envolve aminoácidos, nutrientes, oligossacarídeos, hormônios vegetais. No caso de produtos com a *Ascophyllum nodosum* os componentes são citocininas, auxinas, ácido abscísico, giberelinas, betaínas e alginatos (MACKINNON *et al.*, 2010).

Apesar da presença de compostos bioativos, as plantas respondem de maneira variada, o método de aplicação (tratamento de sementes, pulverização foliar e irrigação) e as dosagens e frequências de aplicação são os principais fatores. O uso de *Ascophyllum nodosum* está crescendo e sendo mais aceito como estratégia de mitigação de estresse hídrico e aumento da produtividade vegetal (RAYORATH *et al.*, 2008)

Os produtos à base dos extratos de algas estimulam a atividade de enzimas do sistema antioxidante e a síntese de compostos, por exemplo osmólitos compatíveis, que são necessários para as plantas terem a capacidade de maior tolerância aos estresses. As plantas que se encontram em déficit hídrico buscam manter o equilíbrio hídrico com o acúmulo dos solutos não tóxicos, não interferindo nos processos fisiológicos. Dentre essas substâncias, denominadas de osmólitos, tem-se como exemplo a betaína, essencial no ajuste osmótico de vegetais em condições de estresse hídrico (CARLIN e SANTOS, 2009). A concentração de macro e micronutrientes na principal alga utilizada, a *Ascophyllum nodosum*, está exposta na tabela abaixo.

Tabela 2: Concentrações de macro e micronutrientes da alga *Ascophyllum nodosum*

	Macronutrientes (%)						Micronutrientes (%)					
	N	P	S	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mg	Zn	B	Mo
<i>Ascophyllum nodosum</i>	1-1,5	0,0-2,05	1-9	19-21	1,5-1	0,5-0,9	1-6	50-200	5-12	10-100	20-100	1-5

Fonte: Adaptado de Rosa (2020).

Em estudo realizado na safra 2016/2017, conduzido em casa de vegetação, com o delineamento estatístico em vasos inteiramente casualizados, foi avaliado a diferença de vigor da planta em dois tratamentos, o T1 foi considerado o controle, ou seja, sem a aplicação de extrato de alga, e o T2 foi realizada a aplicação do extrato de *A. nodosum* 29%, de 2,0 mL/Kg a semente e em cobertura de 1,0 L/ha do extrato de *A. nodosum* 9%. As aplicações de cobertura foram realizadas nas fases R1 e R5, sendo que a dose foi dividida entre as duas aplicações (FONTES, 2017).

A cultivar utilizada no experimento foi a TMG 7062 IPRO, que possui ciclo e porte médio, indicada para a semeadura a partir de 30 de setembro. Foi notado que no tratamento 2, em que recebeu o extrato de alga, houve aumento significativo no diâmetro do caule e no aumento da área foliar, o que comprovou a resposta ao déficit hídrico (FONTES, 2017).

Com o intuito de obter visualmente a resposta da planta, quatro vasos foram separados, sendo que dois foram tratados com o extrato de alga e ou outros dois

não foram tratados, vale ressaltar que todos os vasos estavam em condições iguais, de 60% da capacidade de campo, temperatura em média 28°C e umidade relativa do ar em média 64,5%. As plantas foram submetidas ao estresse hídrico por 4 dias, tanto à falta, como ao excesso de água, as plantas foram fotografadas a cada hora até que estivessem no ponto de murcha permanente e no 5º dia os vasos foram reidratados com 500mL de água (FONTES, 2017).

Figura 2: Estrutura para as fotos



Fonte: Fontes (2017).

Foram realizadas as avaliações agrônômicas, em que nas plantas tratadas com o extrato de alga o caule e a área foliar apresentaram diferenças significativas. Por se tratar de um ambiente controlado, as variáveis como temperatura, vento e umidade tendem a mascarar os efeitos do estresse hídrico na planta. Para avaliar a qualidade fisiológica da semente usa-se o diâmetro do caule. A aplicação do extrato na semente ajudou a planta a ter um melhor desenvolvimento inicial, assim, um maior diâmetro de caule (FONTES, 2017).

Relacionado à massa das raízes, a massa fresca e a seca, mesmo que não apresentaram diferença estatística, foi notado que no tratamento que recebeu o extrato de alga a raiz teve um melhor desenvolvimento, e como resultado maior massa seca e fresca. Conseqüentemente, as raízes tiveram um crescimento mais rápido, o que compensou a perda de água, pois com raiz mais profunda a planta

consegue buscar água em maior profundidade, e posteriormente, com a adição da água no solo, a soja retornou ao seu crescimento (FONTES, 2017).

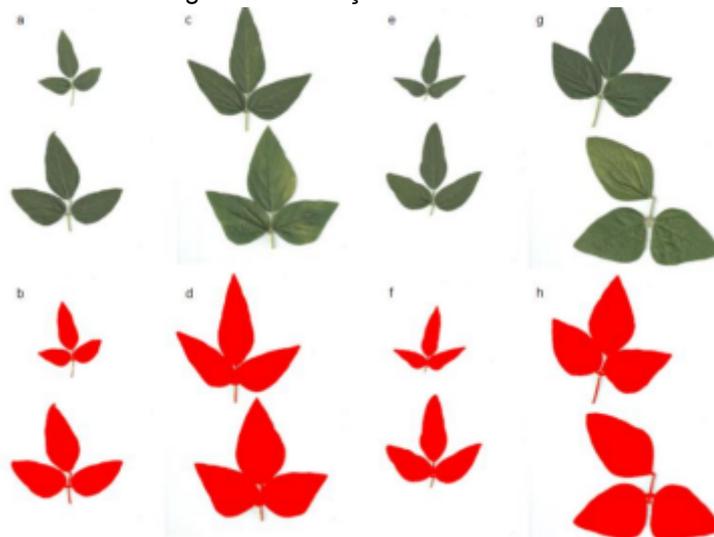
Tabela 3: Parâmetros agrônômicos avaliados (massa fresca e seca da raiz, massa seca e fresca da parte aérea, diâmetro do caule e número de vagens por planta) pelo efeito da aplicação do extrato de *A. nodosum* na cultura da soja.

Trat.	Raiz (g/planta)		Parte aérea (g/planta)		Diâmetro do caule (mm)	Inflorescência (Nº)	Área foliar total (cm ²)
	MF	MS	MF	MS			
T1	74,24 a	13,11 a	103,77 a	23,65 a	6,49 b	81,4 a	185,68 b
T2	81,02 a	15,81 a	102,14 a	23,35 a	7,10 a	85,4 a	238,75 a
CV	13,28	14,69	5,90	4,89	11,32	9,74	19,01

Fonte: Adaptado de Fontes (2017).

Além disso, a redução da área foliar também foi observada nas plantas com estresse hídrico. Foi realizada a avaliação do 11º ao 14º nó com o auxílio do aplicativo SFP e notou-se que as plantas tratadas tiveram uma maior área foliar. Na imagem abaixo, (A) corresponde aos 14º e 13º trifólios de T1, (B) 14º e 13º trifólios de T1 escaneados pelo SFC, (C) 12º e 11º trifólios T1, (D) 12º e 11º trifólios T1 escaneados pelo SFC, (E) 14º e 13º trifólios T2, (F) 14º e 13º trifólios T2 escaneados pelo SFC, (G) 12º e 11º trifólios T2, (H) 12º e 11º trifólios T2 escaneados pelo SFC (FONTES, 2017).

Figura 3: Avaliação da área foliar



Fonte: Fontes (2017).

Em relação ao número de vagens por planta, os vasos em déficit hídrico apenas no florescimento não tiveram índice de aborto significativo. Analisando a taxa de aborto, produção por planta e o peso de cem sementes, das plantas submetidas a estresse no florescimento e no início do enchimento de grãos, percebeu-se que as plantas tratadas tiveram efeito compensatório no enchimento de grãos, mesmo com menos quantidade de vagens, o rendimento da planta tratada foi melhor (FONTES, 2017).

Tabela 4: Parâmetros agrônômicos avaliados (Número de inflorescência, porcentagem de abortamento, produtividade por planta e P.C.S) pelo efeito da aplicação do extrato de *A. nodosum* na cultura da soja.

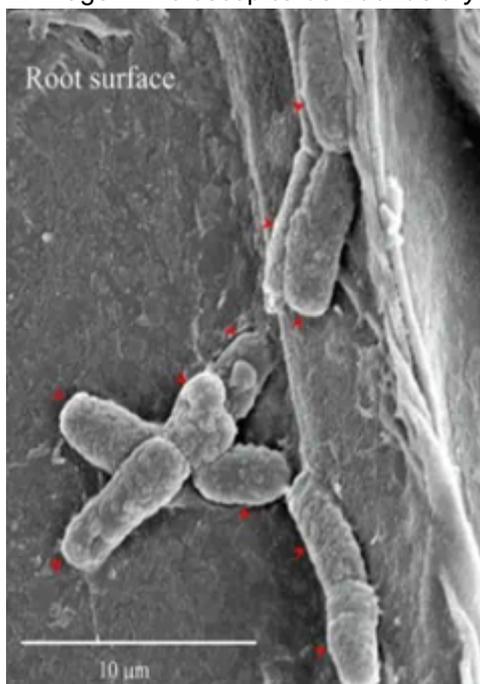
Trat.	Inflorescência			Aborto %	Produtividade por planta (g/planta)	PCS (g)
	R2	R4-5	R6			
T1	77,82	81,6	40,8	50	16,49 a	17,48 a
T2	79,45	85,5	40,25	52,92	17,26 a	18,54 a
CV (%)	19,07	13,87	11,72	-	18,13	11,90

Fonte: Adaptado de Fontes (2017).

3.2 BACILLUS ARYABHATAI

O *Bacillus aryabhatai* é uma rizobactéria, gram positiva em formato de bastonete, descoberta inicialmente no Brasil, no solo da Caatinga, em uma cactácea, conhecida como Mandacaru, vivendo na rizosfera dessa planta. Ela apresenta vários benefícios de interação entre a planta e o microrganismo relacionado principalmente à produção de ácido indol-3-acético (AIA), um hormônio vegetal indutor de crescimento, alongamento, divisão celular. Outros ácidos orgânicos como o ácido oxálico, malônico, cítrico e succínico são disponibilizados, reagindo diretamente por processos envolvidos no crescimento vegetal, porém os genes de interação da bactéria ainda não são totalmente conhecidos, é necessário estudos mais aprofundados (GOMES, *et al.*, 2021).

Figura 4: Imagem microscópica de *Bacillus aryabhatai*



Fonte: Park *et al.* (2017).

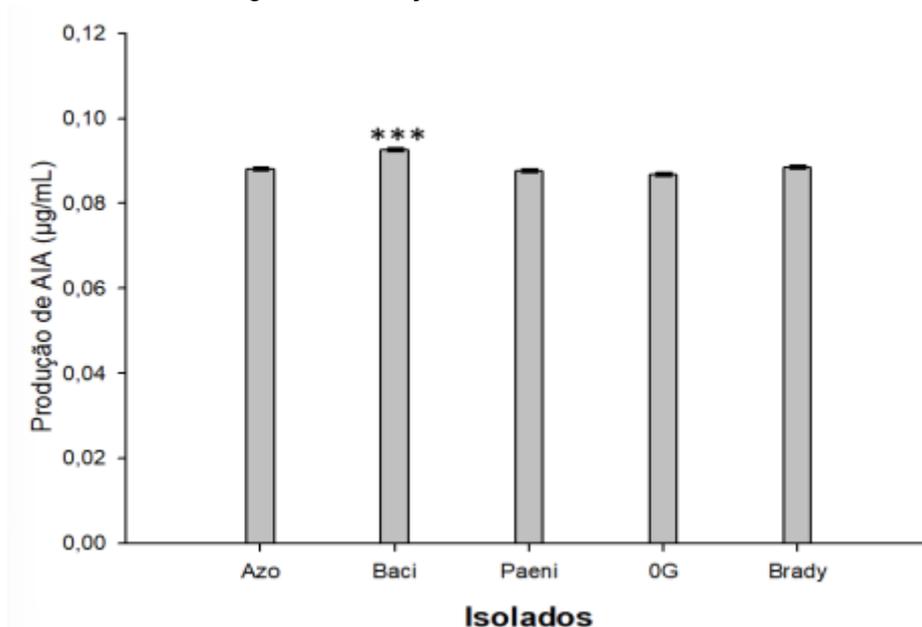
A principal empregabilidade desse microrganismo é a redução do estresse hídrico devido a produção de osmólitos compatíveis com a planta, estas substâncias são moléculas orgânicas utilizadas por esses microrganismos para mitigar estresses ambientais, como a betaína e biofilmes, além disso, a bactéria é capaz de colonizar a rizosfera da planta, e depois produzem exopolissacarídeos que hidratam as raízes (GOMES, *et al.*, 2021).

Da mesma maneira que as plantas, os microrganismos são capazes de sobreviver ao estresse hídrico com auxílio de mecanismos como exopolissacarídeos, biofilme, produção de pigmentos e osmólitos intracelulares. Os exopolissacarídeos produzidos por microrganismos são compostos que se acumulam na superfície das células e têm sido associados como o mecanismo de adaptação às condições de estresses ambientais em solos salinos, facilitando na tolerância de variação de temperatura e estresse hídrico. Estes compostos degradam substâncias tóxicas e facilitam a sobrevivência das plantas, protegendo também contra estresses ambientais (CHAVES *et al.*, 2002).

Em estudo realizado por Pires (2018), teve como objetivo caracterizar isolados de bactérias associadas ao cultivo da soja na promoção de crescimento vegetal e avaliar a capacidade de tolerância a estresse hídrico na soja com consórcios bacterianos. Os isolados utilizados foram obtidos da coleção de microrganismos da Embrapa Meio Ambiente (CMAA) em Jaguariúna, SP, caracterizados como tolerantes a estresse hídrico. Os isolados utilizados foram: *Azospirillum brasiliense* (Azo), *Bacillus aryabhattai* (Baci), *Paenibacillus* sp. (Paeni), *Bacillus* (0G) e *Bradyrhizobium japonicum* (Brady) (MORAIS, 2018).

Dentre as avaliações realizadas no experimento, na produção de ácido indol-acético (AIA), hormônio relacionada ao crescimento, o *Bacillus aryabhattai* ganhou destaque dentre os outros microrganismos, o que evidencia um dos benefícios do seu uso na agricultura (MORAIS, 2018).

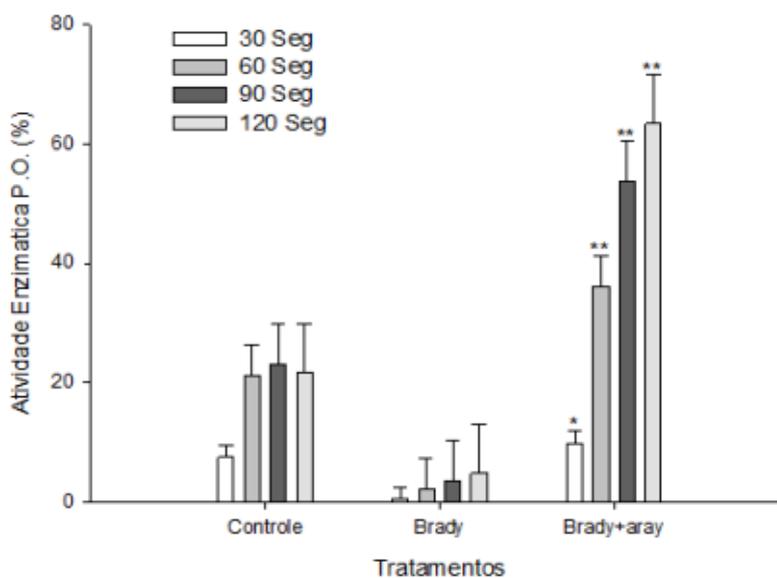
Figura 5: Produção de Ácido Indol-acético



Fonte: Morais (2018).

Além disso, um dos resultados satisfatórios foi a associação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Bacillus aryabhatai* visando uma melhor mitigação dos efeitos do estresse nas plantas de soja, sendo que um dos mecanismos que interferem na tolerância é a atividade da enzima peroxidase, que em condições de estresse apresentaram uma maior atividade, como pode-se observar na figura abaixo (MORAIS, 2018).

Figura 6: Atividade enzimática da peroxidase



Fonte: Morais (2018).

3.3 AMINOÁCIDO

O uso de aminoácidos também vem sendo um dos aliados dos produtores para a mitigação de estresses vegetais, incluindo diferentes fenômenos que vão atrapalhar os desenvolvimentos das plantas como a falta de luz, fitotoxidez de herbicidas, falta de água ou até mesmo ataque de patógenos. Com isso, a planta desencadeia ações de defesa do metabolismo secundário como formas de sobrevivência ao clima adverso (SCHAICH, 2019).

Sendo assim, os aminoácidos vão agir como uma forma de ajudar a amenizar os impactos mais superficiais das plantas, e em conjunto com outras estratégias pode ser uma maneira de mitigação dos efeitos deletérios. Mas, falando com maior profundidade sobre os aminoácidos, eles possuem a função de síntese proteica e no caminho para a produção de substâncias que regulam o metabolismo do vegetal. Cabe ressaltar que eles não vão atuar suprindo toda a necessidade de síntese protéica, mas sim no estímulo para a produção deles, ou seja, podendo ser utilizados na mitigação de estresses.

Visando exemplificar o efeito que esses podem ter no estresse hídrico, o experimento a seguir buscou avaliar se a aplicação de aminoácidos via pulverização foliar reduz os danos causados pelo estresse hídrico em diferentes níveis na cultura do feijão. A escolha da cultura do feijão foi voltada às características de o feijão ser muito cultivado no Brasil sendo muitas vezes em sequeiro e por ele ser uma cultura de pouco desenvolvimento radicular. Portanto, os aspectos avaliados do feijão foram: volume de raízes (cm^3); número de vagens por planta; número de grãos por vagem e número de grãos por planta .

Os diferentes níveis de pressão de estresse hídrico foram avaliados seguindo as seguintes medidas: Nível 1: sem estresse hídrico (tensão de 0 a 30 KPa); Nível 2: com estresse hídrico moderado (tensão de 30 a 50 KPa); Nível 3: com estresse agudo (tensão 50 a 80 KPa). Ademais, foram feitas pulverizações em 4 momentos diferentes, sendo a primeira sem a aplicação de aminoácidos, a segunda aplicação pré-estresse hídrica no florescimento aos 42 dias após o plantio (DAP), terceiro a aplicação foi no momento do estresse hídrico, em pleno florescimento (aos 49 DAP), o quarto aplicação após o estresse hídrico no final do florescimento (56 DAP) (JUNIOR, 2019). A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos:

Tabela 5: Volume de raízes, Número de vagens por planta e grãos por vagem e Número de grãos por planta na cultura do feijoeiro submetido a aplicação de aminoácidos sob estresse hídrico

Volume de raízes (cm ³)				Número de vagens por planta		
Épocas de Aplicação	Níveis de estresse			Número de vagens por planta		
	0 a 30 Kpa	30 a 50 Kpa	50 a 80 Kpa	0 a 30 Kpa	30 a 50 Kpa	50 a 80 Kpa
S.A.	53,12 cA	39,09 bB	25,01 cC	11,25 aA	11,50 aA	5,67 bB
A PRÉ. F	61,34 bA	53,12 aB	45,03 aCb	12,13 aA	11,13 aA	9,38 bA
A.F	73,20 aA	56,22 aB	50,29 aB	11,42 aA	11,75 aA	9,33 bA
APÓS. F	54,39 abA	35,02 bB	38,81 bB	10,13 aA	11,02 aA	8,89 bAB

Número de grãos por vagem			Número de grãos por planta			
Épocas de Aplicação	Níveis de estresse			Número de grãos por planta		
	0 a 30 Kpa	30 a 50 Kpa	50 a 80 Kpa	0 a 30 Kpa	30 a 50 Kpa	50 a 80 Kpa
S.A.	4,76 aA	2,97 a A	3,87 aA	162,98 aA	142,81 aA	39,38 bB
A PRÉ. F	3,79 aA	3,83 aA	3,70 aA	167,04 aA	141,60 aA	89,31 bB
A.F	4,32 Aa	3,24 aA	3,04 aA	164,33 aA	144,08 aA	72,89 bB
APÓS. F	4,08 aA	3,75 aA	40,8 aA	157,12 aA	135,94 aA	49,66 bB

Fonte: Junior (2019).

Analisando os resultados do estudo, foi perceptível como que o déficit hídrico teve grande interferência no desenvolvimento radicular do feijão, porém, com a aplicação de aminoácidos preventivos, ou seja, aplicação no primeiro momento, antes do déficit hídrico obteve melhores resultados comparado aos outros momentos. Ainda mais, a produtividade, número de vagens por planta, número de grãos produzidos por planta também sofrem redução muito forte com a falta de água, o que foi amenizado também com a aplicação pré estresses hídricos.

Portanto, pode-se concluir que, segundo experimento, o momento ideal para buscar reduzir o efeito do estresse hídrico é antecedendo o veranico, portanto, preventivamente (JUNIOR, 2019).

3.4 INSETICIDAS E O ESTRESSE HÍDRICO

Ainda sobre o controle do estresse hídrico, outra forma de mitigar é utilizando bioativadores, esses vão atuar na transcrição da planta, expressão gênica, proteínas de membrana e transporte iônico e enzimas. Atualmente contamos com uns princípios ativos conhecidos o tiametoxam, ele é inseticidas sistêmicos que muitas vezes é usado no tratamento de sementes (DIAS, 2021). O tiametoxam possui um efeito potencializador que permite com que os potenciais genéticos germinativos acelerem o crescimento das raízes, aumentando a absorção de nutrientes e água pelas raízes das plantas (ALMEIDA, 2012). Para elucidar o efeito do inseticida em ambientes com e sem água em diferentes doses, a foto a seguir exemplifica um experimento que foi semeado feijões com diferentes doses de tiametoxam com água (A) e em déficit hídrico (B).

Figura 7: Comprimento radicular (cm) de sementes de feijão, cultivar Pérola, submetidas a diferentes doses de tiametoxam (A) sem estresse hídrico.



Fonte: Almeida (2012).

Figura 8: Comprimento radicular (cm) de sementes de feijão, cultivar Pérola, submetidas a diferentes doses de tiametoxam com estresse hídrico.



Fonte: Almeida (2012).

Como podemos observar com clareza na imagem, o uso do tiametoxam proporcionou elevados acréscimos no poder de enraizamento das sementes de feijão com e sem a presença de água. As plântulas originadas do tratamento de semente com o produto apresentaram caules mais espessos, maior área foliar, maior número de estruturas reprodutivas e desenvolvimento superior aos das plantas formadas de sementes sem tratamento (ALMEIDA, 2012).

Ademais, conclui-se que as doses que surtiram maior efeito foram a de 2 a 4 mL do produto por Kg^{-1} de semente que correspondem a 0,07 a 0,14g de ingrediente ativo de tiametoxam por quilo de semente (ALMEIDA, 2012).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, a agricultura é dependente de uma gama de fatores para que se obtenha bom rendimento ao final da safra, dentre eles tem-se os fatores climáticos, porém estes fogem do controle do homem, pensando nisso o uso de técnicas agronômicas é interessante para mitigar os impactos negativos do clima. Pensando no principal interesse dos produtores de minimizar as perdas e aumentar a produtividade, algumas estratégias podem ser adotadas.

Com destaque para o estresse hídrico, alguns exemplos de utilização para mitigação dos danos que foram abordados no trabalho foram: extrato de algas, uso de *Bacillus aryabhatai*, aminoácidos e inseticidas, este com destaque para o tratamento de sementes.

O uso de extrato de alga, em especial da *Ascophyllum nodosum*, está crescendo e sendo mais aceito pelos produtores. Os componentes principais das algas são citocininas, auxinas, ácido abscísico, giberelinas, betaínas e alginatos, as plantas em déficit hídrico buscam o equilíbrio através do acúmulo de osmólitos que ajustam as condições de estresse. O uso de *Bacillus aryabhatai* apresenta benefícios relacionados com a produção principalmente de AIA, hormônio indutor de crescimento e o principal osmólito relacionado é a betaína.

Os aminoácidos estão em crescente no mercado e também é um dos aliados na mitigação de estresses vegetais, sua aplicação induz a planta a realizar ações de defesa do metabolismo secundário, atuando diretamente na síntese proteica e em substâncias que regulam o metabolismo vegetal. Outro método é com o uso de bioativadores, um exemplo é o princípio ativo tiametoxam, um inseticida sistêmico utilizado em tratamento de sementes, capaz de potencializar a germinação, acelerar o crescimento das raízes, aumentando a absorção pelas raízes, melhorando condições de estresses na planta também. Com isso, é interessante o uso desses métodos como auxiliares da mitigação dos estresses e aumento da produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. **TRATAMENTO DE SEMENTES DE FEIJÃO COM TIAMETOXAM**. 2012. 141 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

AZEVEDO, B. M. DE. et al. Agropecuária Técnica – **Agropecuária Técnica**, v. 32, p. 152– 159, 2011.

CARLIN, S. D.; SANTOS, D. M. M. **Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, n.9, p. 1106-1113, 2009

CHAVES, M. M., *et al.* **How plants cope with water stress in the Field. Photosynthesis and Growth**. Annals of Botany, London, v. 89, p. 907-916, 2002.

CRAIGIE, J.S. **Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture**. Journal of Applied Phycology, Dordrecht, v. 23, p. 371-393, 2011.

DIAS, A. **USO DE BIOESTIMULANTES E BIOATIVADOR NA AGRICULTURA**. 2021. 61 f. Tese (Bacharelado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Uniages Centro Universitário, Paripiranga, 2021.

ESTEVES, G. **POLIAMINAS NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS DE MILHO**. 2022. 61 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2022.

FONTES N. D. T. **Extrato de *Ascophyllum nodosum* (L.) Le sob diferentes doses na cultura da soja**. 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Uenp, Bandeirantes, 2017.

GOMES, D. H. *et al.* **BACILLUS ARYABHATTAI NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE A SECA: UMA REVISÃO DE LITERATURA**. 2021. Tese (Doutorado) - Programa de

Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura da Universidade Paranaense - Unipar.

JUNIOR, J. **UTILIZAÇÃO DE AMINOÁCIDOS APLICADOS VIA FOLIAR NO MANEJO DO ESTRESSE HÍDRICO NA CULTURA DO FEIJÃO**. 2019. 62 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Agrônômicas, Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, 2019.

RAYORATH, P. *et al.* **Rapid bioassays to evaluate the plant growth promoting activity of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. using a model plant, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.** Journal of Applied Phycology, Dordrecht, v. 20, p. 423-429, 2008b.

KHAN, W. *et al.* **Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development.** Journal of Plant Growth Regulation, New York, v. 28, p. 386-399, 2009.

MACKINNON, S.L. *et al.* **Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts.** Journal of Applied Phycology, Heidelberg, v. 22, p. 489-494, 2010.

MAIS SOJA. **Déficit hídrico na cultura da soja**. 2019. Disponível em <https://maissoja.com.br/déficit-hídrico-na-cultura-da-soja/>. > Acesso em 20 de nov. 2023.

MORAIS, J. F. A de. **Avaliação de consórcios bacterianos para mitigar os efeitos do estresse hídrico em cultura de soja**. 2017. 40 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2017.

PIMENTEL, C. **A RELAÇÃO DA PLANTA COM A ÁGUA**. Rio de Janeiro: Ena, 2004.

ROSA, V. do R.. **Ação de bioestimulantes na mitigação por deficiência hídrica em soja.** 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/8becf60d-ebf0-446a-b2ab-6fd1612c0c64/content>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SCHAICH. **Estresse vegetal e o uso de aminoácidos.**: Physiotac Consultoria, 2019. P&B.

Taiz, L., Zeiger, E. I. M. Møller. & A. Murphy. (2017). **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6ª edição. Artmed Editora.