

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MAYARA FÁVERO COTRIM

**TRATAMENTOS DE SEMENTES EM SOJA E A INFLUÊNCIA EM CONDIÇÕES
DE DÉFICE HÍDRICO**

Ilha Solteira
2023



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MAYARA FÁVERO COTRIM

**TRATAMENTOS DE SEMENTES EM SOJA E A INFLUÊNCIA EM CONDIÇÕES
DE DÉFICE HÍDRICO**

Tese apresentada à Universidade Estadual "Júlio Mesquita Filho" (UNESP) como parte dos requisitos para obtenção do título de doutora em Agronomia, especialidade em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Edson Lazarini

Ilha Solteira
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C845t Cotrim, Mayara Fávero.
Tratamentos de sementes em soja e a influência em condições de
défice hídrico / Mayara Fávero Cotrim. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
73 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2023

Orientador: Edson Lazarini
Inclui bibliografia

1. Produtividade. 2. Desempenho de plântulas. 3. Nutrientes.


Raiane da Silva Santos

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Tratamento de sementes em soja e a influência em condições de déficit hídrico

AUTORA: MAYARA FÁVERO COTRIM

ORIENTADOR: EDSON LAZARINI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia, área:
Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDSON LAZARINI (Participação Presencial)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SA (Participação Presencial)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dra. PÂMELA GOMES NAKADA FREITAS (Participação Virtual)
Engenharia Agrônoma / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP

Prof. Dra. LARISSA PEREIRA RIBEIRO TEODORO (Participação Virtual)
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS

Prof. Dra. GISELE HERBST VAZQUEZ (Participação Virtual)
Depto de Produção Vegetal (Agronomia) / Universidade Brasil - UB

Ilha Solteira, 14 de abril de 2023

DEDICATÓRIA

Esta dedicatória é para todos os interessados em tornar o agronegócio um sistema racional, com intuito de atender a demanda por alimentos, com equilíbrio e conservação ambiental, assim como eu. Espero que as ideias expostas neste trabalho ajudem a conhecer um pouco mais sobre o tema e responder possíveis dúvidas.

“E ele, assentando-se, chamou os doze e disse-lhes: Se alguém quiser ser o primeiro, será o derradeiro de todos e o servo de todos.”

(Marcos, cap.9, vers 35-40)

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus e a trindade divina pela saúde e sabedoria.

Nesta tese, teve a colaboração de inúmeras pessoas e para não cometer injustiças prefiro expressar minha satisfação as instituições como um todo, na qual me ajudaram na elaboração desta pesquisa.

Agradeço a **Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), campus de Chapadão do Sul-MS** por ceder a área onde o experimento foi instalado, bem como aos alunos da graduação de Agronomia / Engenharia Florestal que ajudaram na execução e avaliação.

Gratidão a **Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus FEIS**, por todo conhecimento adquirido, salvo a exceção e especialmente aos meus orientadores Professores Doutores *Marco Eustáquio de Sá* e *Edson Lazarini*.

Agradeço a empresa privada de Pesquisa e Consultoria **Desafios Agro Ltda** por ceder todos os maquinários, insumos e manejo fitossanitário durante o período experimental.

À todos (as) aqueles (as) que me ajudaram direta ou indiretamente na execução do experimento durante esses 3 anos de doutorado, sejam nas avaliações ou nas aplicações, meu muito obrigada.

Por fim, agradeço ao meu marido e companheiro de vida Professor Doutor Ricardo Gava por toda paciência, amor e atenção. Também a minha filha Sara Cotrim Gava que acompanhou a escrita desta tese em sua formação na minha barriga e posteriormente acompanhando a mamãe na escrita científica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A interação entre tratamentos de sementes e o metabolismo devido ao estresse hídrico necessita ser melhor compreendida na cultura da soja. Sob a hipótese de que sementes tratadas atenuam os efeitos do estresse hídrico em fase inicial do estabelecimento de plantas e influenciam os componentes de produção e a qualidade das sementes, objetivou-se avaliar o desempenho de sementes de soja semeadas com diferentes tratamentos de sementes, cultivadas a campo em ambiente com e sem irrigação. O delineamento foi em blocos casualizados em esquema fatorial, com dois cultivares de soja (Foco IPRO e Aporé IPRO), seis tratamentos de sementes e dois ambientes de cultivo (irrigado e sequeiro), repetidos em cinco blocos. Foram avaliados a campo o estande inicial de plântulas, assim como a velocidade de estabelecimento de plântulas. Posteriormente, foram avaliados os componentes de produção como a altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, número de grãos, número de vagens, massa de cem grãos e produtividade. Em laboratório foram avaliados o potencial fisiológico mensurados através dos testes de germinação, primeira contagem de germinação, emergência, índice de velocidade de emergência, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado, comprimento e massa seca de plântulas e tetrazólio. A partir dos resultados obtidos afirma-se que as condições de umidade do solo em condições adequadas permitem o rápido estabelecimento de plantas sem grandes oscilações comportamentais como o ocorrido no ambiente de sequeiro. A suplementação de água em decorrência de déficit hídrico, incrementa todos os componentes de produção, independente da característica genética da cultivar. Os tratamentos a base de *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* e a base de CoMo, P₂O₅, N e K₂O são os que apresentam maiores impactos na produtividade. A utilização de bioestimulantes promove maior resistência ao déficit hídrico, além de proporcionar proteção à planta, o que demonstra capacidade de suporte em períodos de déficit hídrico em início de cultivo. O desempenho e metabolismo das sementes variam entre cultivares, embora o ambiente, manejo e as condições de cultivo também tenham influência na tomada de decisão de produção de sementes de qualidade.

Palavras-chave: produtividade; desempenho de plântulas; nutrientes

ABSTRACT

The interaction between different chemical treatments of seeds and the relationship with water stress metabolism needs to be better understood in the soybean crop. Under the hypothesis that treated seeds attenuate the effects of water stress in the initial phase of plant establishment and influence the production components and seed quality, the objective was to evaluate the performance of soybean seeds sown with different treatments of chemical seeds. and biological, cultivated in the field in an environment with and without irrigation. The design was in randomized blocks in a factorial scheme, with two soybean cultivars (Foco IPRO and Aporé IPRO) and six seed treatments cultivated in two cultivation environments (irrigated and rainfed), replications in five blocks. In the field, the initial seedling stand was evaluated, followed by plant height, height of insertion of the first pod, number of grains, number of pods, weight of one hundred grains and productivity. In the laboratory, physiological tests of germination, first germination count, emergence, emergence speed index, electrical conductivity, accelerated aging, length and dry mass of seedlings and tetrazolium were evaluated. Based on the results obtained, it can be stated that soil moisture conditions in adequate conditions allow the rapid establishment of plants without large behavioral oscillations as occurred in the rainfed environment. Under irrigated conditions, there is better use and increment in all evaluated production components, regardless of the genetic trait of the cultivar. The treatments based on *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* and based on CoMo, P₂O₅, N and K₂O are the ones that present the greatest productivity stimuli, regardless of the cultivar used. However, when evaluating the physiological parameters for the production of quality seeds, contradictory results were found. The use of biostimulants promotes greater resistance to water deficit, in addition to providing protection to the plant, which demonstrates support capacity in periods of water deficit at the beginning of cultivation. The performance and metabolism of seeds vary between cultivars, although the environment, management and growing conditions have also influenced the decision to produce quality seeds.

Keywords: yield; initial establishment; nutrients

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Revisão de literatura	10
1.1.1	<i>Cultura da soja: aspectos econômicos</i>	10
1.1.2	<i>Características fisiológicas e ciclo da cultura</i>	11
1.1.3	<i>Desafios na produção de soja na safra 2020/21</i>	12
1.1.4	<i>Tratamento de sementes</i>	15
1.1.5	<i>Estresse hídrico e a relação nutricional</i>	16
	REFERÊNCIAS	19
2	CAPÍTULO 1: DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES DE SOJA NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO	22
2.1	Introdução	23
2.2	Material e métodos	24
2.2.1	<i>Localização experimental</i>	24
2.2.2	<i>Instalação do experimento</i>	25
2.2.3	<i>Preparo do solo</i>	26
2.2.4	<i>Tratamento de sementes</i>	26
2.2.5	<i>Manejo da irrigação</i>	28
2.2.6	<i>Manejo fitossanitário</i>	30
2.2.7	<i>Avaliações biométricas</i>	31
2.2.8	<i>Estatística experimental</i>	31
2.3	Resultados e Discussão	32
2.3.1	<i>Dados climáticos</i>	32
2.3.2	<i>Análise de variância</i>	32
2.3.3	<i>Componentes de produção</i>	33
2.4	Conclusão	41
	REFERÊNCIAS	42
3	CAPÍTULO 2 - TRATAMENTO DE SEMENTES: ATENUAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO E POTENCIAL FISIOLÓGICO EM SOJA	47
3.1	Introdução	48
3.2	Material e Métodos	49
3.2.1	<i>Design experimental</i>	49
3.2.2	<i>Manejo da irrigação</i>	51

3.2.3	<i>Manejo fitossanitário a campo</i>	53
3.2.4	<i>Avaliações fisiológicas de germinação e vigor</i>	54
3.2.5	<i>Estatística experimental</i>	56
3.3	Resultados e Discussão	56
3.4	Conclusão	71
	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

Considerada um dos produtos agrícolas de maior importância socioeconômica mundial, a soja demanda conhecimentos técnicos e pesquisas aplicadas para garantia de altas produtividades. A utilização de sementes de qualidade é caracterizada como um dos principais insumos para o sucesso e segurança da implantação da lavoura a campo.

A safra brasileira de soja 2020/2021 na região Centro-Oeste, uma das principais regiões de cultivo da oleaginosa, relatou condições climáticas desfavoráveis, principalmente nos meses de setembro e outubro, com o atraso no início das chuvas e subsequentemente no plantio (CONAB, 2021). Diante deste cenário, mesmo os sojicultores que não possuíam o auxílio e segurança da irrigação decidiram arriscar ao realizar a semeadura antecipada à chuva, mesmo sem haver condição ideal de umidade do solo para o plantio, uma vez que esse atraso na colheita poderia interferir no plantio da segunda safra.

De tal maneira, a utilização de práticas de manejo fitossanitárias aliadas a tecnologia de sementes em condições de baixa disponibilidade hídrica tornou-se fundamental para o estabelecimento inicial e uniformidade da população de plantas. Uma forma de minimizar o estresse hídrico inicial é a utilização de produtos compostos por micronutrientes, que apesar de serem requeridos em menores quantidades pelas plantas, contribuem direta e indiretamente em diversas rotas metabólicas e atuação em estruturas celulares.

Várias substâncias sintéticas a base de nutrientes demonstraram capacidade de mitigar os estresses hídricos causados pela falta de chuvas. Por exemplo, o Zinco, que controla as concentrações internas de espécies reativas de oxigênio, o que podem acarretar em dificuldade em expressar o potencial genético (MARSCHNER, 2012; CHOUDHARY *et al.*, 2019). O Níquel (Ni) que também atua na tolerância de plantas a incidência de fungos (FAGAN *et al.*, 2016).

Outra alternativa sustentável de promover a eficiência das plantas na absorção de nutrientes do solo é a utilização de bactérias promotoras de crescimento. Bactérias do gênero *Bacillus* podem reduzir a dependência de fertilizantes minerais, uma vez que, apresentam capacidade de solubilização de fosfatos, o que leva a maior mobilização de Fósforo (P) para as plantas, especialmente de P indisponível em solos com baixa fertilidade (GOMES *et al.*, 2014). A inoculação com bactérias promotoras

de crescimento, como descrito por Tavanti *et al.*, (2020), pode gerar incrementos de produtividade e qualidade de sementes em diversas culturas, sendo que a inoculação com *B. subtilis* proporciona aumento da produtividade de soja, além de melhorar a qualidade das sementes, influenciando positivamente na concentração de proteínas de reservas, porcentagem de emergência e vigor das sementes.

Aplicações de produtos enraizadores a base de nutrientes, bioestimulantes, hormônios e extrato de algas são tecnologias que vêm sendo utilizados, todavia pesquisas associadas ao estresse hídrico tornam-se fundamentais. Portanto, sob a hipótese de que sementes tratadas atenuam os efeitos do estresse hídrico em fase inicial do estabelecimento de plantas e influenciam os componentes de produção, objetivou-se avaliar o desempenho de sementes de soja com diferentes tratamentos de sementes químicos e biológicos, cultivadas a campo em ambiente com e sem irrigação.

1.1 Revisão de literatura

1.1.1 Cultura da soja: aspectos econômicos

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é pertencente a família Fabaceae (leguminosas) de origem asiática no leste da China, com uso na alimentação animal e humana, como excelente fonte de proteína. Foi agronomicamente adaptada no continente americano, onde é largamente produzida.

Os três maiores produtores mundiais de soja são Brasil, Estados Unidos e Argentina e são responsáveis por 82,4% da produção mundial (CONAB, 2021). Os ganhos expressivos em produtividade em áreas brasileiras foi devido ao emprego de tecnologias adaptadas às condições tropicais, o que permitiu o desenvolvimento de variedades adaptadas e precoces, oriundas de avanços nas pesquisas de melhoramento genético.

O Brasil é uma das maiores potências agrícolas do planeta, o que mantém o país como maior produtor e exportador mundial da oleaginosa, com um aumento de 50,8 milhões de toneladas de grãos em 1980 para 257 milhões em 2020, chegando a ser cinco vezes maior (CONAB, 2021). Assim como na produção de grãos, a sojicultura é a que ocupa maior porcentagem de área também nos campos de produção de sementes, totalizando área de 2,5 milhões de hectares, com projeção

para aumento na produção até 2030 estimada em 30% (Figura 01) conforme o MAPA (2020).

Figura 1 - Projeção de aumento em produção e área plantada de soja no Brasil.



Fonte: (MAPA, 2020).

Os fatores que contribuem para o sucesso da implantação da lavoura são o uso de sementes de alta qualidade fisiológica, que envolvem a interação entre atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (MARCOS FILHO, 2015). Além da tecnologia de sementes, o sojicultor necessita de práticas de manejo que visam proteger e melhorar o desempenho agrônomico da produção, como a utilização do tratamento de sementes com diversos produtos para a finalidade de proteção contra a ação de pragas iniciais e doenças. Com destaque também para o uso de nutrientes minerais, incorporados via semente, que podem beneficiar o desempenho inicial (CÂMARA, 2015).

1.1.2 Características fisiológicas e ciclo da cultura

O hábito de crescimento dos cultivares utilizados no Brasil podem ser classificados como: determinado, semideterminado e indeterminado. Mundstock e Thomas (2005) relataram que cultivares de crescimento indeterminado apresentam caules terminados por racemos florais e, após o florescimento, ainda mantém seu desenvolvimento vegetativo, o que pode acarretar no desequilíbrio de nutrientes pela

planta, uma vez que há competição entre os tecidos vegetativos e reprodutivos em desenvolvimento. Os mesmos autores citaram que os cultivares de ciclo semideterminado, apresentaram menor desenvolvimento vegetativo após o florescimento, com menores exigências nutricionais. Já os cultivares de crescimento determinado, demonstram menor desenvolvimento vegetativo após a mudança para a fase reprodutiva.

Vale ressaltar que o ciclo e sua duração são determinados por diversos fatores, dentre eles a disponibilidade de água, temperatura e fotoperíodo crítico, o que pode ser aumentado ou reduzido em resposta aos estresses (FERNEDA *et al.*, 2016). Logo, para que a cultura atinja altas produtividades é necessária uma faixa ideal para expressar o seu desenvolvimento máximo.

Com a crescente expansão da soja no Brasil e o alto valor econômico mundial, se faz necessário buscar cultivares cada vez mais tolerantes a estresses e que respondam de forma positiva a adição de compostos químicos ou biológicos, no tratamento de sementes, que podem auxiliar na tolerância às condições adversas de campo, principalmente no estabelecimento de plântulas e formação do estande inicial.

1.1.3 Desafios na produção de soja na safra 2020/21

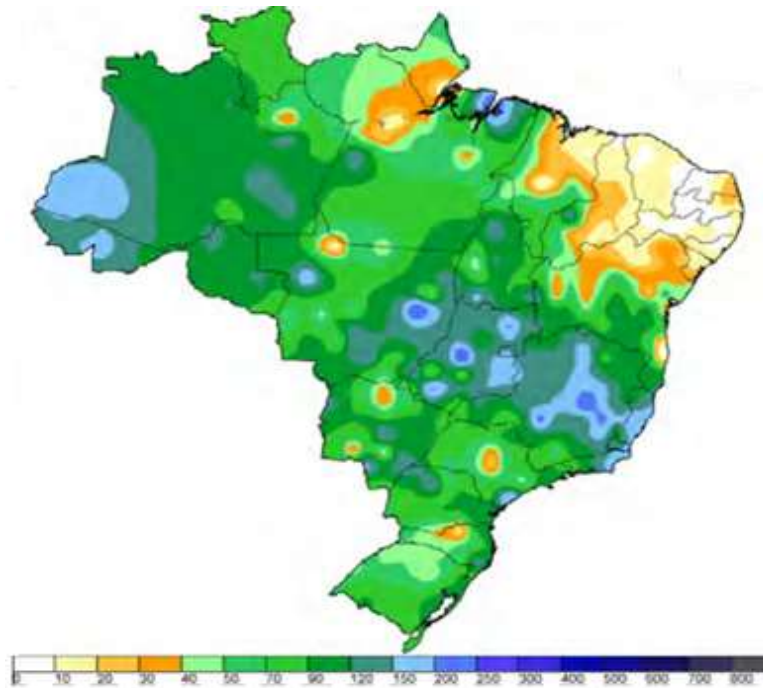
A safra de soja 2020/2021 evidenciou condições climáticas não favoráveis, principalmente nos meses de setembro e outubro, o que atrasou o início das chuvas em todo o país. Diante deste cenário, muitos sojicultores da região de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, que não possuíam o auxílio e segurança da irrigação decidiram arriscar ao realizar a semeadura precoce antecedendo o início das chuvas, mesmo sem haver condição ideal para o plantio, uma vez que o atraso no plantio poderia atrasar a cultura sucessora, conforme observado pela autora deste estudo.

Através da Figura 2, foi possível verificar que na região Centro-Oeste o acumulado de chuvas no final do mês de outubro e início de novembro demonstrou variabilidade, o que mudou conforme a localidade. Em Mato Grosso do Sul, os maiores volumes observados foram na metade sul do estado, entre 80 mm e 200 mm, enquanto nas localidades mais ao norte, os totais variaram entre 40 mm e 90 mm (CONAB, 2021). Para produtividade considerável, a necessidade hídrica para o desenvolvimento da cultura da soja é em torno de 450 a 850 mm por ciclo total, com

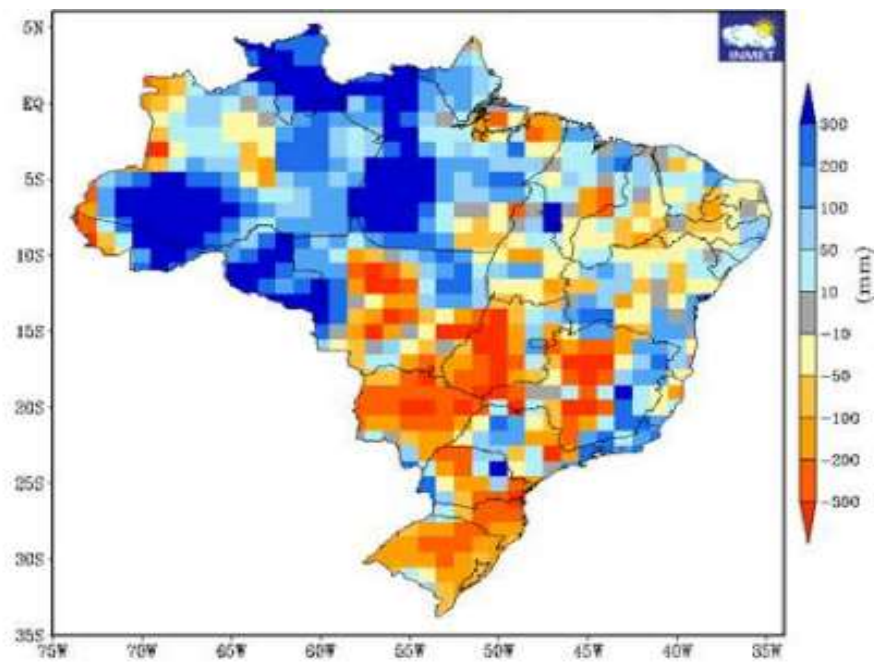
eficiência na utilização da água para a produção de grãos variando de 0,4 a 0,7 kg m³ (EMBRAPA, 2011).

Figura 2 - Mapa brasileiro de precipitação acumulada em 31 outubro (a) e 31 novembro (b)

a.



b.



Fonte: Inmet (1992) e Conab (2020).

A partir destes acontecimentos e para que não houvesse atraso na cultura subsequente, os plantios ocorreram em condições desfavoráveis de umidade do solo. Estudos relataram que sementes tratadas com fungicidas, demonstraram efeitos benéficos quando expostas em condições desfavoráveis de umidade do solo, o que permite inferir que houve prolongamento da sobrevivência das sementes em solo seco, enquanto as condições de umidade não eram favoráveis (PESKE, 2020).

Uma vez semeado, para desencadear o processo germinativo é necessário que haja disponibilidade de água satisfatória, temperatura adequada, oxigênio e condição de solo favorável para que a semente ative o processo metabólico. Desta forma, sementes de soja quando semeadas em solo necessitam absorver água até 50-55% (MARCOS FILHO, 2015). O mesmo autor citou que a tendência de absorção de água pelas sementes segue uma curva clássica trifásica até o ponto em que o nível de hidratação para a germinação é alcançado. Durante o estágio inicial, tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais para a obtenção de correta uniformidade na população de plantas.

Uma vez que a umidade do solo é adequada, a velocidade de absorção inicial é rápida e posteriormente diminui, devido a pressão das paredes celulares. A semente necessita absorver, no mínimo 50% de seu peso em água para assegurar a germinação. Nesta fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total de água disponível, nem ser inferior a 50% (EMBRAPA, 2011). Vale ressaltar que uma das vias de absorção do nutriente aplicado via tratamento de sementes ocorre durante a germinação, no processo de embebição, com posterior transporte para a parte aérea das plântulas.

A disponibilidade e o movimento de água no solo são cruciais para a germinação das sementes e a emergência das plantas. Estes fatores são influenciados em grande parte, pela umidade e textura do solo, condutividade hidráulica e área de contato solo-semente. Portanto, conhecimentos sobre a qualidade inicial do lote de sementes, assim como entender sobre os cultivares responsivos as condições de estresse hídrico são importantes, além, de estudar o potencial de proteção e segurança do tratamento de sementes para adequado estabelecimento de plantas a campo.

1.1.4 Tratamento de sementes

Para adequado estabelecimento e estande uniforme de plantas torna-se necessário que as sementes sejam oriundas de campos de sementes com procedência (certificadas), que contenham a garantia de alta taxa de germinação, manutenção da qualidade genética, livre de fungos e patógenos. Todavia, para o sucesso e segurança na implantação da lavoura no desenvolvimento inicial recomenda-se a utilização de produtos compostos por substâncias que protegem, mantém a característica genética e promovem a germinação. Estas substâncias abrangem os produtos compostos por defensivos (fungicidas e inseticidas), biológicos, inoculantes, estimulantes, hormônios, micronutrientes, *Rhizobium* ou condicionamento osmótico, denominados conforme a literatura de tratamentos funcionais (MENTEN; MORAES, 2010).

Existem diversos conceitos sobre o tratamento de sementes, definidos como a aplicação de produtos químicos, biológicos e agentes físicos diretamente nas sementes de maneira isolada ou combinada, ou ainda, o manejo das sementes por meio de processos que possibilitam a melhoria ou garantia do valor cultural para fins comerciais (MACHADO *et al.*, 2006). O que levou em consideração o tratamento sanitário, com o controle de pragas e doenças, tratamento funcional, cuja finalidade é garantir o desenvolvimento das sementes com produtos ou processos que não apresentam propriedades biocidas (polímeros, fito hormônios, corantes ou condicionamento).

Os principais ingredientes ativos para controle de insetos sugadores utilizados no tratamento de sementes no Brasil são os inseticidas fipronil, tiametoxam, imidacloprido, clotianidina, tiodicarbe e os fungicidas fludioxonil e tiofanato-metílico (NUNES, 2016). Porém, nas sementes são aplicadas diferentes combinações de produtos também com característica fungicida com intuito de proteger contra fungos e patógenos do solo advindos do campo de sementes ou do período de armazenamento. Uma vez que o custo com aplicação de fungicida e inseticidas via sementes é menor em comparação com a aplicação via sulco de plantio ou por pulverização, em função da redução da quantidade de produto químico.

A eficiência do tratamento de sementes, depende do vigor da semente, assim como os processos adequados de aplicação e qualidade sanitária inicial (QUEIROGA *et al.*, 2012). Logo, a qualidade das sementes é essencial para o estabelecimento de

lavouras com alto potencial produtivo. De tal maneira, condições climáticas adversas, como o estresse hídrico, no início do desenvolvimento da cultura da soja, podem comprometer a germinação e emergência de plantas, pois a baixa disponibilidade de água no solo influencia na deterioração.

1.1.5 Estresse hídrico e a relação nutricional

A definição de estresse consiste em qualquer fator ambiental que retira energia dos organismos, restringe o crescimento e a reprodução, ou perturba o equilíbrio de um sistema, mobilizando seus recursos/reservas e aumentando seus gastos energéticos (LEVITT, 1980). Em decorrência do estresse hídrico na fisiologia da soja, ocorrem diversas alterações tanto o nível metabólico, quanto morfológico, de modo a promover um ajuste da planta ao ambiente adverso. Com isso, é de grande importância estudar a complexidade das respostas que as plantas têm à resistência ou suscetibilidade a seca, pois depende principalmente da característica do genótipo e do estágio fenológico de desenvolvimento.

O estabelecimento de estande adequado de plantas depende da adoção de medidas que garantem o rápido desenvolvimento inicial, viabilizando a continuidade do desenvolvimento da planta de soja e resguardando seu potencial produtivo. Para cada tipo de estresse, cada espécie tem um limite de tolerância, a medida que as alterações são intensivamente mais profundas e permanentes. Smallwood (1999) afirmou que seu efeito pode oscilar entre genótipos de uma mesma espécie e entre estádios fenológicos.

A tolerância das plantas em relação ao déficit hídrico, tem sido associada ao acúmulo de enzimas na parte aérea, atuando como um regulador de mudanças fisiológicas nas plantas. Logo, há a diminuição do potencial hídrico celular, o que leva conseqüentemente, ao fechamento dos estômatos e ao desenvolvimento de processos oxidativos, por meio da formação das espécies reativas de oxigênio (EROs), removidas do sistema por enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD) (MENECALE, 2012).

O oxigênio é caracterizado como o elemento mais abundante na crosta terrestre e nos organismos vivos, pois compreende 89% da massa da água. Está disponível na atmosfera na forma O₂. Logo, esta molécula tem dois elétrons desemparelhados, o que a torna apta a receber elétrons, o que a caracteriza como

radical livre possibilitando a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs). Dentre as principais EROs produzidas, citou-se o oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$), radical hidroxila (OH), radical superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e óxido nítrico (NO), que são causadores de estresse oxidativo (DEMIDCHIK, 2015).

Em condições ambientais desfavoráveis ocasionados pelo déficit hídrico, altas ou baixas temperaturas, alta radiação, entre outros, há o aumento do nível de produção de EROs, superior a capacidade do metabolismo antioxidante. Para o normal funcionamento e desenvolvimento das plantas, a produção de EROs necessita ser baixa (entre $240 \mu\text{M s}^{-1} \text{O}_2^-$ e $0,5 \mu\text{M H}_2\text{O}_2$ no cloroplasto), pois necessita que o mecanismo antioxidante das células funcione adequadamente impedindo que ocorra danos oxidativos nas células ou faz com que sejam mínimos. Mittler (2017) relatou que em níveis altos de EROs, há o surgimento de danos nas células, o que pode levar a morte dos tecidos pela peroxidação de lipídeos da membrana, oxidação das proteínas, inibição da atividade de enzimas e danos ao material genético (DNA e RNA).

Pode ocorrer uma série de respostas causada pela seca nas plantas, podendo estas ser de ordem fisiológica, bioquímica, morfológica e molecular (WANG *et al.*, 2006), por alterações em seu metabolismo, crescimento e desenvolvimento (BARTELS; SUNKARS, 2005). Quando a regulação por meios dessas respostas é inadequada, e o metabolismo não se ajusta para a manutenção das funções, podem ocorrer danos e eventual morte (LAWLOR, 2002).

Uma forma de minimizar o estresse hídrico é a utilização de produtos compostos por micronutrientes, que apesar de serem requeridos em menores quantidades pelas plantas, são importantes pois contribuem direta e indiretamente em diversas rotas metabólicas e atuação em estruturas celulares. Como por exemplo o Níquel (Ni), também utilizado como atenuador do estresse em plantas, identificado como componente de grande número de enzimas em plantas como: glixalases, deformilase peptídeos, metil-CoM redutase e uréases e algumas isoformas da superóxido dismutase e hidrogenases (KOPPER; KRONECK, 2007). Além de estar relacionado a tolerância de plantas a incidência de fungos, ligado a enzima Acetil-CoA, que atua na síntese de metabolitos secundários precursores de fitoalexinas (FAGAN *et al.*, 2016).

Outro micronutriente de destaque utilizado no tratamento de sementes é o Molibdênio (Mo), requerido em pequenas quantidades pelos vegetais, com papel na

redutase do nitrato e transferência de elétrons do Mo para o nitrito, para que ocorra a redução de NO^3 a NO^2 (MALAVOLTA, 2006). Na nitrogenase, o Mo está presente na forma Fe-Mo-proteína, que ao receber elétrons da Fe proteína, se liga à N^2 , e na presença desses elétrons, mais H advindos do processo de respiração via metabolismo oxidativo, juntamente com ATPs ocasionam a quebra da ligação tripla N^2 atmosférico resultando em NH^3+H^2 , sendo assim assimilado pela planta (PRADO, 2008). Logo, torna-se importante o estudo sobre interação dos componentes de produção e a influência nutricional tanto nos estádios iniciais das culturas, bem como na produtividade para avaliar os incrementos gerados.

REFERÊNCIAS

BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and salt tolerance in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, New York, v. 24, n. 1, p. 23-58, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano ABC**. Brasília, DF, 2022. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>. Acesso em: 15 out. 2022.

CÂMARA, G. M. S. Preparo de solo e plantio. *In*: CÂMARA, G. M. S. **Soja, do plantio a colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. p. 66-109.

CHOUDHARY, R. C.; KUMARASWAMY, R. V.; KUMARI, S.; SHARMA, S. S.; PAL, A.; RALIYA, R.; BISWAS, P.; SAHARAN, V. Zinc encapsulated chitosan nanoparticle to promote maize crop yield. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v.127, p.126-135, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2020/2021**. Brasília, DF, 2021. v. 8, n. 2. 84 p. (2º levantamento).

DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v.109, p. 212-228, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Potencial de microrganismos para a solubilização de fosfatos de rocha**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 29 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 97).

FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; SOAREZ, L. H.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia vegetal: metabolismo e nutrição mineral**. São Paulo: Andrei, 2016. 305 p.

FERNEDA, B. G.; BOEING, E.; SILVA, A. C.; SOUZA, A. P.; SILVA, S. G.; MARTIM, C. C.; PALADINO, F. G.; TANAKA, A. A. Graus dias na estimativa das taxas de crescimento de quatro cultivares de soja em diferentes épocas de plantio. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, [s. l.], v. 4, n. 3., p. 121-127, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. **Normais Climatológicas (1961/1990)**. Brasília, DF, 1992.

KOPPER, H.; KRONECK, P. M. H. Nickel in the environment and its role in the metabolismo of plants and cyanobacteria. *In*: SIGEL, A.; SIGEL, H.; SIGEL, R.K.O. (ed.). **Metal ions in live sciences**. Chichester: Wiley, 2007. p. 31-62.

LAWLOR, D. W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, n. 7, p. 871-885, 2002.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. New York: Academic Press, 1980. 497 p.

MACHADO, J. C.; WAQUI, J. M.; SANTOS, J. P.; REICHENBACK, J. W. Tratamentos de sementes no controle de fitopatógenos e pragas. **Informe Agropecuário**, Novo Horizonte, v. 27, n. 232, p. 76-87, 2006.

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

MARSCHNER, P. **Marchner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. New York: Academic, 2012. 651 p.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes e plantas cultivadas**. 2 ed. Abrates, Londrina, 2015. 660 p.

MENEGALE, M. L. C. **Resposta de plantas de cobertura a doses de silício e estresse hídrico**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/86417/menegale_mlc_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 28 nov. 2021.

MENTEN, J. O.; MORAES, M. H. D. Tratamento de sementes: histórico, tipos, características e benefício. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 20, n. 3, 2010.

MITTLER, R. ROS are good. **Trends Plant Sci**, v.22, p.11–19, 2017. doi: 10.1016/j.tplants.2016.08.002.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja**: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 31 p.

NUNES, J. C. S. Tratamento de sementes de soja como um processo industrial no Brasil. **Seed News**, Pelotas, n.1, jan./fev., 2016.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. p. 283-292.

PESKE, S. T. Semeando no pó: oportunidade ou risco? *In: Revista Seed News, a revista internacional de sementes*, Pelotas, Ano 24, p. 31, 2020.

QUEIROGA, M. F. C. *et al.* Aplicação de óleo no controle de *Zabrotes subfasciatus* e na germinação de *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, jul. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000700011&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 27 nov. 2021.

SAMALLWOOD, M. F.; CALVERT, C. M.; BOWLES, D. J. **Plant responses to environmental stress**. New York: Bios Scientific Publishers Limited, 1999. 224 p.

TAVANTI, T. R.; TAVANTI, R. F. R.; GALINDO, F. S.; SIMÕES, I.; DAMETO, L. S.; SÁ, M. E. Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n.1, p. 65-71, 2020.

WANG, L.; ZHANG, T.; DING, S. Effect of drought and rewatering on photosynthetic physioecological characteristics of soybean. **Acta Ecologica Sinica**, Kota, v. 26, n. 7, p. 2073-2078, 2006.

2 CAPÍTULO 1: DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES DE SOJA NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO

RESUMO

Uma das alternativas para minimizar os impactos do estresse hídrico é a utilização de produtos compostos por micronutrientes e bactérias promotoras do crescimento, que apesar de serem requeridos em menores quantidades pelas plantas, são importantes pela contribuição direta e indireta em diversas rotas metabólicas e atuação em estruturas celulares. Sob a hipótese de que os tratamentos de sementes atenuam os efeitos do estresse hídrico em fase inicial do estabelecimento de plantas e influenciam os componentes de produção, objetivou-se avaliar diferentes tratamentos de sementes, cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro. O delineamento foi em blocos casualizados em esquema fatorial, sendo dois cultivares de soja (Foco IPRO e Aporé IPRO) e seis tratamentos de sementes cultivadas em dois ambientes de cultivo (irrigado e sequeiro), repetidos em cinco blocos. A campo foram mensurados o índice de velocidade de emergência, estande final de plantas, altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, número de nós, número de vagens, número de grãos, estande final de plantas, peso de cem grãos e produtividade. Condições adequadas de umidade do solo permitem o rápido estabelecimento do estande de plantas sem oscilações de comportamento. Em condições irrigadas, há melhor aproveitamento e incremento em todos os componentes de produção avaliados, o que ao mesmo tempo pode estar relacionado a característica genética da cultivar. Os tratamentos a base de *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* e a base de Boro, Cobalto e Molibdênio influenciam positivamente na produtividade.

Palavras chave: tecnologia de sementes, germinação, irrigação.

ABSTRACT

One of the alternatives to minimize the impacts of water stress is the use of products composed of micronutrients and growth-promoting bacteria, which, despite being required in smaller amounts by plants, are important for their direct and indirect contribution to various metabolic routes and performance in structures cell phones.

Under the hypothesis that seed treatment attenuates the effects of water stress in the initial phase of plant establishment and influence the production components, the objective was to evaluate the performance of soybeans sown with different seed treatments, grown in an irrigated environment and in upland. The design was in randomized blocks in a factorial scheme, with two soybean cultivars (Foco IPRO and Aporé IPRO) and six seed treatments cultivated in two cultivation environments (irrigated and rainfed), repeated in five blocks. In the field, the emergence speed index, plant height, height of insertion of the first pod, number of nodes, number of pods, number of grains, final plant stand, weight of one hundred grains and productivity were measured. From the results obtained, it is inferred that adequate conditions of soil moisture allow the rapid establishment of the plant stand without behavior oscillations. Under irrigated conditions, there is better use and increment in all evaluated production components, which at the same time may be related to the genetic characteristic of the cultivar. Treatments based on *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* and based on Boron, Cobalt and Molybdenum positively influence productivity.

Key words: seed technology; germination, irrigation.

2.1 Introdução

Em função da importância socioeconômica mundial da cultura da soja (*Glycine Max* L. Merrill) no século XXI, tornou-se imprescindível avaliar e caracterizar o efeito da deficiência hídrica nas fases iniciais e desencadear discussões para amenizar o efeito das práticas agronômicas para garantia do estabelecimento de plantas rápido e uniforme. Inúmeros produtos químicos e/ou biológicos têm sido utilizados no tratamento de sementes. No entanto, a eficácia varia conforme a constituição genética da cultivar, o que pode ser influenciado diretamente pelas condições climáticas adversas.

A produção agrícola em ambientes com pouca disponibilidade hídrica é afetada de maneira direta, todavia os prejuízos podem ser minimizados por características de plantas que mantem o estado hídrico durante a redução da umidade do solo, caracterizada como a capacidade de resistir a seca (FARIAS *et al.*, 2009). Sá (2018) relatou a busca por água do sistema radicular ativo de soja a um metro de profundidade em solos sem impedimento físico e químico do sistema radicular.

Todavia a ocorrência de déficit hídrico nas fases iniciais de desenvolvimento, pode afetar a produtividade diretamente.

Existem várias substâncias químicas que podem atuar tanto como indutoras de resistência (COSTA *et al.*, 2019), como ação bioestimulante (COZZOLINO *et al.*, 2020), efeito herbicida (KAAB *et al.*, 2020), nematicidas (MÜLLER *et al.*, 2016; COLTRO-RONCATO *et al.*, 2016), inseticidas (PAVELA *et al.*, 2018) e as mais utilizadas como efeito fungicida para o controle de organismos fitopatogênicos (MEENA *et al.*, 2020; NCISE *et al.*, 2020; ROCHA *et al.*, 2020). O uso de alguns aminoácidos e seus derivados como bioestimulantes podem favorecer as plantas a tolerância contra diversos estresses bióticos e abióticos (CRAIGIE, 2011; HOSSAIN, *et al.*, 2014).

Os atenuadores normalmente ativam os sinais químicos envolvidos na indução de respostas ao estresse nas plantas, o que ganhou importância mundial devido à sua capacidade de mitigar os efeitos adversos do estresse abiótico (TSEGAY e ANDARGIE, 2018). Logo, há a necessidade de se buscar a redução dos estresses aos quais as plantas são expostas, com intuito de incrementar a produtividade e favorecer a qualidade das sementes.

Aplicações de produtos enraizadores a base de nutrientes, bioestimulantes, hormônios e extrato de algas são tecnologias que têm se usado rotineiramente e pesquisas associadas à atenuação do estresse hídrico são importantes. Portanto, sob a hipótese de que o tratamento de sementes atenuam os efeitos do estresse hídrico em fase inicial do estabelecimento de plantas e influenciam os componentes de produção, objetivou-se avaliar diferentes tratamentos de sementes, cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro.

2.2 Material e métodos

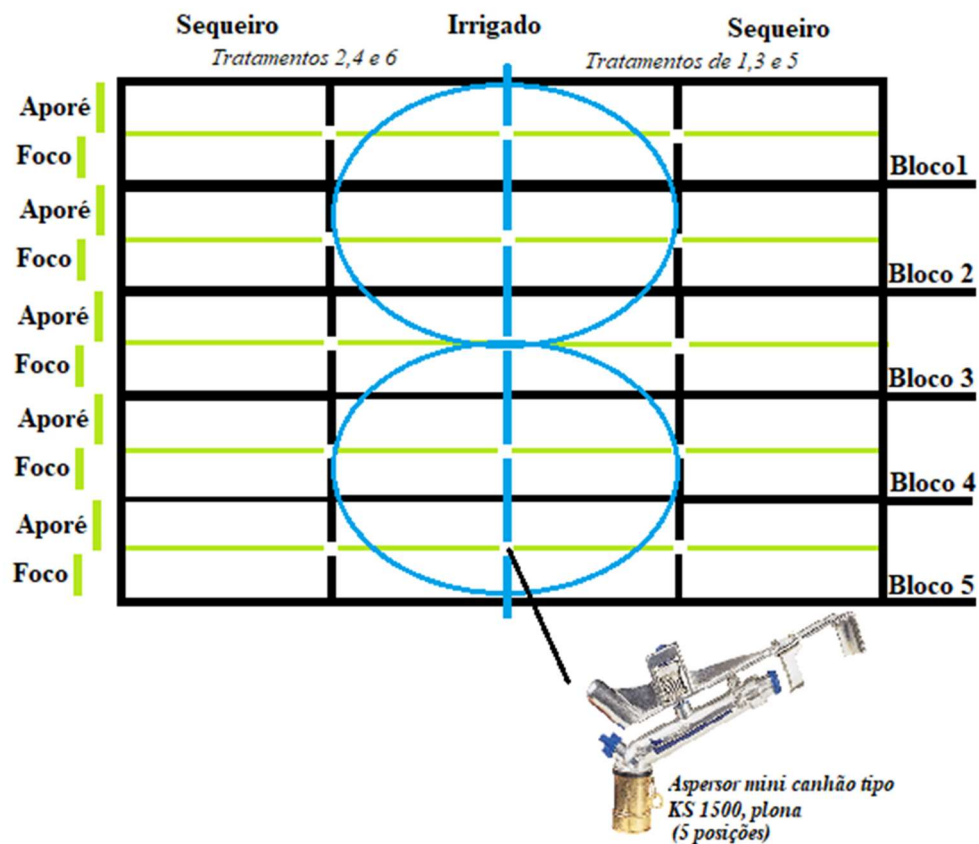
2.2.1 Localização experimental

O experimento foi instalado no campo experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, MS, Brasil (18°46'26"S e 52°37'28"W, altitude média de 810 m), na safra de soja 2020/2021 durante o período de 01 de novembro a 13 de março. O clima da região é classificado como tropical de cerrado. CLASSIFICAÇÃO DE KOPPEN.

2.2.2 Instalação do experimento

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial triplo com seis tratamentos de sementes, dois cultivares de soja e dois ambientes (sequeiro e irrigado), repetidos em cinco blocos, totalizando 120 unidades amostrais, conforme descrito na Figura 3.

Figura 3 - Croqui de campo, delineamento experimental e sistema de irrigação



Fonte: Cotrim (2021).

A faixa em azul demonstra a área irrigada, realizada em sistema por aspersão convencional. Nos tratamentos com irrigação plena, a água era reposta até a umidade do solo atingir a capacidade de campo. Nas delimitações de sequeiro não foi realizada irrigação suplementar.

2.2.3 Preparo do solo

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, classificado conforme Santos et al. (2018). As características químicas e físicas estão expostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da análise química e física do solo

Profundidade (cm)	pH	M.O.	C.O.	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P(res)*	S	B
	CaCl ₂		g dm ⁻³			cmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³ (ppm)		
	5,2	30,8	17,9	4,0	2,3	0,04	2,7	0,30	8,7	10,3	0,24
0,00-0,20	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	Argila	Silte	Areia	
	cmolc dm ⁻³		mg dm ⁻³ (ppm) – Mehlich					Textura (g dm ⁻³)			
	9,3	71,0	1,0	167	18,1	4,3	-	385	50	565	

Nota: *P(Res): Resina.

Fonte: Laboratório Inside, Chapadão do Sul-MS.

2.2.4 Tratamento de sementes

Conforme laudo de germinação nas embalagens das sementes comerciais, para o lote de sementes da cultivar Foco IPRO e Apore IPRO constava 90% de germinação sob condições controladas. Os produtos utilizados nos tratamentos de sementes seguiram a recomendação da bula do fabricante, conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos produtos comerciais, formulações, recomendação, densidade e empresa detentora

Descrição	Produto comercial	Formulações ¹	Recomendação	Densidade à 20°C	Empresa detentora
T1	Standak TOP	Piraclostrobina + Tiofanato Metílico + Fipronil	2 mL kg de semente	-	BASF
T2	Racimax	10,72 g/L (Cobalto) + 107,25 g/L (Molibdênio) + 157,30 g/L (P ₂ O ₅) + 28,60 g/L (Nitrogênio) + 12,30 g/L (K ₂ O) + 107,25 g/L Carbono Orgânico total	2 mL kg de semente	1,43 g mL	de Sangosse
T3	Enervig Leg	6,70 g/L (Boro) + 3,38 g/L (Cobalto) + 134,0 g/L (Molibdênio)	2 mL kg de semente	1,34 g mL	Oxíquímica
T4	BiomaPhos	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus megaterium</i>	2 mL kg de semente	1,01 g mL	Embrapa
T5	Upseeds	30,82 g/L (K ₂ O) + 6,0 g/L (Cobalto) + 120,6 g/L (Molibdênio) + 12,0 g/L (Níquel)	1,5 mL kg de semente	1,34 g cm ³	Compass Minerals
T6	Energize	6,0 % (Nitrogênio) + 2,0 % (P ₂ O ₅) + 1,9 % (Enxofre) + 2,0 % (Cobalto) + 40,0 % (Molibdênio)	1,5 g kg de semente	1,5 g L	Nutriplant

Nota: ¹Informações contidas na bula do fabricante.

Fonte: Elaboração da autora.

Antes da adição dos produtos, as sementes foram tratadas com Piraclostrobina + Tiofanato Metílico + Fipronil (2 mL para cada quilograma de sementes), afim de garantir proteção contra o ataque de pragas e fungos de solo. A retomada do metabolismo germinativo, decorrente do processo de embebição e consequente remobilização de reservas, exige que estas estejam à disposição das células meristemáticas para poder cumprir seu papel. No entanto, se estes tecidos estiverem afetados pelo parasitismo de fungos, por exemplo, irá ocorrer competição pelos nutrientes disponibilizados. Devido a este fato que se recomendou a aplicação de fungicidas antes da aplicação de enraizantes a base de nutrientes e bactérias do gênero *Bacillus* spp.

Após a secagem do fungicida nas sementes, foram adicionadas as demais misturas agitadas em sacos plásticos até a homogeneização completa. Em seguida, foi realizada a semeadura em semeadora mecanizada com discos á vácuo espaçada a 0,52 m entre linhas, no dia 01 de novembro de 2020, com a distribuição de 16

sementes por metro para a cultivar Foco IPRO (ciclo de 102 dias) e 14 sementes por metro para a Aporé IPRO (ciclo de 115 dias). A adubação na linha de plantio foi realizada com 150 kg ha⁻¹ do formulado MAP 11-52-00 (Monoamônio Fosfato, formulado N-P₂O₅-K₂O).

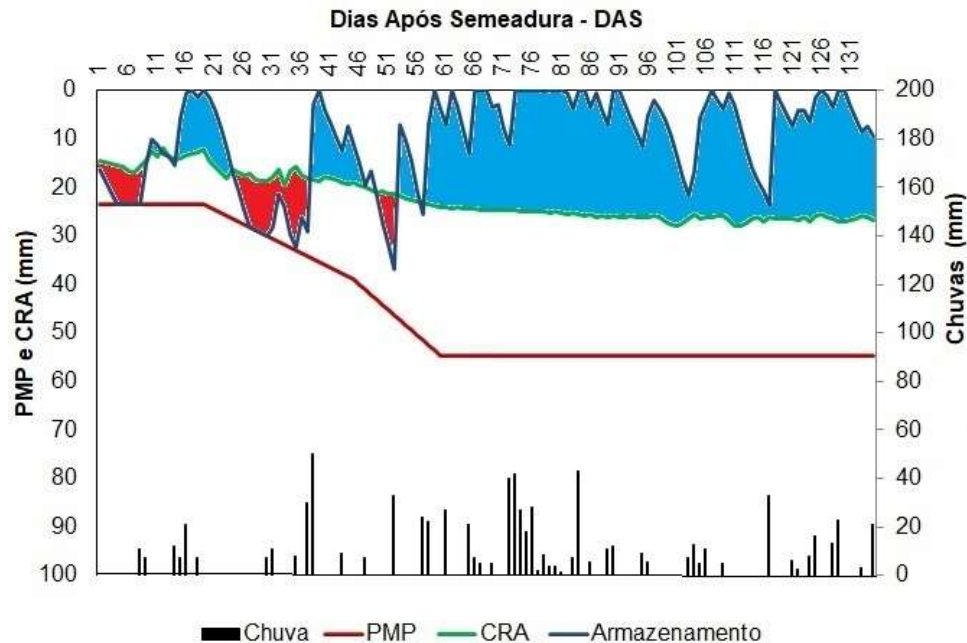
2.2.5 Manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi em aspersão convencional, com aspersor do tipo mini-canhão modelo Plona KS 1500 e raio de alcance de 18 metros em 5 posições de instalação que permitiram fazer uma faixa irrigada no centro da área de 36 m de largura passando pelos 5 blocos de onde extraíram-se as repetições, conforme demonstrado no croqui experimental (Figura 3).

A lâmina aplicada foi estimada com base nos dados meteorológicos, onde a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi obtida pelo produto da Evapotranspiração de Referência (ET_o) e o Coeficiente de Cultivo (K_c). Conforme Allen *et al.* (1998), as estimativas de ET_o foram obtidas pelo método Penman-Monteith-FAO utilizando dados de uma estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada próxima ao experimento.

Os períodos de déficit hídrico na área de sequeiro estão contidos na Figura 4. A demonstração do período de déficit é demonstrada pelo gráfico em vermelho, onde através do cálculo do balanço hídrico as irrigações foram realizadas apenas quando a cultura atingia o limite inferior da Capacidade Real de Água do solo (CRA).

Figura 4 - Balanço hídrico e período de déficit em ambiente de sequeiro durante o período experimental da safra de soja 2020/2021. PMP: ponto de murcha permanente e CRA: Capacidade real de água no solo. Dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

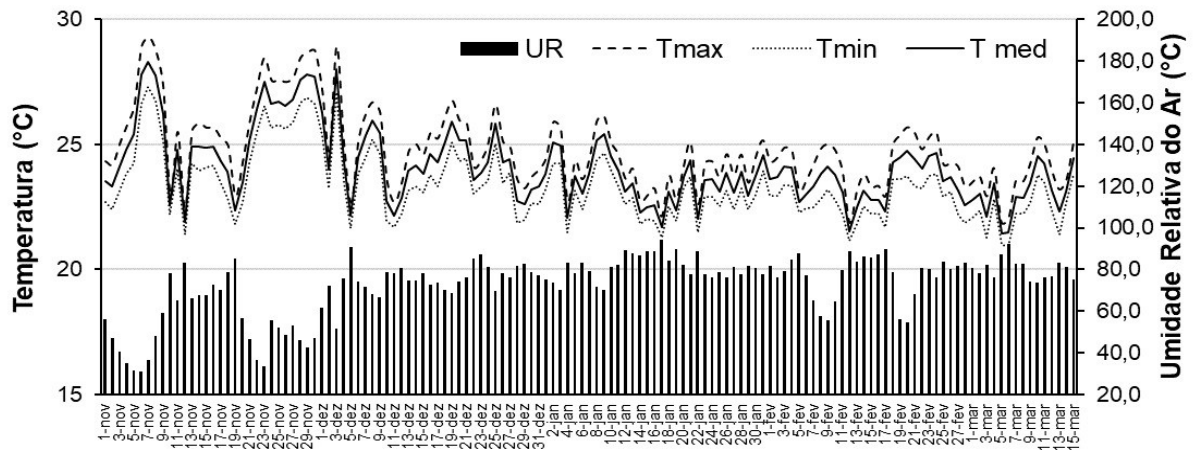


Fonte: Elaboração da autora.

Vale ressaltar que o gráfico demonstra a água disponível no solo, o que aumentou proporcionalmente ao longo dos dias em relação ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. A CRA separa as fases I e II, em que quando o armazenamento está acima da mesma e a umidade do solo está facilmente disponível para as plantas (Fase I) e quando passa abaixo da linha verde da CRA entra na Fase II indicando necessidade de irrigação. Assim, a irrigação foi realizada quando a cultura atingia a Fase II, demonstrado pelas faixas em vermelho. Portanto, as irrigações foram realizadas para manter a umidade do solo em condições adequadas para o desenvolvimento potencial da cultura durante a fase inicial.

As informações de temperatura e umidade relativa mínima, média e máxima foram registradas diariamente durante o período experimental e podem ser observadas na Figura 5.

Figura 5 - Temperatura e umidade relativa do ar durante o período experimental da safra de soja 2020/2021, dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.



Fonte: Elaboração da autora.

2.2.6 Manejo fitossanitário

Na pré semeadura e após 5 dias foi realizada aplicação de pré emergente (sulfentrazone + diuron + 1.2-ethanediol) na dosagem 1.2 L ha^{-1} de calda, afim de garantir o controle e prevenção de plantas daninhas. Aos 17 dias após a semeadura (DAS), realizou-se aplicação do herbicida glifosato (1.7 L p.c./ha) e Cletodim ($0.5 \text{ L p.c. ha}^{-1}$), para controle de plantas daninhas. Ainda neste estágio, foi aplicado em cobertura 150 kg.ha^{-1} de KCl (Cloreto de Potássio).

A primeira aplicação de fungicida foi realizada no estágio R1 (uma flor aberta em qualquer nó na haste principal) aos 44 DAS, para manejo preventivo de doenças, onde foram utilizados dois produtos: Mancozebe ($1.5 \text{ g p.c. kg ha}^{-1}$), Azoxistrobina + Benzovindiflupir ($0.2 \text{ kg p.c. ha}^{-1}$) e como adjuvante aplicou-se óleo mineral provenientes da destilação do petróleo (0.3 kg L ha^{-1}). Aos 74 e 102 DAS, respectivamente, foi realizado a segunda e terceira aplicação de fungicida, com Picoxstrobin + Ciproconazol (dosagem de $0.30 \text{ p.c. L ha}^{-1}$) + Clorotalonil (dosagem $1.5 \text{ p.c. L ha}^{-1}$) adicionados ao adjuvante de óleo a base de extrato de vegetais (dosagem de $0.05 \text{ p.c. L ha}^{-1}$).

Para o controle de pragas, foi realizada a aplicação no estágio R3 (vagem de 0.5 cm a 2.0 cm em um dos quatro nós superiores na haste principal) aos 68, 81 e 91

DAS, com o inseticida Acefato (dosagem de 1 kg L p.c. ha) + Tiametoxam + Lambda-Cialotrina (dosagem de 0.2 L p.c. ha⁻¹) + Picoxistrobina + Tebuconazol + Mancozebe (dosagem de 2.5 L p.c. ha⁻¹) + Abamectina (0.5 L p.c. ha⁻¹) e óleo mineral (0.15 L p.c. ha⁻¹).

2.2.7 Avaliações biométricas

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi mensurado diariamente após a emergência através da contagem de plântulas emergidas considerando os cotilédones acima do solo. Para o estande de plantas final (STF) foi considerado a porcentagem final de plântulas emergidas.

A colheita da parcela útil foi realizada nos dias 25 de fevereiro de 2021 para a cultivar Foco IPRO e 10 de março de 2021 para a cultivar Aporé IPRO. Em cada parcela, foram selecionadas aleatoriamente dez plantas por parcela para avaliação dos componentes de produção: altura da planta (AP, cm), número de grãos (NG), número de vagens (NV), altura da inserção da primeira vagem (AIV, cm), peso de cem grãos (PCG, gramas), número de nós (NOS), produtividade de grãos (PROD, corrigido para sacas/ha).

A variável AP foi mensurada com auxílio de uma fita métrica. O PCG foi avaliado com balança de precisão e correção para 13% de umidade. A PROD foi avaliada pela colheita mecânica através de colhedora de parcelas de 5 m central de cada unidade experimental, correção da umidade para 13% e extrapolada para sacas ha⁻¹.

2.2.8 Estatística experimental

Os dados foram analisados seguindo os critérios preconizados por Banzatto e Kronka (2007) e normalidade dos resíduos por Shapiro-Wilk. Quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Scott e Knott ($P < 0,05$) (SCOTT E KNOTT, 1974).

O gráfico de correlação e dispersão de Pearson foi construído através das correlações entre as variáveis biométricas. As análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2014) com os pacotes 'ExpDes.pt' e 'GGgally'.

2.3 Resultados e Discussão

2.2.3 Dados climáticos

Pelo acúmulo de chuvas demonstrado no gráfico de balanço hídrico (Figura 5), notou-se acúmulo total de 766 mm durante todo o período experimental. Foram registrados 267 mm de chuva até os 60 dias após a semeadura (DAS), durante o estágio vegetativo, porém não houve boa distribuição das chuvas o que acarretou em 43 dias sem chuvas, com veranicos de 11 dias consecutivos. Na fase inicial do estabelecimento de plântulas conforme os períodos de déficit hídrico, existiu necessidade da suplementação de água. No total foram 86 mm divididos em 8 irrigações suplementares.

A temperatura média nos primeiros 30 DAS oscilou entre 20 e 30°C, com picos de 29 °C especialmente neste período inicial (Figura 5). Tavares *et al.* (2013) relataram que períodos de déficit hídrico e exposição de plantas a altas temperaturas acarretam na deficiência hídrica vegetal, que ocorre quando a taxa de absorção de água excede a taxa de transpiração. Para o desenvolvimento ideal, a cultura da soja tem como exigência a faixa de temperatura entre 20°C e 30°C, sendo considerada como ideal a temperatura de 30°C. O crescimento vegetativo é baixo ou nulo em temperaturas abaixo de 10°C, e acima de 40°C ocorrem efeitos adversos no metabolismo reduzindo o crescimento da planta, sendo agravado em condições de déficit hídrico (FARIAS *et al.*, 2009).

A demanda do ciclo da soja por água para produtividade considerada adequada (>3600 kg ha⁻¹) varia de 450 a 850 mm, com eficiência de utilização da água para produção de grãos variando de 0,4 a 0,7 kg m³ (EMBRAPA, 2011). Além disso, as alterações das plantas em resposta a deficiência hídrica podem auxiliar na seleção de genótipos mais adaptados para serem cultivados em ambientes com déficit hídrico. Sendo considerada a tolerância à seca em soja essas características que aumentam a adaptabilidade e estabilidade do rendimento, devido aumentar a capacidade de sobrevivência (SINCLAIR, 2011; YE *et al.*, 2018; YE *et al.*, 2019). Todavia, cada cultivar possui uma adaptação e tolerância ao estresse hídrico diferente, o que permite que sejam feitos diversos estudos para conhecer a disponibilidade hídrica necessária para adequadas produtividades (>3.600,00 kg há⁻¹).

2.3.2 Análise de variância

O resumo da análise de variância (Tabela 3) evidenciou comportamentos contrastantes das cultivares (C), isoladas, quando avaliados a velocidade de emergência a campo (IVE), peso de cem grãos (P100) e estande final de plântulas (STF). Para o manejo da irrigação (M) houve comportamentos diferentes para IVE, altura de plantas (AT), número de entrenós (NOS), número de vagens (NV), produtividade (PROD) e peso de cem grãos (P100). A interação entre cultivar e tratamento de sementes (C x TS) demonstraram a influência do genótipo associado ao tratamento de sementes, especialmente para a PROD.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para os caracteres velocidade de emergência a campo (IVE), altura de plantas (AT), altura da inserção da primeira vagem (AIV), número de entrenós (ENOS), número de vagens (NV), número de grãos (NG), produtividade (PROD), peso de 100 grãos (P100) e estande final de plantas (STF).

FV	IVE	AT	AIV	NOS	NV	NG	PROD	P100	STF
	Quadrado médio								
Bloco	52,56	0,006	2,30	74,52	359,33	2519,32	10,42	8,09	54,58
Cultivar (C)	421,68*	0,0018 ^{ns}	1,55 ^{ns}	32,03 ^{ns}	172,8 ^{ns}	594,07 ^{ns}	8,008 ^{ns}	5,83*	1027,37*
Tratamento de semente (TS)	36,56 ^{ns}	0,0024 ^{ns}	1,91 ^{ns}	69,97 ^{ns}	400,97 ^{ns}	2629,82 ^{ns}	38,46 ^{ns}	0,28 ^{ns}	89,01 ^{ns}
Manejo (M)	350,78*	0,1326*	3,53 ^{ns}	136,53*	864,03*	3151,87 ^{ns}	151,15*	10,17*	0,13 ^{ns}
C x TS	24,47 ^{ns}	0,0037 ^{ns}	2,87 ^{ns}	21,53 ^{ns}	123,98 ^{ns}	840,53 ^{ns}	123,32*	1,09 ^{ns}	86,66 ^{ns}
C x M	21,58 ^{ns}	0,0052 ^{ns}	0,84 ^{ns}	26,13 ^{ns}	136,53 ^{ns}	775,20 ^{ns}	8,81 ^{ns}	0,08 ^{ns}	191,42 ^{ns}
TS x M	8,78 ^{ns}	0,0034 ^{ns}	8,32 ^{ns}	8,39 ^{ns}	32,49 ^{ns}	414,57 ^{ns}	29,18 ^{ns}	0,27 ^{ns}	135,29 ^{ns}
C x TS x M	19,65 ^{ns}	0,0021 ^{ns}	2,93 ^{ns}	56,19 ^{ns}	192,43 ^{ns}	2582,86 ^{ns}	68,97 ^{ns}	0,72 ^{ns}	173,99 ^{ns}
Erro	24,61	0,0028	3,95	31,20	176,83	1449,10	33,75	0,59	150,73
CV(%)	19,47	5,12	18,07	19,08	19,73	21,53	7,42	3,95	18,92

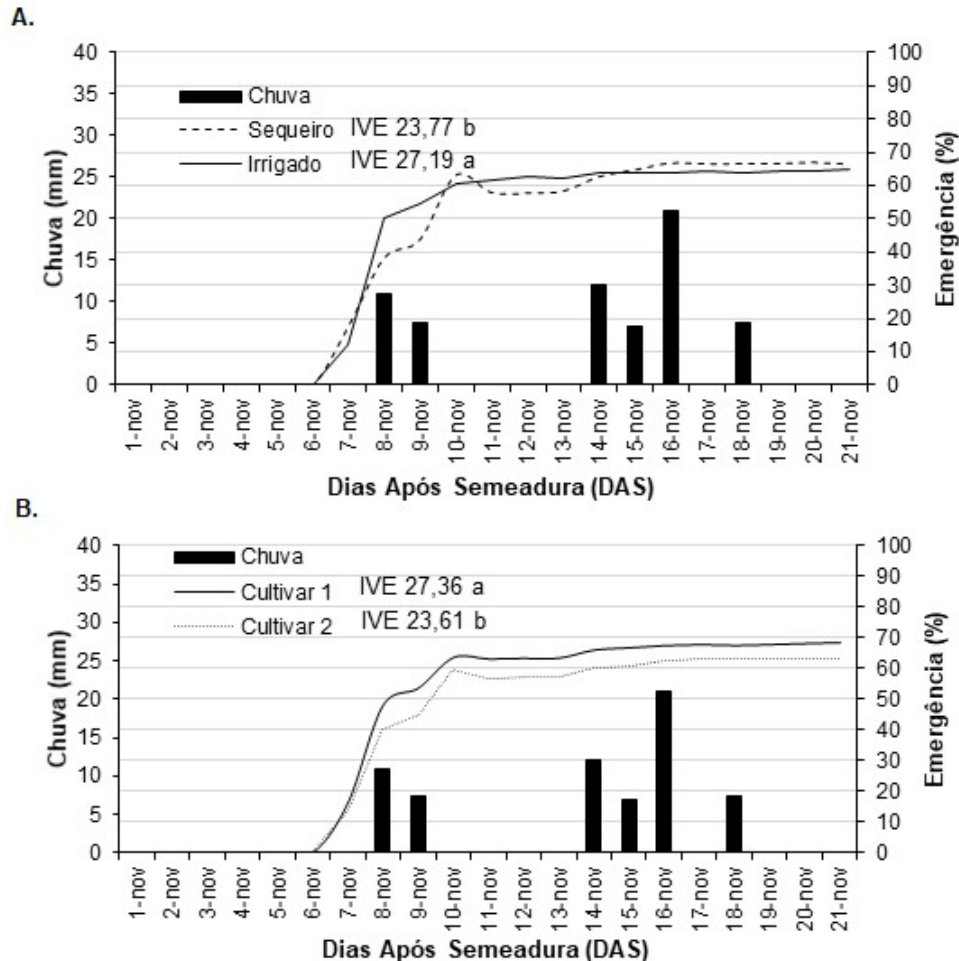
Nota: FV: fonte de variação. CV: coeficiente de variação. *Significativo a 5% pelo teste de Scott e Knott, (1974). ^{ns}Não significativo.

Fonte: Elaboração da autora.

2.3.3 Componentes de produção

Os dados expostos na Figura 6 demonstraram o comparativo entre manejos e a influência do potencial genético das cultivares quando submetidas a diferentes umidades do solo. Apesar da ocorrência de chuvas (Figura 6A), demonstrada pelas colunas, o cultivo em área com a suplementação adequada de água demonstrou superioridade de IVE. Portanto, inferiu-se que as condições de umidade do solo estavam adequadas e favoráveis para permitir o aproveitamento e garantia da emergência. O decréscimo na emergência de plantas no sequeiro, evidenciado após 10 DAS demonstrou desuniformidade e variabilidade comportamental, o que acarretou em mortalidade de plântulas devido ao período sem ocorrência de chuvas.

Figura 6 - Índice de velocidade de emergência (IVE) a campo entre o manejo de irrigação (A) e entre a cultivar 1 (Foco IPRO) e cultivar 2 (Aporé HO) (B). Letras minúsculas diferentes diferem o manejo e cultivares, respectivamente. Os gráficos de barras expressam os índices de chuvas durante o período experimental.



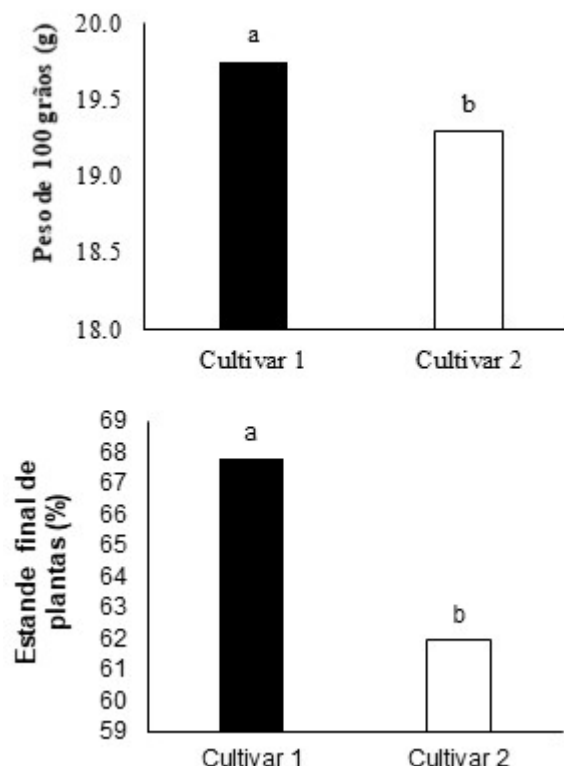
Fonte: Elaboração da autora.

Ao analisar a Figura 6B, as plântulas da cultivar 1 (Foco IPRO) apresentaram maior IVE, o que permitiu inferir que as plântulas são mais vigorosas em velocidade para se estabelecerem evidenciando melhor desempenho fisiológico. Estes resultados informaram que há riscos de não se obter um estande com plântulas normais, pois o solo sem a umidade adequada não é o local recomendado para armazenar as sementes, o que ocorre quando o produtor arrisca semear com solo seco sem umidade adequada. Anda *et al.* (2018) relataram perda de rendimento em duas variedades de soja, em sistemas irrigados e de sequeiro, quando a água foi fornecida com 50% da necessidade nos estágios vegetativos, onde houve a redução do índice de área foliar, afetando a floração e o enchimento de grãos. Portanto,

observou-se na presente pesquisa que há diferenças das cultivares em resposta a irrigação, sendo mais e menos responsivas a umidade do solo.

Elias *et al.* (2012) explicaram que quanto maiores os valores de IVE, maior é a velocidade, subentendendo-se que as sementes são mais vigorosas. Para Ribeiro, Barbosa e Borghetti (2021), a produção de sementes na região do cerrado brasileiro é fortemente influenciada pelas condições de temperatura e umidade do solo, uma vez que são características importantes para indicar a tolerância ao estresse hídrico. Savala *et al.* (2021) ressaltaram que apesar da irrigação ser fundamental, outras tecnologias agrônômicas, tais como: diferentes cultivares, densidade de plantas, práticas de manejo nutricional e umidade do solo explicam a melhoria em produtividades. O mesmo comportamento superior da cultivar 1 (FOCO IPRO) foi obtido ao comparar as análises de P100 e STF (Figura 7).

Figura 7 - Peso de 100 grãos e estande de plantas final, bem como a diferença entre a cultivar 1 (Foco IPRO) e cultivar 2 (Aporé HO) conforme letras minúsculas.

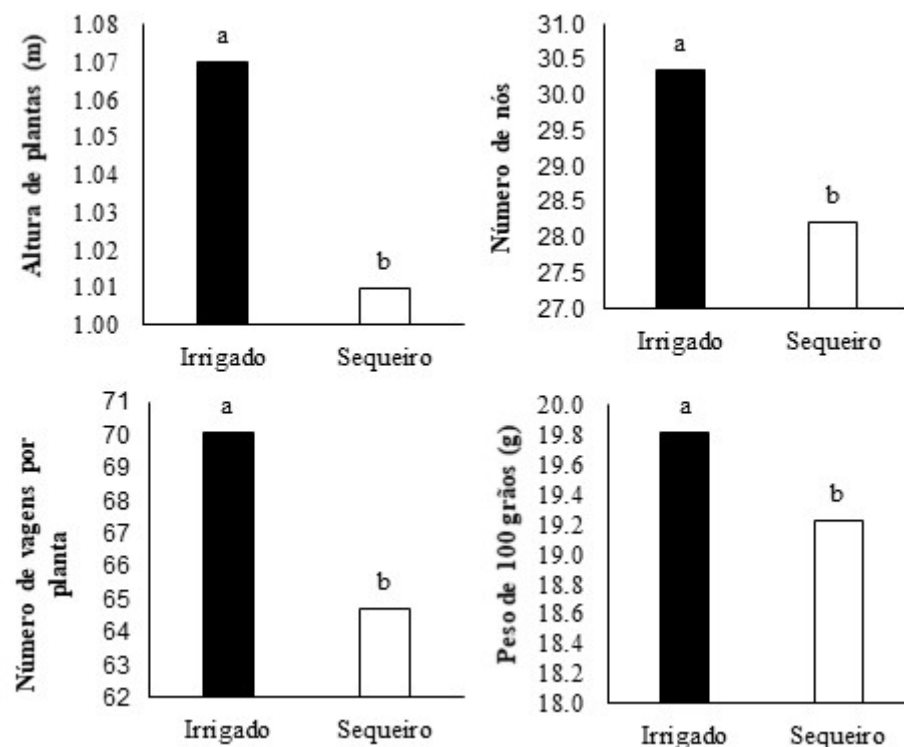


Fonte: Elaboração da autora.

Estes relatos destacaram a importância da irrigação e a manutenção da umidade adequada para a produção de grãos, o que demonstrou melhor aproveitamento da

planta. Conforme os resultados das avaliações biométricas exemplificados na Figura 8, foi possível observar diferença entre as condições irrigadas e de sequeiro. Tal informação pode ser embasada em razão que dentre os componentes de produção da soja, este é o parâmetro mais importante para a produtividade de grãos, porém o mais sensível à restrição hídrica e, portanto, a oferta adequada de água é necessária para a produção de vagens, em cultivares de alta produtividade (MEHMET, COMLEKCIOGLU; OZTURK, 2011).

Figura 8 - Altura de plantas, número de nós, número de vagens por planta, peso de 100 grãos e as diferenças entre irrigado e sequeiro durante a safra 2020/2021 de soja

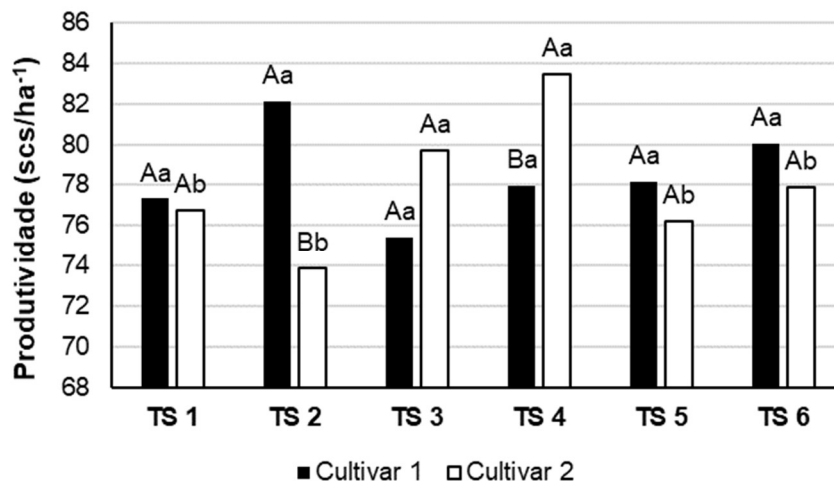


Fonte: Elaboração da autora.

Entre cultivares (Figura 9), o destaque em produtividade foi a cultivar Apuré IPRO (cultivar 2) quando adicionadas os nutrientes Boro, Cobalto e Molibdênio (TS 3) e os *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* (TS 4). Ao comparar as cultivares em resposta aos tratamentos de sementes, a cultivar 1 (FOCO IPRO), foi mais responsiva em produtividade quando as sementes foram submetidas ao TS 2, a base de CoMo, P₂O₅, N e K₂O, promovendo ganhos expressivos (>5 sacas). Estas observações

demonstram a necessidade de mais estudos relacionados ao comportamento genético de cultivares em resposta ao tratamento de sementes.

Figura 9 - Interação entre as cultivares Foco IPRO (cultivar 1) e Aporé IPRO (cultivar 2) e os tratamentos de sementes (TS) para a produtividade de grãos. Letras minúsculas diferentes diferem entre TS e maiúsculas entre cultivares.



Fonte: Elaboração da autora.

Em relação aos tratamentos de sementes (Figura 9) para cultivar 1 o mesmo comportamento foi notado no tratamento controle, o que não houve diferença entre os demais. O desempenho da cultivar 1 pode estar relacionado a sua plasticidade, assim como a característica genética, o que garantiu melhor aproveitamento na absorção de nutrientes repercutindo em incrementos em produtividade quando comparado a cultivar 2.

Outro fator que deve ser levado em consideração é a escolha do genótipo (variedade, cultivar e híbridos) a serem inoculados, pois a relação benéfica de simbiose entre o material genético e a bactéria é determinada pela qualidade e quantidade dos exsudatos liberados pelas raízes das plantas (NEHL *et al.*, 1996). Esse fenômeno é conhecido por quimiotaxia, onde cada genótipo libera uma quantidade de exsudato diferente, com composição química distinta, que pode ou não ser atrativo e servir de fonte de carbono (malato, piruvato, succinato e frutose) para as bactérias inoculadas (QUADROS *et al.*, 2014). Logo, estas pesquisas são importantes para avaliar a influência da característica genética e a relação entre os microorganismos benéficos para melhor aproveitamento da cultura a campo.

A utilização de *Bacillus subtilis* em sementes de soja influenciou na produção de fitohormônios como o ácido indol-acético (AIA), que levou ao estímulo do desenvolvimento radicular (ARAÚJO *et al.*, 2005). Além disso, os mesmos microrganismos podem solubilizar fosfato e aumentar a disponibilidade para as plantas (DIAZ; BARON; RIGOBELLO, 2019), o que permite melhor nutrição ao longo do ciclo e estabelecimento da cultura, com aumentos significativos de produtividade, conforme os encontrados nesta pesquisa. Tavanti *et al.* (2020) também evidenciaram incrementos de produtividade e qualidade de sementes de soja, além de observarem influencia na concentração de proteínas de reservas, porcentagem de emergência e vigor das sementes.

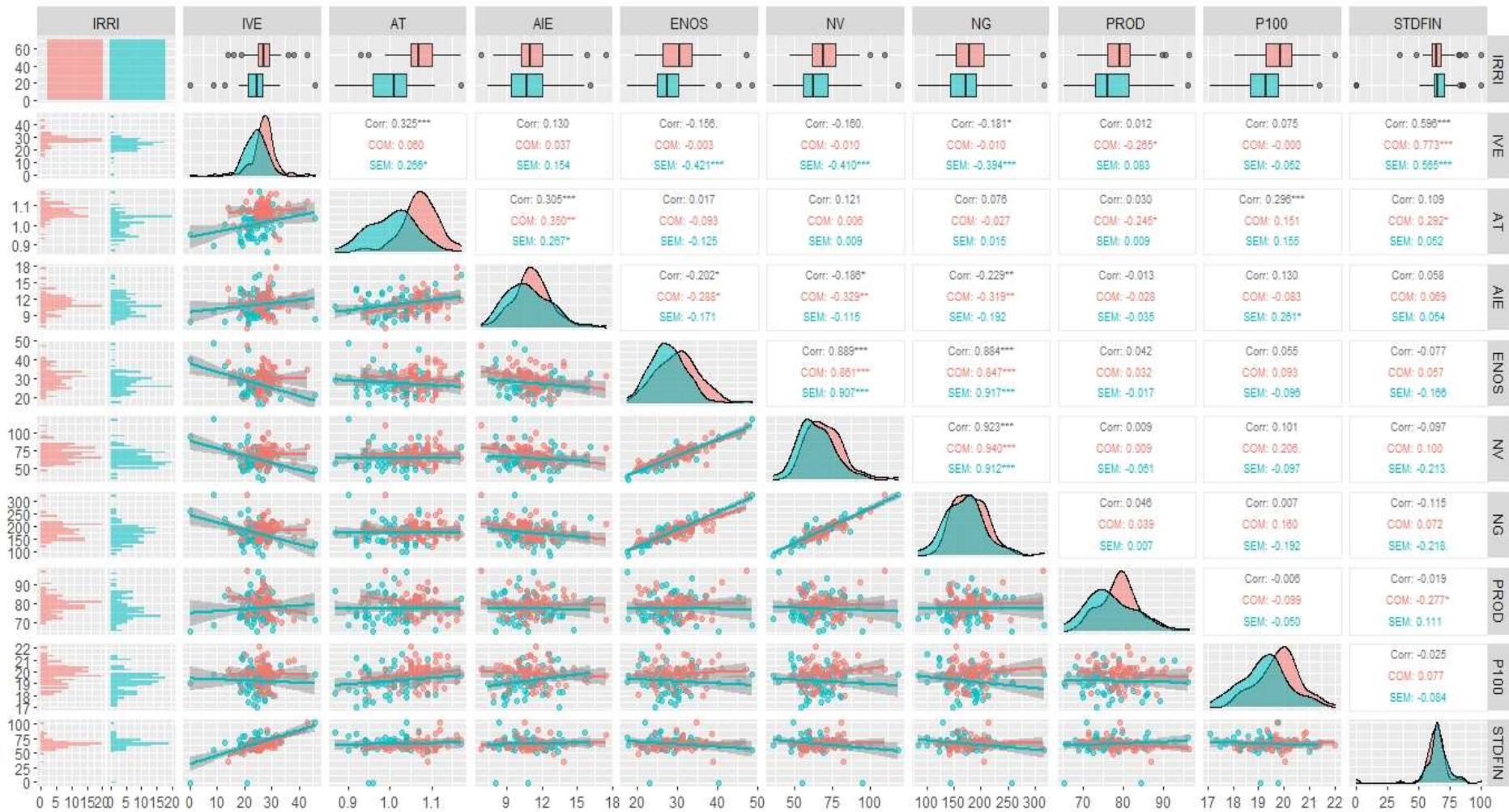
As bactérias solubilizadoras de fosfato, do gênero *Bacillus* spp., possuem a capacidade de aumentar a disponibilidade de P no solo (EMAMI *et al.*, 2020), o que pode solubilizar formas insolúveis inorgânicas (como hidroxiapatita e compostos de P metálico) e minerais de fontes orgânicas (como ésteres de fosfato orgânico) (ALORI; GLICK; BABALOLA, 2017). Ligados à solubilização de fosfato estão os mecanismos de produção de ácidos orgânicos, quelação, extrusão de prótons, produção de exopolissacarídeos e sideróforos (PRABHU; BORKAR; GARG, 2019) e relacionado à mineralização está o principal mecanismo que é a secreção de enzimas extracelulares, como fosfatases, fitases, fosfonatases e C-P liases (SOUMARE *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que embora os benefícios do tratamento de sementes com produtos biológicos seja uma prática adicional aos produtos químicos, as condições do ambiente e a microbiota do solo, são fatores críticos para o sucesso do desenvolvimento e o estabelecimento dos microrganismos nas plantas, o que pode ocasionar o comportamento variável, o crescimento e o controle de patógenos quando comparados aos produtos químicos (CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2019). Sabe-se que a função dos produtos utilizados no tratamento de sementes não é somente a erradicação dos fitopatógenos associados a elas, como também a diminuição da exposição destas as condições de deterioração encontrados no solo (FRANÇA-NETO *et al.*, 2016; NUNES, 2016).

A partir dos dados expostos na Figura 10, notou-se a presença de dois clusters em função da disponibilidade de água no solo. As colorações em vermelho demonstraram a correlação entre variáveis para condições irrigadas e em azul para sequeiro. Conforme o destaque a partir do quadrado vermelho, foi possível notar

correlação positiva entre IVE e STDFIN, com comportamento expressivo ($>0,77$) para condições irrigadas. A forte proximidade e influência entre caracteres de produção, como os encontrados para NG demonstraram correlação positiva com o NV em condições irrigadas ($>0,94$).

Figura 10 - Correlação de Pearson e gráfico de dispersão entre as variáveis analisadas cultivadas com e sem irrigação, conforme agrupamento. Análises: velocidade de emergência a campo (IVE), altura de plantas (AT), altura da inserção da primeira vagem (AIV), número de nós (ENOS), número de vagens (NV), número de grãos (NG), produtividade (PROD), peso de cem grãos (P100) e estande final de plântulas (STDFIN). número de nós (ENOS), número de vagens (NV), número de grãos (NG), produtividade (PROD), peso de cem grãos (P100) e estande final de plântulas (STDFIN).



Fonte: Elaboração da autora.

Portanto, os tratamentos de sementes a base de nutrientes e produtos biológicos promoveram ganhos em produtividade, pois podem atuar como atenuadores do estresse hídrico quando submetido a condições estressantes em fase inicial de estabelecimento da cultura a campo. Todavia, mais estudos são necessários para entender sobre os processos metabólicos e fisiológicos, bem como a resposta ao aproveitamento durante a germinação em função da disponibilidade hídrica. Em condições de adequada umidade do solo, houve menor variação comportamental no estabelecimento do estande de plantas e menor mortalidade, o que permitiu inferir relação positiva entre a disponibilidade hídrica e a característica genética.

2.4 Conclusão

Há oscilação comportamental de plantas em fase inicial em condições de sequeiro dificultando a uniformidade rápida do estande de plantas. Com a irrigação suplementar há melhor aproveitamento e incremento em todos os componentes de produção avaliados, o que ao mesmo tempo pode estar relacionado a característica genética da cultivar.

Os tratamentos com a adição de *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* e com Boro, Cobalto e Molibdênio via sementes promovem ganhos em produtividade, independente da cultivar utilizada.

REFERÊNCIAS

- COMLEKCIOGLU, N.; SIMSEK, M. Effects of deficit irrigation on yield and yield components of vegetable soybean [*Glycine max* L.(Merr.)] in semi-arid conditions. **African Journal of Biotechnology**, Sapele, v. 10, n. 33, p. 6227-6234, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiração da cultura**: diretrizes para calcular os requisitos de água das culturas. Roma: FAO, 1998. n. 56. 300 p.
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 8, p. e. 971, p. 1-8, 2017.
- ANDA, A.; SIMON, B.; SOÓS, G.; TEIXEIRA DA SILVA, J.A.; KUCSERKA, E.T. Relação cultura-água e produção de duas variedades de soja sob diferentes níveis de abastecimento de água. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 137, p. 1515-1528, 2018.
- ARAUJO, F.F.; HENNING, A.; HUNGRIA, M. Phytohormones and antibiotics produced by *Bacillus subtilis* and their effects on seed pathogenic fungi and on soybean root development. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, Dordrecht, v. 21, p. 1639-1645, 2005.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 2007.
- CHAGAS JUNIOR, A. F.; CHAGAS, L. F. B.; COLONIA, B. S. O.; MILLER, L. O. M.; OLIVEIRA, J. C. *Trichoderma asperellum* (UFT201) functions as a growth promoter for soybean plant. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v. 14, n. 33, p. 1772-1777, 2019.
- CRAIGIE, J.S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 23, p. 371-393, 2011.
- COLTRO-RONCATO, S. et al. Atividade nematicida de extratos de crambe sobre *Meloidogyne* spp. **Semina: Ciências Agrárias**, Helsinki, v. 37, n. 4, p. 1857-1870, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4p1857>. Acesso em: 23 nov. 2022.
- COSTA, A.P. et al. O extrato aquoso e o óleo essencial de gengibre induzem mecanismos de defesa bioquímica no feijão. **Journal of Neotropical Agriculture**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 79-86, 2019. Disponível em: 10.32404/rean.v6i2.2721. Acesso em: 23 nov. 2022.

COZZOLINO, E. *et al.* Avaliação de filmes de cobertura biodegradáveis e aplicação de bioestimulante de origem vegetal como práticas eco-sustentáveis para melhorar o desempenho e valor nutritivo da cultura da alface. **Agronomy**, Madison, v. 10, n. 3, 2020. Disponível em: Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10030427>. Acesso em: 23 nov. 2022.

DIAZ, P.A.E.; BARON, N.C.; RIGOBELLO, E.C. *Bacillus* spp. as plant growth-promoting bacteria in cotton under greenhouse conditions. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 13, n. 12, p. 2003-2014, 2019.

EMAMI, S.; ALIKHANI, H. A.; POURBABAE, A. A.; ETESAMI, H.; MOTASHAREZADEH, B.; SARMADIAN, F. Consortium of endophyte and rhizosphere phosphate solubilizing bacteria improves phosphorous use efficiency in wheat cultivars in phosphorus deficient soils. **Rhizosphere**, Amsterdam, v. 14, id. 100196, p. 2452-2198, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: Região Central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261 p.

ELIAS, S. G.; COPELAND, L. O.; MCDONALD, M. B.; BAALBAKI, R. Z. **Seed testing principles practices**. East Lansing: Michigan State University Press, 2012. 354 p.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja: *In*: MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. p. 261-278.

FRANÇA-NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G. P. de; LORINI, I.; HENNING, F. A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. (Documentos, 380). 82 p.

HOSSAIN, M.A.; MOSTOFA, M.G.; FUJITA, M. Cross protection by cold shock to salinity and drought stress-induced oxidative stress in mustard (*Brassica campestris* L.) seedlings. **Molecular Plant Breeding**, v. 4, p. 50-70, 2014.

KAAB, S.B. *et al.* Triagem de extratos de plantas da Tunísia para atividade herbicida e formulação de um bioherbicida baseado em *Cynara cardunculus*. **South African Journal of Botany**, Richmond, v. 128, p. 67-76, 2020. Disponível em: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.10.018>. Acesso em: 23 nov. 2022.

SIMSEK, M.; COMLEKCIOGLU, N.; OZTURK, I. The effects of the regulated deficit irrigation on yield and some yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under semi-arid conditions. **African Journal of Biotechnology**, Sapele, v. 20, p. 4057-4064, 2011.

MEENA, R.P. et al. Eficácia de fungicidas e extratos vegetais contra *Alternaria alternata* que causa o crestamento das folhas do chandrasur (*Lepidium sativum*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 90, n. 2, p. 337-340, 2020. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/339677934_Efficacy_of_fungicides_and_plant_extracts_against_Alternaria_alternata_causing_leafidum_sight_of_chand_blurum. Acesso em: 23 nov. 2022.

MÜLLER, M.A. et al. Toxicidade in vitro e controle de *Meloidogyne incognita* em soja com extrato de alecrim. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 103-110, 2016. Disponível em: doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n1p103. Acesso em: 23 nov. 2022.

NEHL, D. B.; ALLEM, S. J.; BROWN, J. F. Deleterious rhizosphere bacteria: an integrating perspective. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 1-20, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(96\)00124-2](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(96)00124-2).

NCISE, W. et al. Efeitos de intensidades de luz e intervalos variáveis de irrigação no crescimento, conteúdo de nutrientes nos tecidos e atividade antifúngica de *Tulbaghia violacea* L. cultivada hidropônica em condições de casa de vegetação. **Heliyon**, London, v. 6, n. 5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03906>. Acesso em: 23 nov. 2022.

NUNES, J.C. da S. Tratamento de sementes de soja como um processo industrial no Brasil. **Seed News**, [s. l.], Ano 20, n. 1., p. 1, 2016.

PAVELA, R. et al. Atividade inibitória da oviposição dos extratos polares do girassol mexicano *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) contra o ácaro-rajado *Tetranychus urticae* (Tetranychidae). **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.101, p.85-92, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2016.11.002>. Acesso em: 23 nov. 2022.

PRABHU, N.; BORKAR, S.; GARG, S. Chapter 11 - phosphate solubilization by microorganisms: Overview, mechanisms, applications and advances. In: MEENA, S. N.; NAIK, M. M. (ed.). **Advances in Biological Science Research**. [S. l.]: Academic Press, 2019. p. 161-176. ISBN 978-0-12-817497-5. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128174975000112>. Acesso em: 23 nov. 2022.

PEDERSEN, P.; LAUER, J.G. Resposta dos componentes do rendimento da soja ao sistema de manejo e data de plantio. **Agronomy Journal**, Maringá, v. 96, p. 1372–1381, 2004.

QUADROS, P.D.; ROESCH, L.F.W.; SILVA, P.R.F.; VIEIRA, V.M.; ROEHTS, D.D.; CAMARGO, F.A.O. Field agronomic performance of maize hybrids inoculated with *Azospirillum*. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000200008>.

RIBEIRO, L.C.; BARBOSA, E.R.M.; BORGHETTI, F. How regional climate and seed traits interact in shaping stress-tolerance of savanna seeds? **Seed Science Research**, Cambridge, p. 1–11, 2021. DOI: doi.org/10.1017/S0960258521000234.

ROCHA, C. H. D *et al.* *Psidium cattleianum* essential oil to control plant pathogens in bean seeds. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 14-19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v15i1.7365>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L. H. C.; DE OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SAVALA, C.; WIREDU, A.; OKOTH, J.; KYEI-BOAHEN, S. Inoculante, nitrogênio e fósforo melhoram a fotossíntese e a eficiência do uso de água na produção de soja. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, p. 1-14, 2021. DOI: 10.1017/S0021859621000617.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Chichester, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SINCLAIR, T.R. Challenges in breeding for yield increase for drought. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 16, p. 289-93, 2011.

SOUMARE, A.; BOUBEKRI, K.; LYAMLOULI, K.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; KOUISNI, L. From isolation of phosphate solubilizing microbes to their formulation and use as biofertilizers: Status and needs. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, Lausanne, v. 7, n. 425, p.1-14, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 857 p.

TAVANTI, T. R.; TAVANTI, R. F. R.; GALINDO, F. S.; SIMÕES, I.; DAMETO, L. S.; SÁ, M. E. Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 1, p. 65-71, 2020.

TAVARES, L. C.; DE RUFINO, C. A.; BRUNES, A. P.; TUNES, L. M.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 8, p.1357-1363, 2013.

TSEGAY, B. A.; ANDARGIE, M. Seed priming with giberellic acid (ga₃) alleviates salinity induced inhibition of germination and seedling growth of *Zea mays* L., *Pisum sativum* Var. *abyssinicum* A. Braun e *Lathyrus sativus* L. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, Korea, v. 21, p. 261–267, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12892-018-0043-0>.

SÁ, J.P.D. **Perfil de extração de água do solo pela cultura da soja de alta e baixa produtividade de grãos**. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2018.

YE, H.; ROORKIWAL, M.; VALLIYODAN, B.; ZHOU, L.; CHEN, P.; VARSHNEY, R.; NGUYEN, H.T. Genetic diversity of root system architecture in response to drought stress in grain legumes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 69, p. 3267–3277, 2018.

YE, H.; SONG, L.; SCHAPAUGH, W.T.; ALI, M.L.; SINCLAIR, T.R.; RIAR, M.K.; PIZOLATO NETO, A. The importance of slow canopy wilting in drought tolerance in soybean. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 71, p. 642-652, 2019.

3 **CAPÍTULO 2 - TRATAMENTO DE SEMENTES: ATENUAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO E POTENCIAL FISIOLÓGICO EM SOJA**

RESUMO

Enraizantes apresentam-se como uma alternativa economicamente viável e sustentável que podem regular e/ou modificar os processos fisiológicos em plantas, uma vez que estimulam o crescimento, mitigam as limitações induzidas pelo estresse e uniformizam o estabelecimento do estande de plantas a campo. Sob a hipótese de que sementes bem nutridas originam plantas vigorosas e produtivas, objetivou-se avaliar a influência do tratamento de sementes associado a umidade do solo adequada na qualidade final das sementes produzidas. O delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial com dois cultivares (Foco IPRO e Aporé HO), seis tratamentos de sementes e dois ambientes de cultivo (irrigado e sequeiro), dispostos em cinco blocos. O potencial fisiológico das sementes produzidas foi avaliado pelo teste de germinação, primeira contagem da germinação, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, índice de velocidade de emergência, emergência, comprimento e massa seca de plântulas, vigor e viabilidade pelo teste de tetrazólio. A utilização de enraizantes promove maior resistência ao déficit hídrico inicial, além de proporcionar proteção à planta, o que demonstra capacidade de suportar períodos de déficit hídrico em início de cultivo. As plantas possuem capacidade de recuperação de períodos de déficit hídrico inicial quando utilizado produtos a base de mitigadores de estresses. A irrigação suplementar em início de cultivo não foi efetiva, o que torna o uso de bioestimulantes prática mais econômica e viável. O desempenho e metabolismo das sementes variam entre cultivares, embora o ambiente, manejo e as condições de cultivo também obtenham influência decisiva na tomada de decisão de produção de sementes de qualidade.

Palavras chave: *tecnologia de sementes, bioestimuladores, germinação.*

ABSTRACT

Rooting agents are presented as an economically viable and sustainable alternative that can regulate and/or modify the physiological processes in plants, since they stimulate growth, mitigate the limitations induced by stress and standardize the establishment of the plant stand in the field. Under the hypothesis that well-nourished seeds originate vigorous and productive plants, the objective was to evaluate the influence of seed treatment associated with adequate soil moisture on the final quality of the produced seeds. In addition to the control treatment, the seeds were exposed to six commercial products, as recommended by the manufacturer. The design was in randomized blocks, in a factorial scheme with two cultivars (Foco IPRO and Aporé HO), six seed treatments and two cultivation environments (irrigated and rainfed), arranged in five blocks. The physiological potential of the produced seeds was evaluated by the germination test, first germination count, accelerated aging, electrical conductivity, emergence speed index, emergence, length and dry mass of seedlings, vigor and viability by the tetrazolium test. The use of rooting promotes greater resistance to water deficit, in addition to providing protection to the plant, which demonstrates support capacity in periods of water deficit at the beginning of cultivation. The plants have the ability to recover from periods of initial water deficit when using products based on stress mitigators. Supplementary irrigation at the beginning of cultivation was classified as harmful, which makes the use of biostimulants a more economical and viable practice. Seed performance and metabolism vary between cultivars, although the environment, management and growing conditions also have a decisive influence on the decision-making process for producing quality seeds.

Key words: *seed technology, biostimulators, germination.*

3.1 Introdução

Devido a importância econômica mundial da soja (*Glycine max*) estratégias de manejo vem sendo utilizadas para melhoria do potencial produtivo e controle de qualidade na produção de sementes. Caracterizada por ser uma cultura cultivada em regiões tropicais, subtropicais e temperadas, a maior parte da produção global é

comprometida pelas adversidades climáticas, especialmente pelo estresse hídrico, o que é ocasionado pela variabilidade da temperatura do ar e chuvas.

Para tolerar os danos de déficit hídrico, as plantas desenvolveram mecanismos para resistir as condições climáticas adversas a longo prazo e passaram por diversas alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas para se adaptar ao estresse e completar seu ciclo de vida (SHEN; WU; ZHENG, 2017). Diversos estudos foram realizados sobre a morfologia da planta e as características fisiológicas e bioquímicas, a fim de compreender o potencial de resistência à seca da soja para melhoria da tolerância da planta à escassez hídrica (AROÇA, 2013; MACHADO *et al.*, 2017).

Diante do contexto, a utilização de bioestimulantes têm sido empregada em todas as fases da produção agrícola, inclusive no tratamento de semente. São classificados como estimulantes vegetais, podendo ser compostos por substâncias ou microrganismos como enzimas, proteínas, aminoácidos, bactérias, fungos, micronutrientes e compostos inorgânicos (CHIAIESE *et al.*, 2018; SHAHRAJABIAN *et al.*, 2021). Por definição os bioestimulantes são classificados como substâncias oriundas ou não da associação com biorreguladores vegetais, ou destes com outras moléculas (aminoácidos, nutrientes e vitaminas), os quais podem ser aplicados via foliar, via sementes ou no solo (SHAHRAJABIAN *et al.*, 2021). Galindo *et al.* (2020) e Moradtalab *et al.* (2019), afirmaram que o uso de bioestimulantes apresentam-se como alternativa para estimular os processos fisiológicos e absorção de nutrientes pelas plantas, colaborando para a tolerâncias ao estresse hídrico.

De tal maneira, existem diversos produtos comerciais disponíveis no mercado com intuito de minimizar os efeitos deletérios do déficit hídrico em soja, assim como inúmeros cultivares que são responsivos ou não. Portanto, objetivou-se avaliar a influência do tratamento de sementes associado a umidade do solo adequada na qualidade das sementes obtidas.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 *Design experimental*

Após a colheita das amostras a campo, estas foram levadas para laboratório de análise de sementes com intuito de identificar a germinação e vigor. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial com seis

tratamentos de sementes, dois cultivares de soja (Foco IPRO e Aporé HO) e dois ambientes (sequeiro e irrigado). Os produtos utilizados nos tratamentos de sementes seguiram a recomendação da bula do fabricante, conforme exposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição dos produtos comerciais, formulações, recomendação, densidade e empresa detentora.

Descrição	Produto comercial	Formulações ¹	Recomendação	Densidade á 20°C	Empresa detentora
T1	Standak TOP ¹	Piraclostrobina + Tiofanato Metílico + Fipronil	2 mL Kg ⁻¹ de semente	-	BASF
T2	Racimax	10.72 g L ⁻¹ (Cobalto) + 107.25 g L ⁻¹ (Molibdênio) + 157.30 g L ⁻¹ (P ₂ O ₅) + 28.60 g L ⁻¹ (Nitrogênio) + 12.30 g L ⁻¹ (K ₂ O) + 107.25 g L ⁻¹ Carbono Orgânico total	2 mL Kg ⁻¹ de semente	1.43 g mL ⁻¹	de Sangosse
T3	Enervig Leg	6.70 g L ⁻¹ (Boro) + 3.38 g L ⁻¹ (Cobalto) + 134.0 g L ⁻¹ (Molibdênio)	2 mL Kg ⁻¹ de semente	1.34 g mL ⁻¹	Oxíquímica
T4	BiomaPhos	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus megaterium</i>	2 mL Kg ⁻¹ de semente	1.01 g mL ⁻¹	Embrapa
T5	Upseeds	30.82 g L ⁻¹ (K ₂ O) + 6.0 g L ⁻¹ (Cobalto) + 120.6 g L ⁻¹ (Molibdênio) + 12.0 g L ⁻¹ (Níquel)	1.5 mL Kg ⁻¹ de semente	1.34 g cm ³	Compass Minerals
T6	Energize	6.0% (Nitrogênio) + 2.0% (P ₂ O ₅) + 1.9% (Enxofre) + 2.0% (Cobalto) + 40.0% (Molibdênio)	1.5 g Kg ⁻¹ de semente	1.5 g L ⁻¹	Nutriplant

Nota: ¹Informações contidas na bula do fabricante.

Fonte: Elaboração da autora.

Afim de garantir proteção contra o ataque de pragas e fungos de solo todas as sementes foram inicialmente tratadas com o mesmo produto do tratamento 1 (Piraclostrobina + Tiofanato Metílico + Fipronil (2 mL para cada Kg de sementes)), configurado como tratamento testemunha. Após a secagem do produto, foram adicionadas as demais misturas (T2,T3,T4,T5 e T6) diretamente nas sementes, as quais foram agitadas em sacos plásticos até a homogeneização completa. Em seguida, foi realizada o plantio através de semeadora espaçada em 0,52 m entre linhas, no dia 01 de novembro de 2020, com a distribuição de 16 sementes por metro para a cultivar Foco IPRO (ciclo de 102 dias) e 14 sementes por metro para a Aporé

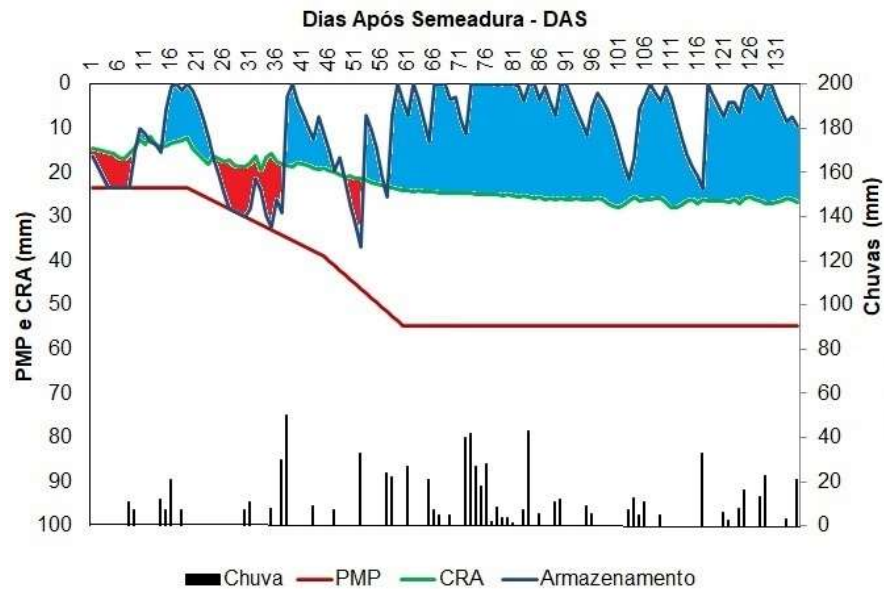
IPRO (ciclo de 115 dias). A adubação na linha de plantio foi realizada com 150 kg ha⁻¹ do formulado MAP 11-52-00 (Monoamônio Fosfato, formulado N-P₂O₅-K₂O).

3.2.2 Manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão convencional, com aspensor do tipo mini-canhão modelo Plona KS 1500 e raio de alcance de 18 metros em 5 posições de instalação que permitiram fazer uma faixa irrigada no centro da área de 36 m de largura passando pelos 05 blocos de onde extraíram-se as repetições. A lâmina aplicada foi estimada com base nos dados meteorológicos, onde a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi obtida pelo produto da Evapotranspiração de Referência (ET_o) e o Coeficiente de Cultivo (K_c). Conforme Allen et al. (1998), as estimativas de ET_o foram obtidas pelo método Penman-Monteith-FAO utilizando dados de uma estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada próxima ao experimento.

Os períodos de déficit hídrico na área de sequeiro estão contidos na Figura 11. A demonstração do período de déficit é demonstrada pelo gráfico em vermelho, onde através do cálculo do balanço hídrico as irrigações foram realizadas apenas quando a cultura atingia o limite inferior da Capacidade Real de Água do solo (CRA).

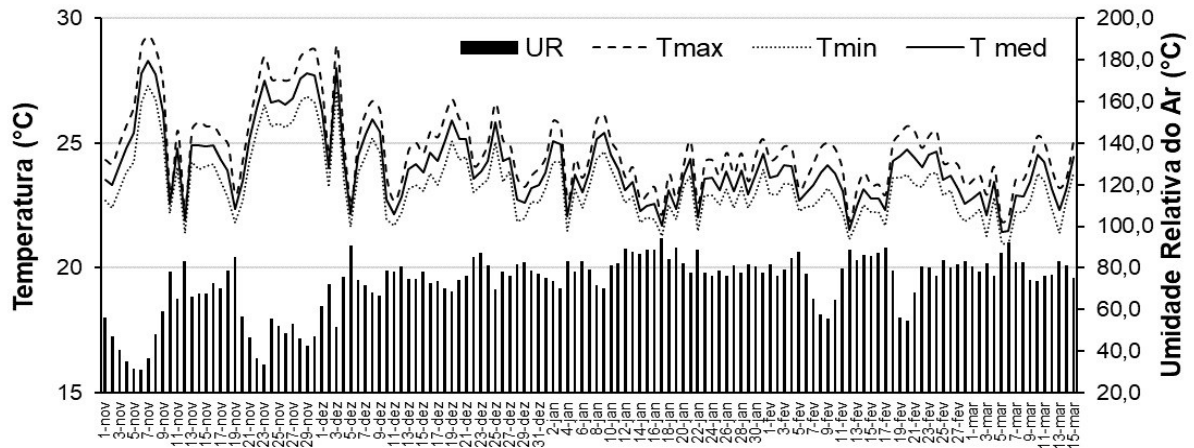
Figura 11 - Balanço hídrico e período de déficit em ambiente de sequeiro durante o período experimental da safra de soja 2020/2021. PMP: ponto de murcha permanente e CRA: Capacidade real de água no solo. Dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2021.



Fonte: Elaboração da autora.

Conforme demonstrado pelo gráfico (Figura 11), a água disponível no solo aumentou proporcionalmente ao longo dos dias em relação ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. A CRA separa as fases I e II, em que quando o armazenamento está acima da mesma e a umidade do solo está facilmente disponível para as plantas. Assim, a irrigação foi realizada quando a cultura atingia a fase II, demonstrado pelas faixas em vermelho. Portanto, as irrigações foram realizadas mantendo a umidade do solo em condições adequadas para o desenvolvimento potencial da cultura durante a fase inicial. As informações de temperatura e umidade relativa do durante o período experimental estão expostas na Figura 12.

Figura 12 - Temperatura e umidade relativa do ar durante o período experimental da safra de soja 2020/2021, dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.



Fonte: Elaboração da autora.

3.2.3 Manejo fitossanitário a campo

No pré-plantio e pós plantio foi realizada aplicação de pré emergente (sulfentrazone + diuron + 1.2-ethanediol) na dosagem 1.2 L ha⁻¹ de calda. Aos 17 dias após a semeadura (DAS), realizou-se aplicação do herbicida glifosato (1.7 L p.c./ha) e inseticida Cletodim (0.5 L p.c. ha⁻¹), para controle de plantas daninhas. Ainda no estágio V3 (FEHR; CAVINESS, 1977), foi aplicado em cobertura 150 kg ha⁻¹ de KCl (Cloreto de Potássio).

A primeira aplicação de fungicida foi realizada no estágio R1, aos 44 DAS, para manejo preventivo de doenças, onde foram utilizados dois produtos: Mancozebe (1.5 g p.c. kg ha⁻¹), Azoxistrobina + Benzovindiflupir (0.2 kg p.c. ha⁻¹) e como adjuvante aplicou-se óleo mineral provenientes da destilação do petróleo (0.3 Kg L ha⁻¹). Aos 74 e 102 DAS, respectivamente, foi realizado a segunda e terceira aplicação de fungicida, com Picoxistrobina + Ciproconazol (dosagem de 0.30 p.c. L ha⁻¹) + Clorotalonil (dosagem 1.5 p.c. L ha⁻¹) adicionados ao adjuvante de óleo a base de extrato de vegetais (dosagem de 0.05 p.c. L ha⁻¹).

Para o controle de pragas, foram realizadas aplicações no estágio R3, aos 68, 81 e 91 DAS, com o inseticida Acefato (dosagem de 1 kg L p.c. ha) + Tiametoxam + Lambda-Cialotrina (dosagem de 0.2 L p.c. ha⁻¹) + Picoxistrobina + Tebuconazol +

Mancozebe (dosagem de 2.5 L p.c. ha⁻¹) + Abamectina (0.5 L p.c. ha⁻¹) e óleo mineral (0.15 L p.c. ha⁻¹).

3.2.4 Avaliações fisiológicas de germinação e vigor

A colheita das parcelas úteis foi realizada nos dias 25 de fevereiro de 2021 para a cultivar Foco IPRO e 10 de março de 2021 para a cultivar Aporé IPRO. As amostras retiradas do experimento a campo foram armazenadas em sacos de papel tipo kraft levadas a controle de temperatura regulado a 17 °C e umidade relativa de 50% até o momento das avaliações fisiológicas em laboratório. Para determinação dos efeitos dos tratamentos na qualidade da semente, foram realizados os testes de germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, índice de velocidade de emergência, emergência, comprimento e massa seca de plântulas e o teste de tetrazólio.

Inicialmente, foi realizado a determinação do teor de água pelo método da estufa a 105 ±2 °C durante 24 horas, realizada com duas subamostras de cinco gramas de sementes para cada tratamento (BRASIL, 2009).

O teste de germinação foi realizado em rolo de papel germitest, umedecido com quantidade de água deionizada equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco, com quatro repetições de 50 sementes. Posteriormente, foram mantidas em germinador regulado à temperatura constante de 25 °C. As contagens de germinação foram realizadas aos oito dias após a instalação do teste e a primeira contagem realizada juntamente com o teste de germinação, computando-se a porcentagem média de plântulas normais, obtidas aos cinco dias após a semeadura (BRASIL, 2009).

O teste de envelhecimento acelerado foi conduzido sobre solução saturada de NaCl a 41 °C, por 48 horas (SANTOS *et al.*, 2021). Posteriormente, foi realizado o teste de germinação com quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagens médias de plântulas normais.

No teste de condutividade elétrica quatro repetições de 50 sementes foram pesadas em balança analítica de precisão (0,0001 g) e colocadas em copos plásticos contendo 75 mL de água deionizada, mantidas a 25 °C. Após vinte e quatro horas de embebição foi efetuada a leitura da condutividade elétrica por meio do condutímetro, expresso em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ (VIEIRA, 1994).

Para a determinação do comprimento de plântulas, foram utilizadas quatro repetições de 20 sementes por tratamento, semeadas sobre três folhas de papel germitest sendo duas abaixo e uma acima das sementes. Foi traçada uma linha no terço superior com distância da margem de 3 cm no sentido longitudinal. As amostras em rolos de papel foram umedecidas com quantidade de água deionizada equivalente a 2,5 vezes à massa do papel seco, e colocadas dentro de sacos plásticos fechados com elástico. Posteriormente, as amostras foram levadas ao germinador e permaneceram por cinco dias no escuro a 25 °C. Após esse período, foram mensurados os comprimentos (em cm) da parte aérea e da raiz de plântulas normais com o uso de régua milimétrica (NAKAGAWA, 1999). Juntamente ao teste de comprimento de plântulas foi mensurada a massa seca, cujas partes das plântulas medidas foram colocadas em sacos de papel e acondicionadas em estufa com circulação de ar forçada, e regulada a 80 °C durante 24 horas. Após o período de secagem, as amostras foram pesadas, utilizando-se balança analítica (0,0001 g). A massa obtida para cada repetição foi dividida pelo número de plântulas normais, resultando na massa média por plântula (BRASIL, 2009).

A emergência de plântulas foi realizada em substrato de areia, em casa de vegetação, com quatro repetições de 25 sementes para cada tratamento e a avaliação foi efetuada aos 14 dias após a semeadura considerando as plântulas normais com os cotilédones acima do substrato (BRASIL, 2009). Paralelamente, foram computados o índice de velocidade de emergência com a contagem diária de plântulas emergidas até o final da avaliação, considerando o hipocótilo acima do substrato.

Para o teste de tetrazólio foram utilizadas duas repetições de cinquenta sementes para cada tratamento. As amostras de sementes foram dispostas em papel germitest com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca e, posteriormente, mantidas em germinador a 25 °C durante 16 horas. Em seguida, as amostras foram colocadas em copos plásticos contendo 50 ml de solução de cloreto de 2, 3, 5 trifenil tetrazolio a 0,075%, e mantidos em estufa a 40 °C no escuro durante 3 horas para o desenvolvimento da coloração conforme a metodologia e critérios de avaliação do vigor e viabilidade por França Neto e Krzyzanowski (2018). Após este período, as sementes foram lavadas com água corrente e permaneceram submersas em água, em ambiente refrigerado a 5 °C até o momento da avaliação. As avaliações foram conduzidas seccionando longitudinalmente cada semente, sendo a interpretação realizada segundo o critério descrito pelos autores mencionados

anteriormente. Os resultados foram expressos em porcentagem média de sementes vigorosas (classes 1 a 3) e sementes viáveis (classes 1 a 5) para cada amostra.

3.2.5 Estatística experimental

Os dados foram analisados seguindo os critérios preconizados por Banzatto e Kronka (2007) e normalidade dos resíduos por Shapiro-Wilk. Quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade (SCOTT; KNOTT, 1974).

3.3 Resultados e Discussão

A análise de variância (Tabelas 5 e 6) demonstrou que as avaliações de condutividade elétrica (CE), emergência (EMER), índice de velocidade de emergência (IVE) e comprimento (CP) e massa seca de parte aérea (MSP) não apresentaram interações entre tratamentos de sementes, cultivares e manejos. Logo, para as demais comparações com os fatores isolados ou combinados foi evidenciado influência nos resultados.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para primeira contagem de germinação (PCG), germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), condutividade elétrica (CE) e emergência (EMER).

FV	PCG	GER	EA	CE	EMER	IVE
	Quadrado médio					
Bloco	1997.36	3379.88	3229.58	10411.98	1739.88	1.58
Cultivar (C)	5936.13*	5580.00*	433.20 ^{ns}	7234.10*	45.63 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Tratamento de semente (TS)	774.08*	296.13*	379.76*	400.50 ^{ns}	155.99 ^{ns}	0.12 ^{ns}
Manejo (M)	15870.00*	12322.13*	28336.13*	1128.36 ^{ns}	4762.80*	5.10*
C x TS	1399.25*	694.72*	761.92*	346.28 ^{ns}	151.95 ^{ns}	0.11 ^{ns}
C x M	16.13 ^{ns}	83.33 ^{ns}	3413.33*	353.75 ^{ns}	1056.13*	1.49*
TS x M	1912.16*	732.21*	363.57*	225.07 ^{ns}	91.76 ^{ns}	0.12 ^{ns}
C x TS x M	1596.53*	1690.53*	856.93*	371.85 ^{ns}	92.49 ^{ns}	0.18 ^{ns}
Erro	101.22	150.24	122.60	527.03	123.53	0.08
CV(%)	29.68	19.65	26.36	17.41	14.76	15.70

Nota: FV: fonte de variação. CV: coeficiente de variação. *Significativo a 5% pelo teste de Scott e Knott, (1974). ^{ns}Não significativo.

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para comprimento de radícula (CR), comprimento de parte aérea (CP), massa seca de radícula (MSR), massa seca de parte aérea (MSP), vigor (TZVIG) e viabilidade (TZVIAB) pelo teste de tetrazólio.

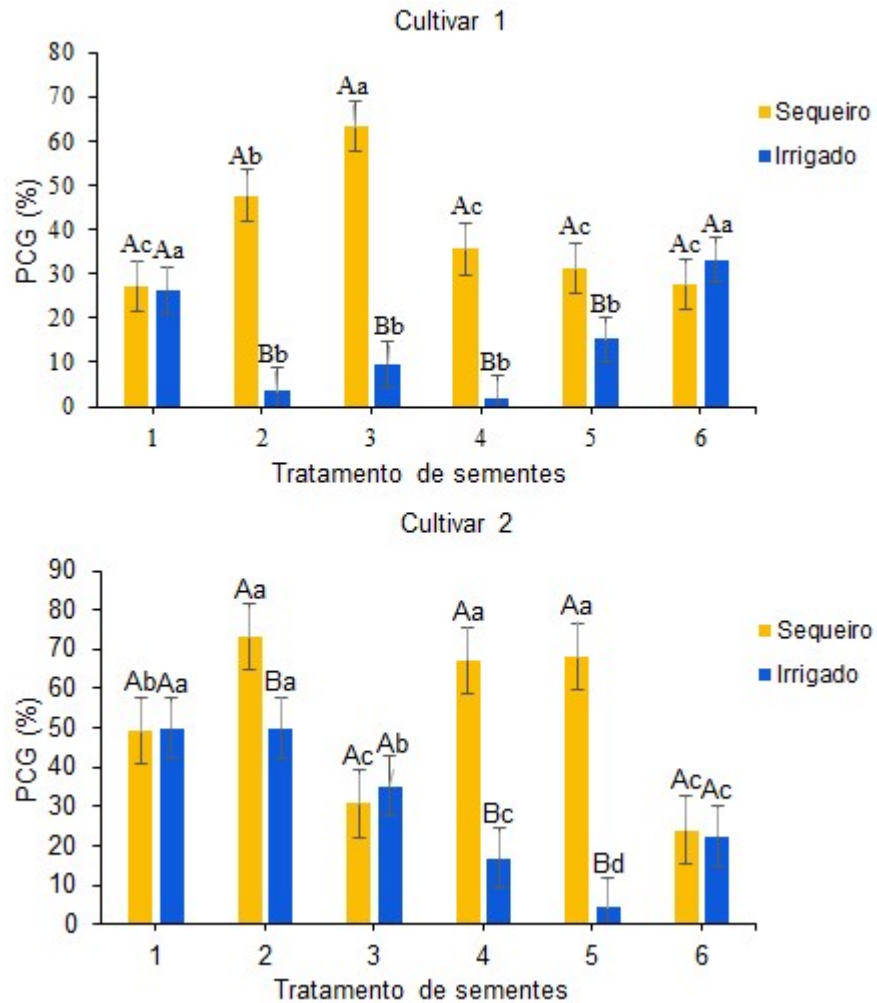
FV	CR	CP	MSR	MSP	TZVIG	TZVIAB
	Quadrado médio					
Bloco	0.04	10.26	61.35	703.18	1319.13	198.75
Cultivar (C)	0.01 ^{ns}	2.03 ^{ns}	486.38 [*]	56.26 ^{ns}	56.03 ^{ns}	598.53 [*]
Tratamento de semente (TS)	0.64 [*]	3.55 [*]	960.47 [*]	215.70 ^{ns}	287.23 ^{ns}	103.89 ^{ns}
Manejo (M)	3.41 [*]	303.05 [*]	1252.14 [*]	41411.47 [*]	5740.83 [*]	5658.13 [*]
C x TS	0.52 [*]	1.09 ^{ns}	234.50 ^{ns}	53.88 ^{ns}	663.39 [*]	449.57 [*]
C x M	1.03 [*]	12.24 [*]	435.90 [*]	11.58 ^{ns}	28.03 ^{ns}	10.80 ^{ns}
TS x M	0.31 [*]	9.36 [*]	397.53 [*]	337.33 ^{ns}	103.39 ^{ns}	45.01 ^{ns}
C x TS x M	1.08 [*]	0.86 ^{ns}	410.79 [*]	411.51 ^{ns}	472.83 [*]	384.08 [*]
Erro	0.09	0.95	115.82	221.86	133.11	56.73
CV(%)	5.51	9.81	21.62	14.96	15.87	8.79

Nota: FV: fonte de variação. CV: coeficiente de variação. *Significativo a 5% pelo teste de Scott e Knott, (1974). ^{ns}Não significativo.

Fonte: Elaboração da autora.

Ao comparar os tratamentos de sementes (Figura 13), em condições de sequeiro, para primeira contagem de germinação na cultivar 1 notou-se que o tratamento testemunha (T1) evidenciou o menor percentual de plântulas normais, porém houve similaridade entre os tratamentos 4, 5 e 6. Ainda para esta cultivar, o manejo irrigado em relação a diferença entre tratamentos, o 1 e 6 obtiveram médias superiores, mas obtiveram a mesma significância quando cultivados em ambos os manejos. O tratamento 3 se sobressaiu em vigor para a cultivar 1 quando cultivado em sequeiro, demonstrando maior vigor em plântulas normais em relação aos demais tratamentos. Para a cultivar 2 em condições de sequeiro o vigor foi observado nos tratamentos de sementes 2, 4 e 5. Em condições irrigadas os tratamentos 1 e 2 se sobressaíram aos demais.

Figura 13 - Análise de primeira contagem de germinação (PCG) em relação ao desdobramento da interação entre tratamento de sementes em dois manejos de irrigação para duas cultivares. Letras minúsculas diferentes diferem os tratamentos de sementes para cada manejo. Letras maiúsculas diferentes diferem o manejo de irrigação em cada tratamento de sementes.



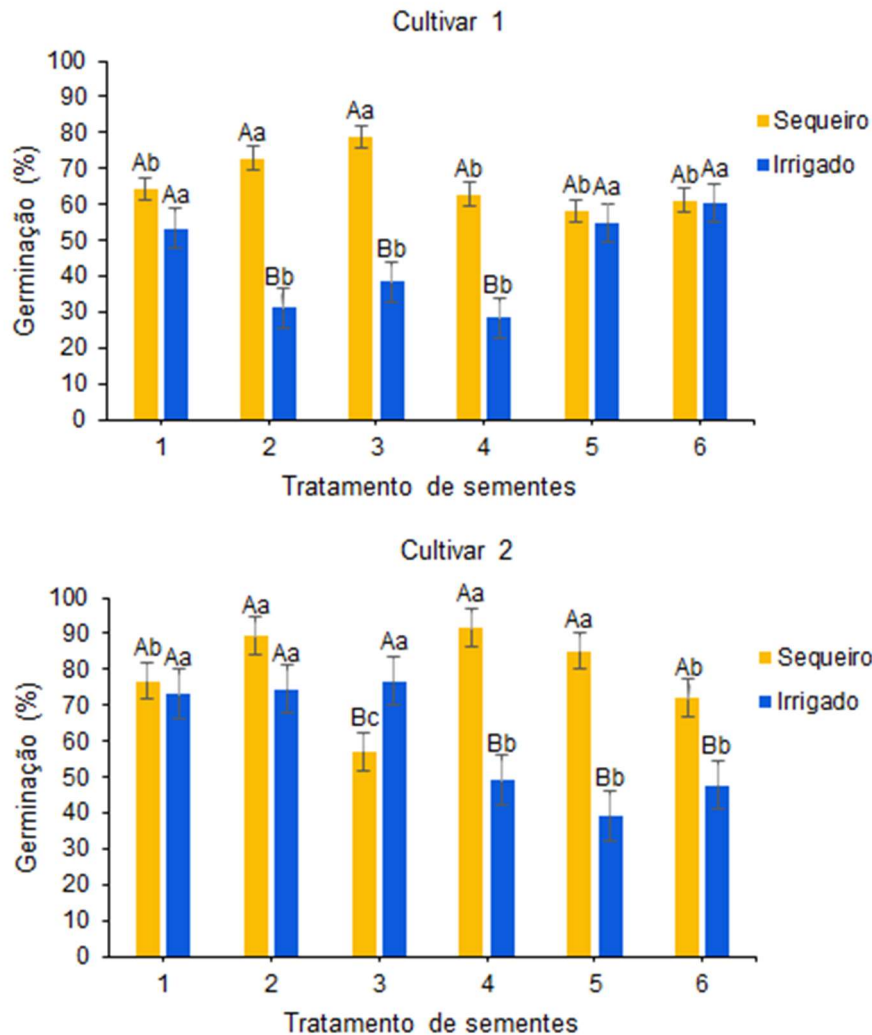
Fonte: Elaboração da autora.

A análise de primeira contagem de germinação permitiu inferir a capacidade inicial de sementes germinarem, o que conferiu maior vigor á aquelas que germinaram rapidamente. Estudos como os de Galindo *et al.* (2020) e Moradtalab *et al.* (2019), destacaram o uso de bioestimulantes como alternativa para estimular os processos fisiológicos e absorção de nutrientes pelas plantas, colaborando para a tolerâncias ao estresse hídrico. Diante do exposto, verificou-se efeito promissor para redução dos impactos de estresses ambientais evidenciados no início da cultura.

O vigor da semente proporciona a expressão do máximo potencial produtivo da cultura, pois caracteriza-se por proporcionar rápida emergência e produção de plântulas normais mesmo em condições adversas. Portanto, quanto maior o número de plântulas normais emergidas, maior o percentual de vigor da semente, e quanto maior o número de plântulas anormais emergidas, menor o percentual de vigor apresentado pelas sementes (KRZYŻANOWSKI *et al.*, 2018). Essa característica pode ser alterada de acordo com a cultivar, desta forma alguns cultivares apresentam maior capacidade de manter o estado hídrico, o que permite proporcionar maior resistência quando expostas a condições de calor e falta de água no solo.

Para o teste de germinação (Figura 14) apenas a cultivar 2 obteve porcentagens maiores que 80%, o que levou a classificação como lote de sementes. Ainda para esta cultivar, o desempenho de plântulas no tratamento 3 se demonstrou melhor em condições irrigadas, porém não diferiu dos tratamentos 1 e 2.

Figura 14 - Análise de germinação em relação ao desdobramento da interação entre tratamento de sementes em dois manejos de irrigação para duas cultivares. Letras minúsculas diferentes diferem os tratamentos de sementes para cada manejo. Letras maiúsculas diferentes diferem o manejo de irrigação em cada tratamento de sementes.



Fonte: Elaboração da autora.

Para a cultivar 1, nas condições de sequeiro, os melhores desempenhos foram obtidos nos tratamentos 2 e 3. No irrigado, os tratamentos 2, 3 e 4 não foram responsivos a irrigação, o que afetou a germinação de sementes. Este fato pode estar relacionado a lixiviação de produtos aderidos as sementes o que pode não favorecer o desempenho de plântulas. Outro fator a ser considerado é a característica do genótipo em não responder a irrigação, uma vez que a grande maioria das lavouras de soja no Brasil é conduzida em regime de sequeiro, onde há elevado risco de ocorrer déficit hídrico na instalação da cultura. Logo, a utilização de sementes vigorosas é

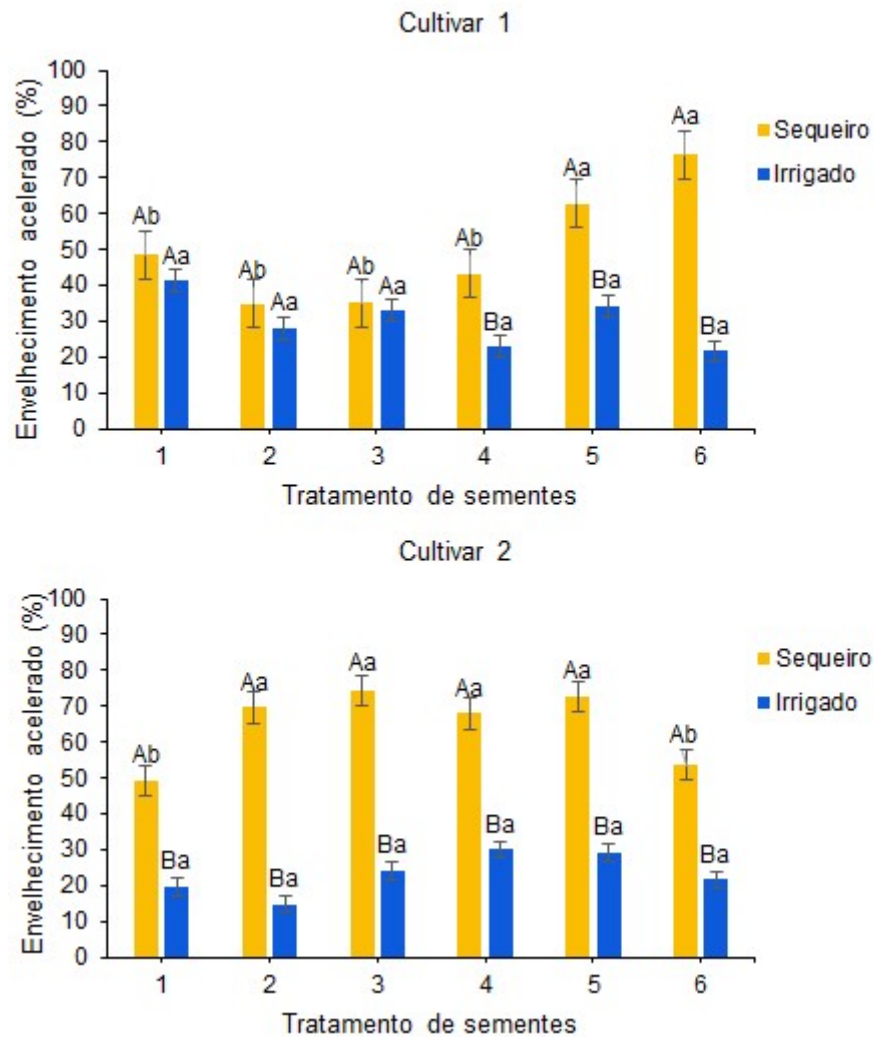
fundamental para assegurar expressivamente a probabilidade de sucesso no estabelecimento da lavoura.

Os testes que têm por base a germinação da semente, como o de PCG e o IVE estão fundamentados na atividade metabólica das sementes, que são caracterizados pela capacidade de metabolizar e transportar os tecidos de reservas presentes, como carboidratos, lipídios e proteínas nos cotilédones para o eixo embrionário, para a formação da nova plântula (KRZYZANOWSKI; FRANÇA-NETO; HENNING, 2018). Alguns relatos mostraram que é importante considerar a taxa de absorção de água durante o teste de germinação, uma vez que a integridade do DNA desempenha um papel crítico durante a embebição das sementes, preservando o desempenho das sementes de soja (PEREIRA; MASETTO, 2021), todavia, para o presente estudo as amostras encontravam-se em torno de 12% de umidade inicialmente antes das análises fisiológicas, conforme teste do teor de água.

De acordo com a legislação, lotes de sementes com germinação inferior a 80% são considerados impróprios para semeadura (BRASIL, 2009). Vale ressaltar que no presente estudo tais bioestimulantes utilizados reduziram os impactos negativos do déficit hídrico. Elansary *et al.* (2016) encontraram resultados em que as plantas tratadas com extrato de algas apresentaram melhoria da fisiologia sob condições de estresse hídrico moderado. Através destes achados, permitiu-se inferir que as cultivares apresentaram comportamentos distintos quando submetidas a condições diferentes de água no solo e que tratamento de sementes bioestimuladores promoveram a germinação, sendo melhores e mais atuantes em condições estressantes a planta promovendo a proteção nutricional das plantas.

Ao comparar a condição de sequeiro e comportamento da cultivar 1 em relação aos tratamentos de sementes (Figura 15), notou-se que os tratamentos 4 e 5 se destacaram dos demais conferindo maior vigor quando submetidas ao teste de envelhecimento acelerado, que tem por finalidade a simulação da exposição das sementes em condições de alta temperatura e umidade. Este teste de vigor permite inferir a capacidade das sementes de se desenvolverem em ambientes estressantes de altas temperaturas, o que ressalta o potencial germinativo inicial.

Figura 15 - Análise de envelhecimento acelerado em relação ao desdobramento da interação entre tratamento de sementes em dois manejos de irrigação para duas cultivares. Letras minúsculas diferentes diferem os tratamentos de sementes para cada manejo. Letras maiúsculas diferentes diferem o manejo de irrigação em cada tratamento de sementes.

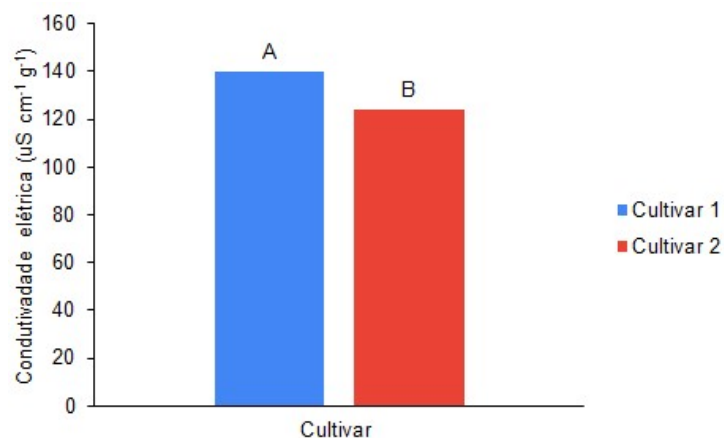


Fonte: Elaboração da autora.

Já em condições irrigadas (Figura 15) não houve diferenças entre tratamentos para a cultivar 1 e 2. Ao avaliar a cultivar 2 em condições de sequeiro, apenas os tratamentos 1 e 6 não foram responsivos. Todas as médias foram superiores em condições de sequeiro. Segundo Ojuederie *et al.* (2019), as bactérias promotoras de crescimento vegetal atuam nos mecanismos de proteção, como o acúmulo de osmólitos, os quais promovem a osmorregulação, mantendo a absorção de água pelas plantas mesmo em déficit hídrico.

Conforme demonstrado na Tabela 3 da análise de variância, para a avaliação por meio do teste de condutividade elétrica não foi identificada interação entre nenhum dos fatores. No entanto, ao considerar os fatores isolados, a cultivar 1 demonstrou maior perda de conteúdo extravasado no momento de embebição, o que inferiu menor vigor em relação a cultivar 2 (Figura 16). A perda de exsudados é resultante do mal funcionamento da membrana plasmática que ocasiona o extravasamento de conteúdo celular e possui relação com estresses sofridos pela planta. Estudos evidenciaram que os estresses causados pela deficiência hídrica ocasionam modificações na estrutura da membrana celular em plantas de soja, induz danos à membrana celular, gerando o acúmulo de EROS e conseqüentemente aumenta a permeabilidade da membrana, os quais afetaram a função das células e processos fisiológicos da planta (ALHAITHLOUL, 2019; WANG *et al.*, 2022).

Figura 16 - Análise de condutividade elétrica e a diferença entre cultivares.



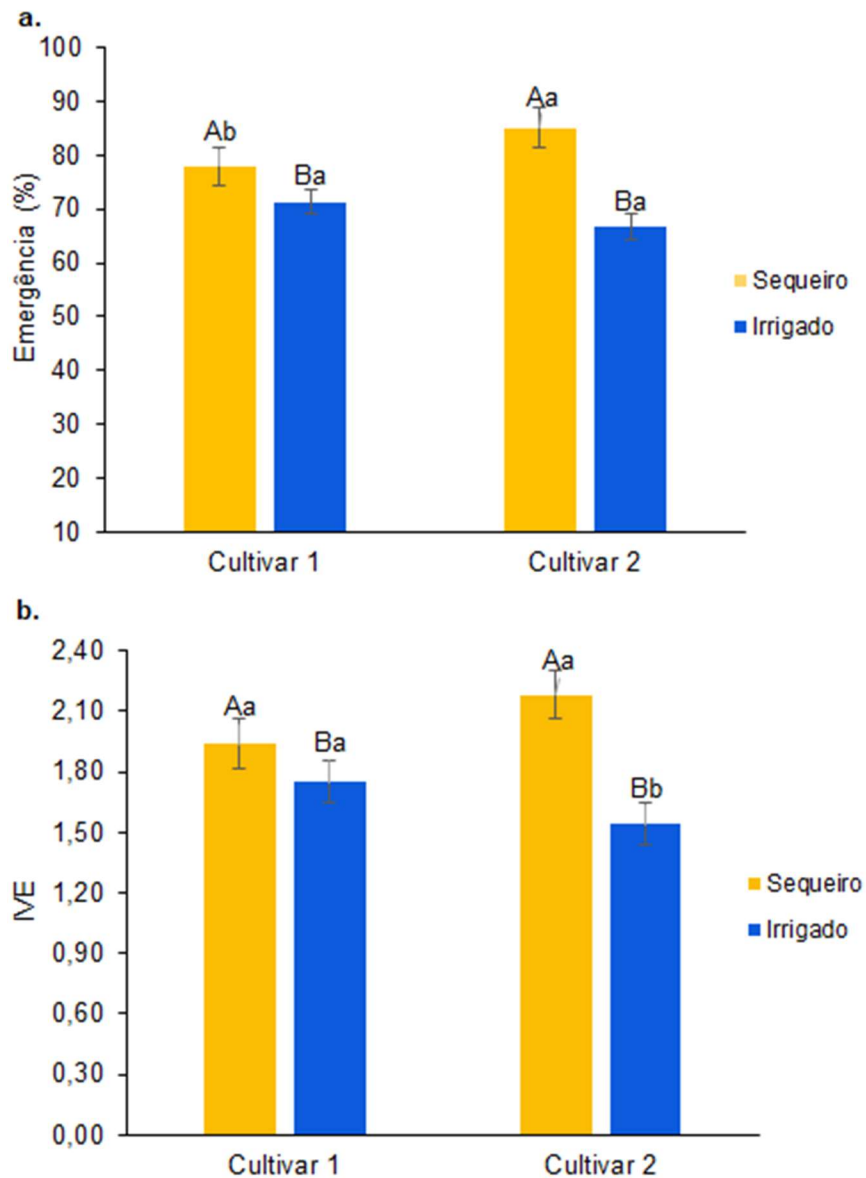
Fonte: Elaboração da autora.

Vale ressaltar que o teste de condutividade elétrica é baseado na integridade da membrana celular. Em sementes ortodoxas, como a soja, o sistema de membrana de célula se organiza de maneira diferenciada (em formato hexagonal) quando a semente atinge graus de umidade baixos como 13% a 11%, durante o processo de dessecação. É através deste fenômeno que possibilita a sobrevivência da semente a baixos graus de umidade. Quando a semente embebe para iniciar o processo de germinação, as membranas se organizam de maneira bilamelar, porém a integridade

das membranas será distinta entre os diversos níveis de vigor ou de deterioração da semente. A integridade do sistema de membranas é responsável pelo teor de lixiviados (açúcares e aminoácidos) na solução de embebição: quanto mais elevados os teores de lixiviados, maior será a condutividade elétrica medida por meio de condutímetro, portanto, mais baixo será o nível de vigor.

Através da Figura 17, observou-se que em ambas as análises de emergência e índice de velocidade a cultivar 2 demonstrou melhor desempenho que a cultivar 1 independente do manejo utilizado. Este fato corrobora com o achado na análise anterior de condutividade elétrica que demonstrou menor vigor da cultivar 1. De tal maneira, permite-se inferir que os desempenhos de plantas a campo dependem diretamente do material genético da cultivar.

Figura 17 - Análise de emergência e índice de velocidade (IVE) e a interação entre cultivares e manejos. Letras maiúsculas diferentes diferem os manejos em função dos cultivares. Letras minúsculas diferentes diferem as cultivares em cada manejo.

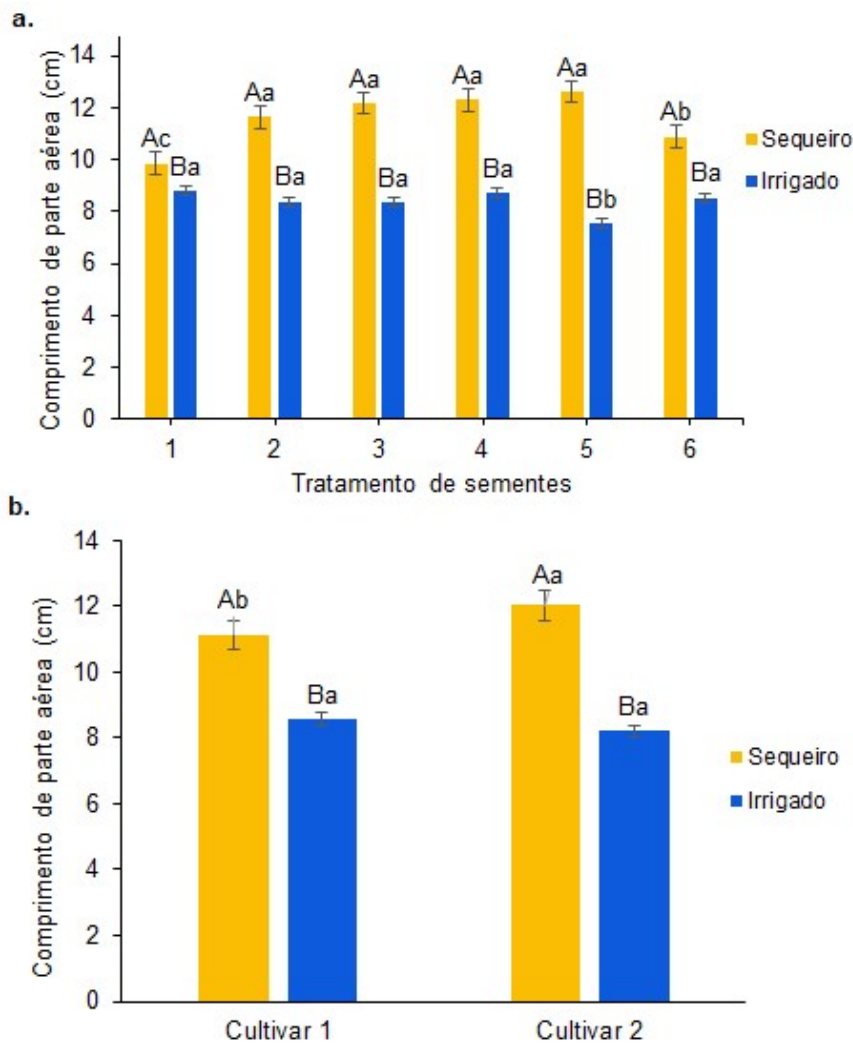


Fonte: Elaboração da autora.

Como observado nos resultados para comprimento de parte aérea contidos na Figura 7, a interação entre tratamento de sementes e manejos (Figura 7a) evidenciou superioridade dos tratamentos 2,3,4 e 5 e estes se diferenciaram do tratamento testemunha e 6. Para todos os tratamentos de sementes não houve influência da irrigação, o que pode ter dificultado a absorção dos produtos nas sementes ocasionando a lixiviação. Já para a interação entre cultivares e manejo (Figura 18b)

ambas as cultivares foram melhores sem a suplementação da irrigação, porém a cultivar 2 foi mais responsiva.

Figura 18 - Comprimento de parte aérea e a interação entre tratamento de sementes e manejos (a) e interação de cultivares com manejos (b). Letras maiúsculas diferentes diferem os manejos em função dos tratamentos e cultivares. Letras minúsculas diferentes diferem os tratamentos de sementes e as cultivares em cada manejo.

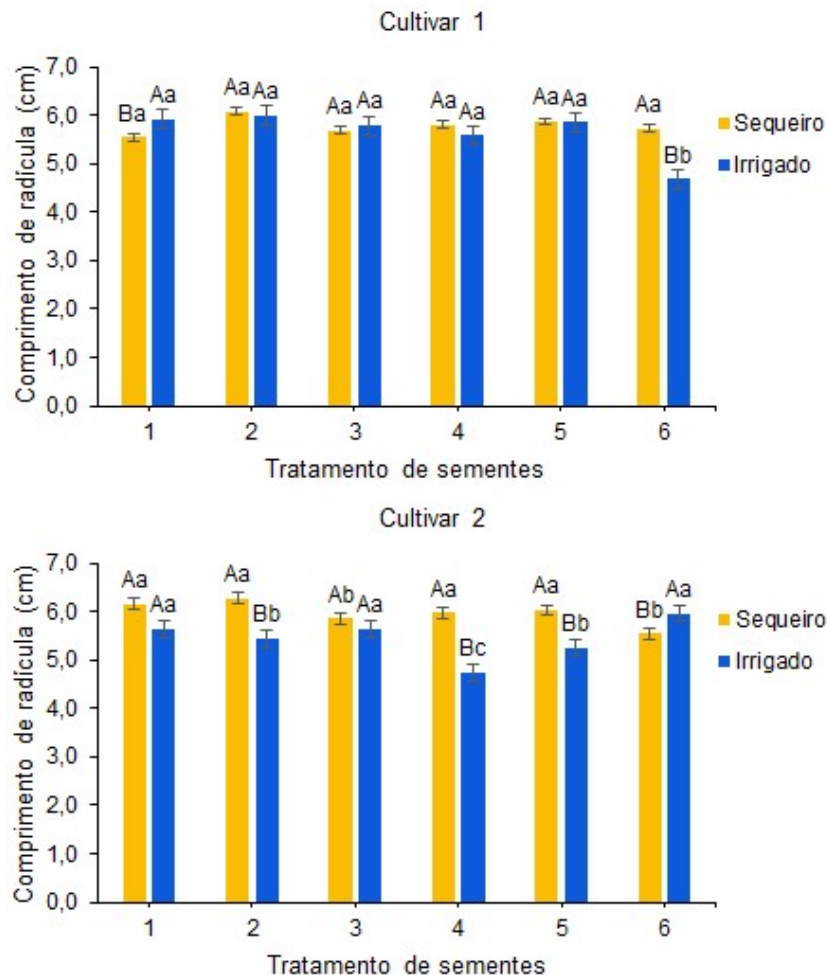


Fonte: Elaboração da autora.

Em contrapartida, para os dados de comprimento de radícula (Figura 19) as médias encontradas demonstraram que apenas o tratamento testemunha foi superior em condições irrigadas na cultivar 1 e tratamento 6 para a cultivar 2. Para a cultivar 1, todos os tratamentos demonstraram comportamento semelhante, exceto para o tratamento 6 que evidenciou menores médias em condições irrigadas. Em condições

irrigadas, o tratamento de sementes 4 demonstrou a menor média em relação aos demais. Portanto, permite-se inferir que sementes vigorosas desenvolvem um sistema radicular maior em menos tempo, o que confere maior eficiência na absorção de água e nutrientes.

Figura 19 - Comprimento de radícula em relação ao desdobramento da interação entre tratamento de sementes em dois manejos de irrigação para duas cultivares. Letras minúsculas diferentes diferem os tratamentos de sementes para cada manejo. Letras maiúsculas diferentes diferem o manejo de irrigação em cada tratamento de sementes

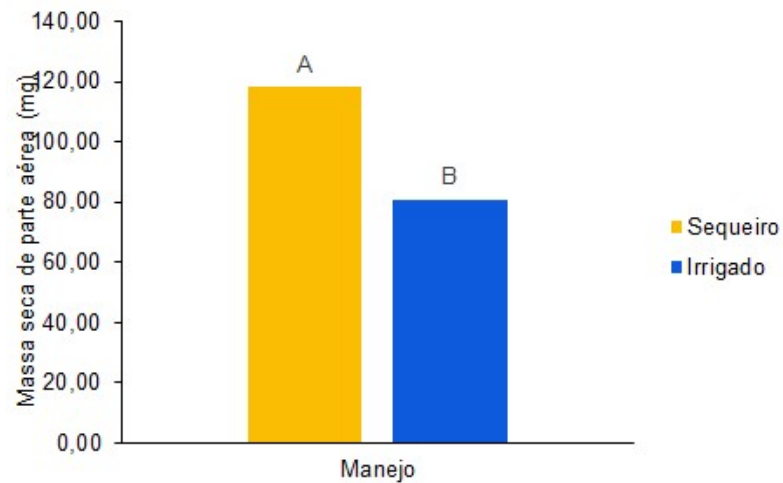


Fonte: Elaboração da autora.

A partir da Figura 20 foi possível notar que em condições de sequeiro as plântulas obtiveram maior massa seca de parte aérea. Logo, devido a superioridade

em tamanho, demonstrado pela Figura 7, os resultados se assemelharam. O acúmulo de matéria seca é resultado de sementes com maior qualidade fisiológica (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

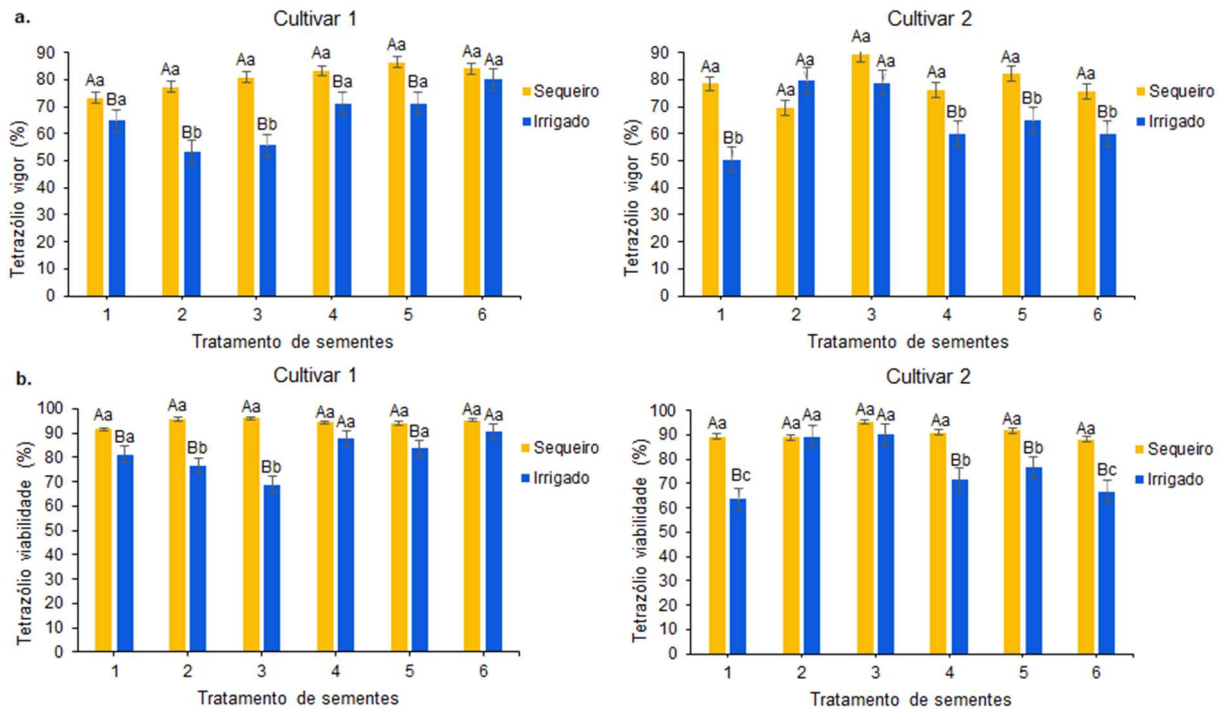
Figura 20 - Massa seca de parte aérea e a diferenças entre manejos.



Fonte: Elaboração da autora.

Os resultados do teste de tetrazolio (Figura 21) demonstraram que em sequeiro as sementes apresentaram maior vigor e viabilidade, em todos os tratamentos de sementes, todas com mínimo de 70% e máximo de 97%, respectivamente. O mesmo não ocorreu para as condições irrigadas com mínimos de 50% de vigor para a cultivar 1 nos tratamentos de sementes 2 e 3 em ambas análises de vigor e viabilidade.

Figura 21 - Vigor (a) e viabilidade (b) pelo teste de tetrazólio em relação ao desdobramento da interação entre tratamento de sementes em dois manejos de irrigação para duas cultivares. Letras minúsculas diferentes diferem os tratamentos de sementes para cada manejo. Letras maiúsculas diferentes diferem o manejo em cada tratamento de sementes.



Fonte: Elaboração da autora.

A cultivar 2 demonstrou comportamento diferente (Figura 21), pois nos tratamentos 2 e 3 em condições irrigadas houve superioridade em vigor e viabilidade. Em condições de sequeiro, não houve ranqueamento dos tratamentos de sementes. Em contrapartida ao avaliar os tratamentos de sementes, isoladamente nos manejos, apenas os tratamentos 2 e 3 demonstraram comportamento igual em irrigado e sequeiro, em ambas análises.

O teste de tetrazólio destaca-se entre os demais testes devido à possibilidade de avaliar simultaneamente a viabilidade e o vigor de sementes. Este teste é classificado como um teste bioquímico onde as sementes são embebidas em uma solução incolor de 2,3,5 trifênil cloreto ou brometo de tetrazólio, indicadora do processo de respiração (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). Os íons H^+ liberados durante a respiração dos tecidos vivos interagem com o tetrazólio, o qual é reduzido a um composto vermelho. Como esta reação se processa no interior das células vivas e o composto não se difunde, há nítida separação dos tecidos vivos e

coloridos que respiram, daqueles mortos que não colorem. Portanto, a coloração resultante da reação é uma indicação positiva da viabilidade, por meio da detecção da respiração a nível celular.

Estresses hídricos causados por déficit ou excesso de água são prejudiciais à cultura da soja, principalmente nas fases mais sensíveis como germinação/emergência e floração/enchimento das sementes. Entretanto, nesta pesquisa houve períodos de déficit hídrico somente no estágio vegetativo, relatando a capacidade da planta sobreviver e se adequar as condições edafoclimáticas. Períodos de défices prolongados e ocasionados em ambos os estádios podem causar inúmeros impactos negativos no desenvolvimento das plantas, levando a diminuição da produtividade.

Neste sentido, o uso de bioestimulantes no tratamento de sementes em condições de sequeiro podem reduzir esses efeitos deletérios em plantas cultivadas sob deficiência hídrica conforme observado no presente estudo, o que pode ser uma alternativa viável e econômica. A qualidade de sementes produzidas sob deficiência hídrica apresentou desempenho superior às sementes produzidas sem deficiência hídrica, o que pode estar relacionado a característica do genótipo e a ocorrência das épocas do déficit hídrico. A partir dos dados de chuvas, notou-se períodos de déficit hídrico somente no período vegetativo inicial onde o estande de plantas estavam se formando. Logo, as condições climáticas favoráveis observadas no período de enchimento e maturação da soja influenciaram na produção de sementes de qualidade. Para Li *et al.* (2019) plantas de soja possuem sensibilidade ao estresse hídrico principalmente no estágio reprodutivo, apresentando alterações de seus processos fisiológicos e bioquímicos, como resposta à deficiência hídrica.

Diante do contexto, cultivares de soja que possuem ciclos diferentes, ou seja, que pertencem a grupos de maturidade distintos (ALLIPRANDINI *et al.*, 2009), estão sendo buscados para antecipar o cultivo da segunda safra. Diante disso, torna-se necessário verificar se há influência da precocidade nas características associadas à qualidade fisiológica das sementes, embora alguns relatos não evidenciam efeito do grupo de maturidade relativa sobre o vigor das sementes de soja (BATISTA *et al.*, 2022).

Contudo, os processos fisiológicos das sementes que estão relacionados aos fatores que afetam a germinação, podem ser determinados geneticamente. O desempenho e o metabolismo das sementes variam entre as cultivares, embora o

ambiente e as condições de cultivo também tenham influência decisiva na tomada de decisão de produção de sementes de qualidade.

3.4 Conclusão

A utilização de bioestimulantes promove maior resistência ao déficit hídrico, além de proporcionar proteção à planta, o que demonstra capacidade de suporte em períodos de déficit hídrico em início de cultivo.

As plantas possuem capacidade de recuperação de períodos de déficit hídrico inicial com auxílio da utilização de bioestimulantes. A irrigação suplementar em início de cultivo foi considerada prejudicial, o que torna o uso de bioestimulantes prática mais econômica e viável.

O desempenho e metabolismo das sementes variam entre cultivares, embora o ambiente, manejo e as condições de cultivo também tenham influência decisiva na tomada de decisão de produção de sementes de qualidade.

REFERÊNCIAS

- AROÇA, R. **Respostas das plantas ao estresse hídrico**: de características morfológicas a moleculares. Heidelberg: Springer Berlin, 2012. 466 p. v. 1 DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0>. ISBN: 978-364232653-0; 3642326528; 978-364232652-3.
- ALLIPRANDINI, L. F. *et al.* Compreendendo os grupos de maturidade da soja no Brasil: Ambiente, classificação de cultivares e estabilidade. **Crop Science**, Hoboken, v. 49, p. 801-808, 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/852648/1/SP15720.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.
- ALHAITHLOUL, H. A. S. Impact of Combined Heat and Drought Stress on the Potential Growth Responses of the Desert Grass *Artemisia sieberi alba* Relation to Biochemical and Molecular Adaptation. **Plants**, Basel, v. 8, p. 416-441, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8100416>.
- BATISTA, E. C. *et al.* Qualidade fisiológica de sementes de soja e influência do grupo de maturidade. **Journal of Seed Science**, Brasília, DF, v. 44, p. e202244026, 2022. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2317-15372022000100125&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 20 fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44261325>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 399 p.
- CHIAIESE, P. *et al.* Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, n. 1782, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01782>.
- ELANSARY, H. O.; SKALICKA-WOŹNIAK, K.; KING, I. W. Enhancing stress growth traits as well as phytochemical and antioxidant contents of *Spiraea* and *Pittosporum* under seaweed extract treatments. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 105, p. 310-320, 2016.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soy-bean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Agriculture and Home Economics Experiment Station, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, 80).
- FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: Embrapa Soja (CNPQSO), 2018. 108 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 20 fev. 2023.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. **A alta qualidade da semente de soja**: fator importante para a produção da cultura. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 136 p. (Circular Técnica). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1091765/a-alta-qualidade-da-semente-de-soja-fator-importante-para-a-producao-da-cultura>. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44261325>.

GALINDO, F. S. *et al.* Can silicon applied to correct soil acidity in combination with *Azospirillum brasilense* inoculation improve nitrogen use efficiency in maize?. **Plos one**, v. 15, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230954>

LI, S.; WANG, W.; CAO, Y.; WANG, C.; YAN, C.; DONG, L.; WU, L.; XIE, F.; SONG, S. How root traits would be affected by soybean yield improvement? An examination of historical cultivars grafted with record-yield cultivar scion. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 439, p. 19–30, 2019.

MACHADO, C. S.; SILVA, C. R. D.; SANCHES, M. C.; HAMAWAKI, O. T.; SOUSA, L. B. D.; Physiologic parameters of soybean of determinate and indeterminate growth habit subjected to levels of soil moisture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, p. 419-425, 2017.

MORADTALAB, N. *et al.* Silicon and the association with an arbuscular mycorrhizal fungus (*Rhizophagus clarus*) mitigate the adverse effects of drought stress on strawberry. **Agronomy Journal**, Madison, v. 9, n. 41, p. 1-20, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9010041>

PEREIRA, L. S.; MASETTO, T. E. Water uptake dynamics in soybean seeds: influence in seeds performance and DNA integrity. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 51, n. 3, p. 1-8, 2021.

OJUEDERIE, O. B.; OLANREWAJU, O. S.; BABALOLA, O. O. Plant growth promoting rhizobacterial mitigation of drought stress in crop plants: implications for sustainable agriculture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 9, p. 712, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9110712>.

SHAHRAJABIAN, M. H. *et al.* Biostimulants application: a low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. **Biomolecules**, Basel, v. 11, n. 698, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11050698>.

SHEN, S. Y.; WU, Y. X.; ZHENG, Y. S. Review on drought response in plants from phenotype to molecular. **Current Biotechnology**, Basel, v. 7, p. 169–17, 2017.

VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica. *In*: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 103-132.

WANG, X.; ZHANG, W.; ZHOU, Q.; WANG, X.; SONG, S.; DONG, S. Physiological Response of Soybean Plants to Water Deficit. **Front Plant Science**, Shannon, v. 12, p. 809692, 2022. DOI: [10.3389/fpls.2021.809692](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.809692).