

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SUBSTRATO, TEOR DE
ÁGUA INICIAL E TRATAMENTO QUÍMICO DAS SEMENTES
NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE SOJA**

Renato Téo de Barros
Engenheiro Agrônomo

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SUBSTRATO, TEOR DE
ÁGUA INICIAL E TRATAMENTO QUÍMICO DAS SEMENTES
NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE SOJA**

Discente: Renato Téó de Barros

Orientadora: Prof^a Dr^a Cibeles Chalita Martins

**Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como
parte das exigências para a obtenção
do título de Doutor em Agronomia
(Produção Vegetal)**

B277d

Barros, Renato Téo de

Disponibilidade hídrica do substrato, teor de água inicial e tratamento químico das sementes na emergência de plântulas de soja. / Renato Téo de Barros. -- Jaboticabal, 2023

61 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Cíbele Chalita Martins

1. Sementes. 2. Soja. 3. Plântulas. 4. Fungicidas. 5. Inseticidas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SUBSTRATO, TEOR DE ÁGUA INICIAL E TRATAMENTO QUÍMICO DAS SEMENTES NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE SOJA

AUTOR: RENATO TEO DE BARROS

ORIENTADORA: CIBELE CHALITA MARTINS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CIBELE CHALITA MARTINS (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
gov.br CIBELE CHALITA MARTINS
Data: 26/06/2023 13:11:46-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Pós-doutorando GIVANILDO ZILDO DA SILVA (Participação Virtual)
Universidade Federal de Goiás / Jataí/GO

Documento assinado digitalmente
gov.br GIVANILDO ZILDO DA SILVA
Data: 26/06/2023 13:43:29-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. CARLA GOMES MACHADO (Participação Virtual)
Universidade Federal de Goiás - UFG / Campus Jatobá - Jataí/GO

Documento assinado digitalmente
gov.br CARLA GOMES MACHADO
Data: 26/06/2023 15:08:17-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dra. TATIANE SANCHES JEROMINI (Participação Virtual)
Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul / Aquidauana/MS

Documento assinado digitalmente
gov.br TATIANE SANCHES JEROMINI
Data: 26/06/2023 16:05:29-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. SILVIA SANIELLE COSTA DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Núcleo de Estudos de Espécies Nativas do Cerrado - NATIVAS / Instituto Federal de Educação IF Goiano - Iporá/GO

Documento assinado digitalmente
gov.br SILVIA SANIELLE COSTA DE OLIVEIRA
Data: 26/06/2023 15:26:16-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Jaboticabal, 26 de junho de 2023

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RENATO TÉO DE BARROS – Natural de Ribeirão Preto/SP, nascido em 07 de fevereiro de 1994 e filho de Maria José Téó de Barros e Sergio de Barros (*in memoriam*). Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal/SP (UNESP/FCAV). Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) na área de Produção e Tecnologia de Sementes sob orientação da Profa. Dra. Cibeles Chalita Martins. Ainda durante a graduação foi membro da empresa júnior da UNESP/FCAV Cap Jr Consultoria, contribuindo como Diretor de Projetos de Agronomia. Fez seu estágio curricular na área comercial da empresa de químicos UPL do Brasil em Tangará da Serra/MT. Conquistou o título de mestre em Agronomia (Produção Vegetal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP), Campus de Jaboticabal-SP, sob orientação da Profa. Dra. Cibeles Chalita Martins em 2019 e no mesmo ano iniciou o curso de Doutorado pelo Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP), Campus de Jaboticabal-SP, como bolsista CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) sob orientação da Profa. Dra. Cibeles Chalita Martins. Atuou como Assistente Técnico Comercial nas empresas de genética de soja GDM e Monsoy em Rio Verde/GO nos anos de 2021 e 2022 e atualmente é Representante Técnico de Vendas no multiplicador de soja Bela Sementes, em São Paulo e Sul de Minas.

“Em Deus nós confiamos; todos os outros devem trazer dados”

William Edwards Deming

À minha mãe Maria José Téo de Barros e ao meu pai Sergio de Barros (*in memoriam*), meus maiores apoiadores e incentivadores durante toda minha trajetória.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família: meu pai Sergio (*in memoriam*), minha mãe Maria José e minha irmã Taís, por me apoiarem e me amarem incondicionalmente não só durante minha trajetória acadêmica mas durante toda minha vida, o que foi fundamental em toda minha caminhada.

Agradeço também especialmente a minha orientadora Profa. Dra. Cibele Chalita Martins, por estar presente em minha trajetória desde o início da minha graduação até o doutorado, fornecendo conhecimento e suporte imprescindíveis para meu crescimento profissional e pessoal.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Câmpus de Jaboticabal pela excelente qualidade de ensino e pela oportunidade de realização desse trabalho de pesquisa.

Aos meus companheiros de laboratório e amigos Thaís, Tatiane, Breno, Givanildo, Elder, José e Ana Sara, por me ajudarem em todas as etapas do meu projeto de pesquisa e pelo companheirismo em todas as horas.

Aos membros da banca Prof. Dr. Matheus e Prof. Dr. Victor, por terem disponibilizado de tempo e conhecimento para comporem a banca e contribuírem com o trabalho.

Chegar até aqui em o apoio de todos não seria possível, meu muito obrigado a todos que acreditaram em mim.

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

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
1.1. INTRODUÇÃO.....	1
1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.2.1 A soja.....	3
1.2.2. A água na semente.....	4
1.2.3. Disponibilidade hídrica do substrato.....	5
1.2.4. Tratamento de sementes.....	7
1.3. REFERÊNCIAS.....	8
CAPÍTULO 2 - Disponibilidade hídrica e teor de água inicial das sementes na emergência de plântulas de soja.....	13
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	13
2.1. INTRODUÇÃO.....	14
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
2.4. CONCLUSÕES.....	29
2.5. REFERÊNCIAS.....	29
CAPÍTULO 3 - Emergência de plântulas de soja em função da disponibilidade hídrica do substrato e tratamento de sementes.....	32
RESUMO.....	32
ABSTRACT.....	32
3.1. INTRODUÇÃO.....	33
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
3.4. CONCLUSÕES.....	47
3.5. REFERÊNCIAS.....	47

DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SUBSTRATO, TEOR DE ÁGUA INICIAL E TRATAMENTO QUÍMICO DAS SEMENTES NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE SOJA

RESUMO – A semente de soja depende de atributos como teor de água inicial adequado para expressar elevada qualidade, além de demandar condições ambientais favoráveis para completar o processo germinativo, como disponibilidade hídrica do substrato adequada e proteção contra o ataque de insetos e patógenos. Foram realizados dois experimentos e os objetivos foram: (I) verificar o efeito do teor de água de sementes de soja tratadas sobre a emergência de plântulas em diferentes condições de disponibilidade hídrica; (II) verificar o efeito do tratamento químico das sementes de soja sobre a emergência de plântulas em condições de estresse hídrico. No primeiro experimento, sementes das cultivares NS 7007 IPRO, Brasmax Desafio 8473RSF RR, Brasmax Bônus 8579RSF IPRO e Brasmax Foco 74I77RSF IPRO tiveram o teor de água inicial ajustado para 8, 11, e 14% e foram semeadas em solo sob quatro níveis de potencial hídrico (-0,01; -0,02; -0,10 e -0,40 MPa), compondo um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 3 com quatro repetições. Foram avaliados os seguintes parâmetros de qualidade das sementes: condutividade elétrica, porcentagem, tempo médio e velocidade de emergência de plântulas, massa fresca e massa seca de plântulas. Já no segundo experimento, sementes das cultivares 8579RSF IPRO, NS 7007 IPRO, 8473RSF RR e 74I77RSF IPRO foram tratadas utilizando-se metalaxil, fludioxonil e tiametoxam, e foram utilizadas sementes sem tratamento como testemunha. As sementes tiveram o teor de água ajustado para 11 % e foram semeadas em terra sob quatro níveis de potencial hídrico (-0,01; -0,02; -0,10 e -0,40 MPa), compondo um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2 com quatro repetições. Foram avaliados os seguintes parâmetros de qualidade das sementes: condutividade elétrica, porcentagem, tempo inicial, final, médio e frequência relativa de emergência e velocidade de emergência. Os dados dos dois experimentos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Sementes de soja tratadas com metalaxil-m, fludioxonil e tiametoxam apresentam melhor manutenção das membranas, assim como aquelas com 14% de teor de água. Não há restrição para a semeadura de sementes de soja com teor de água entre 8 e 14% quando o solo se encontra sob o potencial hídrico de -0,01 MPa. Em condições de restrição hídrica do solo, recomenda-se a utilização de sementes com teor de água entre 11 e 14%. Sob condições de déficit hídrico, sementes de soja tratadas com metalaxil-m, fludioxonil e tiametoxam apresentam melhor desempenho na emergência de plântulas, enquanto que sob potencial hídrico de -0,01 MPa o tratamento químico de sementes não influencia no desempenho das sementes em campo.

Palavras-chave: condutividade elétrica, déficit hídrico, tratamento de sementes, fungicida, *Glycine max* (L.) Merrill.

WATER AVAILABILITY, INITIAL WATER CONTENT AND CHEMICAL TREATMENT OF SEEDS IN THE EMERGENCY OF SOYBEAN SEEDLINGS

ABSTRACT - Soybean seeds depends on attributes such as adequate initial water content to present high physiological quality, in addition to demanding favorable environmental conditions to complete the germination process, such as adequate substrate water availability and protection against insects and pathogens attack. Two experiments were conducted with the following goals: (I) evaluate the effect of water content of the soybean seeds on the seedling emergence in different conditions of water availability; (II) verify the effect of chemical treatment of soybean seeds on seedling emergence under water stress conditions. At the first experiment, seeds of NS 7007 IPRO, Brasmax Desafio 8473RSF RR, Brasmax Bônus 8579RSF IPRO and Brasmax Foco 74I77RSF IPRO cultivars had their initial water content adjusted to 8, 11, and 14% and were sown in soil under four water potential levels (-0.01; -0.02; -0.10 and -0.40 MPa), composing a completely randomized experimental design in a 4 x 3 factorial scheme with four replicates. The following seed quality parameters were evaluated: electrical conductivity, percentagem of emergence, mean time and seedling emergence speed, fresh and dry weight of seedlings. In the second experiment, seeds of cultivars 8579RSF IPRO, NS 7007 IPRO, 8473RSF RR and 74I77RSF IPRO were treated using metalaxyl, fludioxonil and thiamethoxam, and untreated seeds were used as a control. The seeds had their water content adjusted to 11% and were sown on land under four levels of water potential (-0.01; -0.02; -0.10 and -0.40 MPa), composing a completely randomized experimental design in a 4 x 2 factorial scheme with four replications. The following seed quality parameters were evaluated: electrical conductivity, percentage, initial, final, mean and relative frequency of emergence and emergence speed. The data of both experiments were submitted to analysis of variance and means were compared using Tukey's test ($p < 0.05$). Soybean seeds treated with metalaxyl-m, fludioxonil and thiamethoxam show better membrane maintenance, as do those with 14% water content. There is no restriction on sowing soybean seeds with a water content between 8 and 14% when the soil is at a water potential of -0.01 MPa. In conditions of soil water restriction, it is recommended to use seeds with a water content between 11 and 14%. Under water deficit conditions, soybean seeds treated with metalaxyl-m, fludioxonil and thiamethoxam show better seedling emergence performance, while under water potential of -0.01 MPa, chemical seed treatment does not influence seed performance.

Keywords: electrical conductivity, fungicide, *Glycine max* (L.) Merrill., seeds treatment, water déficit.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1. INTRODUÇÃO

Os patamares de produtividade de soja alcançados nos últimos anos são possíveis graças à uma junção de fatores, como o desenvolvimento de cultivares adaptados às condições restritivas, pesquisas para otimização do sistema produtivo e a utilização de insumos com elevada qualidade, podendo-se destacar a semente como um destes. A semente carrega o papel de levar ao produtor a genética obtida pelos programas de melhoramento, após anos de pesquisa, e o pacote biotecnológico utilizado para conferir à planta atributos como proteção contra o ataque de lagartas e resistência aos herbicidas.

Para que um lote de semente atenda aos padrões de qualidade exigidos para a comercialização, é necessário que as sementes apresentem atributos genéticos, físicos, sanitários e fisiológicos adequados. Entre os atributos que afetam a qualidade das sementes podemos citar o teor de água como um dos principais. Sementes com elevados teores de água podem favorecer a ocorrência de patógenos, insetos e a ocorrência de dano mecânico por esmagamento. Já sementes com baixo teor de água podem sofrer danos nas membranas celulares causados pela rápida entrada de água após a semeadura.

Além dos fatores endógenos, a semente depende de fatores externos para retomar o desenvolvimento do eixo embrionário e dar origem a uma plântula no campo, como o fornecimento adequado de luz, temperatura, oxigênio e água. A água assume o papel de reativar o metabolismo da semente e está envolvido nos processos de quebra e transporte do material de reserva das sementes, afetando tanto a porcentagem como a velocidade da germinação no campo.

Quando disposta em um substrato com baixo teor de água, a semente pode levar mais tempo para completar o processo germinativo e gerar uma plântula, ficando mais tempo susceptível ao ataque de insetos e patógenos. Para garantir que a semente expresse seu potencial fisiológico livre dos estresses bióticos, o tratamento químico de sementes com fungicida e inseticida é uma prática amplamente adotada nas lavouras de soja. Além de proteger a semente no estabelecimento de uma

lavoura, os produtos químicos podem promover alterações morfológicas e fisiológicas nas sementes e plântulas, podendo alterar a maneira como a germinação ocorre na presença de estresses abióticos.

Alguns trabalhos na literatura relatam os efeitos do déficit hídrico na germinação e emergência de soja com baixo teor de água, porém, na maioria dos casos esse estresse foi causado de maneira artificial em rolos de papel, ou não foi avaliada a influência do tratamento de sementes no processo.

Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da disponibilidade hídrica do substrato, teor de água inicial e tratamento químico de sementes na emergência de plântulas de soja.

1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1. A soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma espécie herbácea, de ciclo anual, classificada na divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales e família Fabaceae. Trata-se de uma espécie de dia curto, com reprodução autógama, porte ereto e altura que pode variar de 0,3 a 2,0 m (Costa, 1996). A soja foi inicialmente domesticada na China, e posteriormente introduzida nas regiões agrícolas como Estados Unidos e Brasil (López-López et al., 2010).

O grão de soja apresenta entre 40 a 42% de proteína, a maior dentre as oleaginosas cultivadas, sendo utilizada como matéria prima na produção de alimentos proteicos, como farinha, leite e proteína texturizada (Robert, 1986; Ávila e Albrecht, 2010). Também apresenta na sua composição química 18 a 22% de óleo, que é extraído pela indústria para a alimentação humana, a segunda maior quantidade entre as leguminosas cultivadas, superada somente pelo amendoim e canola (Robert, 1986; Ávila e Albrecht, 2010). Além disso, o grão ainda é utilizado na fabricação de derivados como biodiesel, tintas, fibras, entre outros (Ávila e Albrecht, 2010).

No Brasil, a soja teve o seu maior avanço em área cultivada em meados da década de 1970, superando a China e se tornando, na época, o segundo maior produtor do grão, superado somente pelos Estados Unidos (Missão, 2006). No ano de 2020 o Brasil superou os Estados Unidos na produção do grão e é considerado o maior produtor soja do mundo (USDA, 2023).

A produção mundial de soja na safra 2022/2023 está prevista para ser 4,8% maior do que a safra passada, passando de 358,14 para 375,15 milhões de toneladas. Este aumento é liderado pelo Brasil, que irá produzir 153,0 milhões de toneladas da oleaginosa, contra 129,5 produzidas na safra 2021/2022, um aumento de 18,1%, sendo responsável por 41% da produção mundial (USDA, 2023).

O avanço na produtividade da soja ao longo dos anos é possibilitado pelo emprego de novas tecnologias, como o desenvolvimento de cultivares, formulações de produtos fitossanitários e fertilizantes, avanços na mecanização, pesquisas que visam aprimorar a relação planta-ambiente e a utilização de sementes de alta

qualidade. A semente é considerada um dos principais insumos ligados à produtividade, já que a utilização de sementes com padrões adequados de qualidade física, genética, sanitária e fisiológica permite o estabelecimento da lavoura de maneira rápida e uniforme (Carvalho e Nakagawa, 2012; Ebone et al., 2019). Para que um lote de semente seja classificado como de alta qualidade fisiológica, as sementes devem conter características físicas, sanitárias, genéticas e fisiológicas adequadas (França Neto et al., 2010).

1.2.2. A água na semente

Entre os atributos fisiológicos que afetam a germinação podemos citar o acúmulo de matéria seca, maturidade fisiológica e o teor de água das sementes (Rosseto et al., 1997b). A água desempenha função tanto na organização de estruturas das sementes como também é fundamental nos processos bioquímicos de síntese e hidrólise, sendo que a redução da sua disponibilidade diminui a difusão de solutos para as regiões metabolicamente mais ativas (Duarte et al., 2018).

Na germinação, a água está envolvida em todas as etapas, reativando o metabolismo das sementes e sendo responsável pela quebra e transporte de substâncias até a protrusão da raiz primária (Duarte et al., 2018).

A embebição de água pelas sementes durante a germinação, em condições ideais de suprimento hídrico, é representada por um padrão trifásico. Na primeira fase da embebição (fase I), ocorre uma rápida entrada de água nas sementes devido à diferença de potencial entre a semente e o substrato. Na fase II a absorção de água é mais lenta, devido ao maior equilíbrio no potencial hídrico entre a semente e o substrato. É na fase II que ocorrem as reações metabólicas preparatórias para a emergência da raiz primária e retomada do desenvolvimento do eixo embrionário, como a quebra e transporte de materiais de reserva. Já na fase III, é observada a redução do potencial hídrico da semente devido à produção de substâncias osmoticamente ativas, causando a retomada de uma rápida absorção de água, sendo nesta fase que é observada a protrusão da raiz primária (Bewley & Black, 1994).

A água também é essencial na manutenção da organização e integridade das membranas celulares, devido sua atuação na estrutura fosfolipídica (Marcos Filho, 2015). As membranas desempenham papel de gerenciamento de fluxo de materiais entre compartimentos celulares, por meio da interligação da atividade enzimática, e mantêm a individualidade dos compartimentos celulares, logo, a desorganização dos sistemas de membranas afetam negativamente o desempenho das sementes (Priestley, 1986), sendo que a degradação das membranas celulares é considerada o primeiro evento na degradação da qualidade fisiológica (Delouche e Baskin, 1973).

As membranas celulares podem sofrer injúrias durante o processo germinativo devido à rápida hidratação das sementes, sobretudo em condições em que o teor de água das sementes está abaixo de 11% e são dispostas em ambientes de elevada disponibilidade hídrica (Marcos Filho, 2015).

Para verificar o grau de organização das membranas celulares de sementes um teste muito utilizado é o de condutividade elétrica. O teste de condutividade avalia indiretamente o grau de organização das membranas celulares através da quantificação de lixiviados na solução de embebição das sementes, em que menores valores de condutividade indicam maior qualidade fisiológica das sementes (Vieira et al., 2002).

No caso da soja, trabalhos conduzidos nesse sentido verificaram maiores valores de condutividade elétrica em sementes com menores teores de água. Vieira et al. (2002) constataram maiores valores em sementes de soja com 7% teor de água em relação a sementes com 9, 11, 13, 15 e 17%. Rossetto et al. (1997a) também verificaram maiores valores de condutividade para sementes de soja com teor de água de 9% em relação a sementes com 11 e 13% em três lotes avaliados. indicando que o teor de água das sementes de soja pode afetar a organização das membranas celulares, afetando desta maneira a qualidade fisiológica.

1.2.3. Disponibilidade hídrica do substrato

Para que a semente retome o desenvolvimento do eixo embrionário no processo germinativo e dê origem à uma plântula é necessário que sejam atendidas

demandas ambientais de luz, oxigênio, temperatura e água adequadas (Carvalho e Nakagawa, 2012). A disponibilidade de água no solo afeta a germinação das sementes, o estabelecimento e o desenvolvimento da planta e a sua produção no campo (Silva & Villela, 2011; Ebone et al., 2019; Salton et al., 2021). As sementes precisam absorver uma quantidade mínima de água para dar início ao processo germinativo e, no caso da soja, essa quantidade gira em torno de 50 % do seu peso em água (Marcos Filho, 2015).

A disponibilidade hídrica é um dos fatores mais limitantes no estabelecimento de lavouras, já que em áreas não irrigadas depende-se do regime hídrico da região de cultivo, e o processo germinativo pode ser prejudicado ou até mesmo cessado em casos de déficit hídrico (Hubbard, 2012). As recentes mudanças climáticas nas regiões de cultivo, sobretudo no que se refere aos regimes pluviométricos, reforçam as preocupações sobre os impactos no estabelecimento de lavouras, e consequentemente na agricultura (De Paola et al., 2014). Essa preocupação se torna mais pertinente no caso de culturas sensíveis à seca como a soja (Basal et al., 2020), sobretudo em áreas onde se pratica a “semeadura no pó”, prática em que a semeadura é realizada antes da regularização das chuvas.

Condições de estresse hídrico no estabelecimento de lavouras causam não somente a redução da porcentagem germinação de sementes, como também prejudicam o desenvolvimento de plântulas. A redução do potencial hídrico das células causa a diminuição do turgor, que por sua vez causa redução da síntese de DNA, redução da ativação enzimática, falta de mobilização de reservas e, consecutivamente, redução no crescimento (Jaleel et al., 2009, Viçosi et al., 2017).

Viçosi et al (2017) verificaram diminuição na porcentagem de germinação em sementes de soja a partir do potencial hídrico de -1,2 MPa e reduções no comprimento da radícula e hipocótilo a partir de -0,6 MPa. Soares et al (2015) verificaram quedas na porcentagem de germinação de sementes de soja a partir do potencial osmótico de -0,6 MPa, tanto no déficit induzido por manitol como por NaCl.

Os efeitos prejudiciais sobre o desempenho germinativo de sementes de soja devido ao estresse hídrico também foram verificados por Colete et al (2007), que verificaram queda de aproximadamente 20% na emergência de plântulas em solo sob disponibilidade hídrica de -0,6 MPa em relação à -0,2 MPa. Além disso, estes autores

estabeleceram relação entre a condutividade elétrica da solução de embebição e a emergência de plântulas, pois verificaram-que quanto maior a condutividade elétrica da solução, menor a emergência de plântulas.

Como citado anteriormente, vários trabalhos comprovaram a redução nas porcentagens de germinação e emergência em condições de déficit hídrico (Colete et al., 2007, Pereira et al., 2013, Rosseto et al., 1997a, Rosseto et al., 1997b, Soares et al., 2015, Viçosi et al., 2017). Porém, na maioria destas pesquisas o estresse foi causado de maneira artificial com reguladores osmóticos em rolo de papel (Pereira et al., 2013, Rosseto et al., 1997a, Soares et al., 2015; Viçosi et al., 2017), ou não foram testadas sementes com teor de água abaixo do ideal para a germinação (Colete et al., 2007; Pereira et al., 2013, Soares et al., 2013, Viçosi et al., 2017), impedindo estabelecer relação entre a queda da germinação com a desestruturação das membranas causada pela rápida entrada de água.

1.2.4. Tratamento de sementes

Na etapa inicial do estabelecimento de uma lavoura as sementes estão susceptíveis ao ataque de insetos e patógenos, sendo necessária a adoção de estratégias que protejam as sementes e plântulas em uma das fases mais sensíveis do ciclo de culturas agrícolas. O tratamento químico de sementes com fungicidas, inseticidas e nematicidas é a prática utilizada para essa proteção, promovendo maior uniformidade na emergência de plântulas (Lacerda et al., 2021; Sartori et al., 2020).

A prática do tratamento químico protege a semente não somente contra patógenos associados à semente, mas também contra os patógenos e insetos presentes no solo, doenças de armazenamento e insetos foliares iniciais, favorecendo a formação de um estande adequado e a emergência de plântulas vigorosas (Buzzerio, 2010).

Há diferentes grupos químicos de inseticidas e fungicidas que são atualmente utilizados no tratamento de sementes de soja. Como exemplo de fungicidas, temos os ingredientes ativos Metalaxil-m (grupos dos aciclaninatos) e Fludioxonil (fenilpirrol), que são utilizados no controle dos patógenos *Fusarium pallidoroseum* (Cooke),

Penicillium spp, *Rhizoctonia solani* (Kuhn), *Colletotrichum truncatum* [(Schw.) Andrus e WD Moore], *Cercospora kikuchii* (Tak. Matsumoto e Tomoy.) M. W. Gardner, e *Phomopsis sojae* (Leh). Já como exemplo de inseticida temos o Tiametoxam (grupo químico dos neonicotinóides), que atua na proteção inicial em sementes e plântulas contra a lagarta-elasma (*Elasmopalpus lignosellus* [Zeller]), cupim-de-monte (*Procornitermes triacifer* [Silvestri]), mosca-branca (*Bemisia tabaci* [Gennadius] raça B), tamanduá-da-soja (*Sternechus subsignatus* [Boheman]), torrãozinho (*Aracanthus mourei* [Rosado Neto]), coró (*Liogenys fuscus* [Blanchard]) e vaquinha-verde-amarela (*Diabrotica speciosa* [Germar]).

Os inseticidas e fungicidas aplicados na semente no processo de tratamento químico podem promover alterações morfológicas e fisiológicas em sementes e plântulas. Trabalhos de pesquisas realizados nesse sentido indicaram que o inseticida tiametoxam, por exemplo, pode ter ação bioestimulante em sementes, ativando reações a expressão de proteínas da membrana (Almeida et al., 2011). Outro exemplo é o de formulações contendo fludioxonil, que podem promover maior desenvolvimento radicular e massa seca de parte aérea e foliar em condição de déficit hídrico (Balardin et al., 2011). Já os fungicidas do grupo químicos das estrubilurinas podem causar efeito bioestimulante e indutor de resistência (Sudisha et al., 2010).

O tratamento químico de sementes é uma prática eficiente na redução de estresses bióticos na fase inicial de uma lavoura. Porém, ainda temos informações limitadas sobre o efeito dos produtos químicos utilizados atualmente no vigor de sementes e sua interação com a disponibilidade hídrica do substrato e teor de água das sementes.

1.3. REFERÊNCIAS

Almeida, ADS, Carvalho, I, Deuner, C, Villela, FA (2011) Bioativador no desempenho fisiológico de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Sementes** 33:501-510.

Ávila, MR, Albrecht, LP (2010) Isoflavonas e a qualidade das sementes de soja. **Informativo Abrates**, 20:15-29.

Balardin, RS, Silva, FDL, Debona, D, Dalla Corte, G, Dalla Favera, D, Tormen, NR (2011) Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. **Ciência Rural** 41:1120-1126.

Bewley, JD, Black, M. (1994) *Seeds: physiology of development and germination*. New York: Plenum Press, 445 p.

Buzzerio, NF (2010) Ferramentas para qualidade de sementes no tratamento de sementes profissional. **Informativo ABRATES**, 20:56.

Carvalho, NM, Nakagawa, J (2012) **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 590 p.

Colete, JCF, Vieira, RD, Panobianco, M, Dutra, AS (2007) Condutividade elétrica da solução de embebição de sementes e emergência de plântulas de soja. **Científica**, 35:10-16 <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000200007>

Costa, JA. *Cultura da soja*. Porto Alegre: Evangraf, 1996. 233p.

Delouche, JC, Baskin, CC (1973) Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology* 1: 427-452.

Duarte, MM, Kratz, D, Carvalho, RLL, Nogueira AC (2018) Influência do estresse hídrico na germinação de sementes e formação de plântulas de angico branco. **Advances in Forestry Science**, 5:375-379 <https://doi.org/10.34062/afs.v5i3.5521>

Ebone, LA, Caverzan, A, Chavarria, G (2019). Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, 145:34-42

França Neto, JB.; Krzyzanowski, FC; Henning, AAA (2010) Importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. *Informativo ABRATES*, 20:037-038. Hubbard, M, Germida, J, Vujanovic, V (2012) Fungal endophytes improve wheat seed germination under heat and drought stress. **Botany** 90:137-149. <https://doi.org/10.1139/b11-091>

Jaleel, CA, Manivannan, P, Washid, A, Panneerselvam, R (2009) Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture Biology**, 11:100-105.

Lacerda, MP, Umburanas, RC, Martins, KV, Rodrigues, MAT, Reichardt, K, Dourado-Neto, D (2021) Vigor and oxidation reactions in soybean seedlings submitted to different seed chemical treatments. **Journal of Seed Science** 43:1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v43247033>

López-López, A, Rosenblueth, M, Martínez, J, Martínez-Romero, E (2010) Rhizobial symbioses in tropical legumes and non-legumes. **Soil Biology and Agriculture in the Tropics**. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 163–184.

Marcos-Filho, J. 2015. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2. ed., Londrina: ABRATES, 660 p.

Missão, MR (2006) Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. Maringá Management: **Revista de ciências empresariais**, 3:7-15.

Pereira, WA, Pereira, SMA, Dias, DCFS (2013) Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings. **Journal of Seed Science** 35:316-322.

Priestley, DA (1986) Seed aging. Ithaca, Comstock Publishing Associates. 304 p.

Robert, JW (1986) **The Soybean Solution: Meeting World Food Needs**. NIT-College of Agriculture, University of Illinois at Urbana, Champaign, 28 p.

Rosseto, CAV, Novembre, ADLC, Marcos Filho, J, Silva, WR, Nakagawa, J (1997a) Comportamento das sementes de soja durante a fase inicial do processo de germinação. **Scientia Agricola** 54:106-115. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000100015>.

Rosseto, CAV, Novembre, ADLC, Marcos Filho, J, Silva, WR, Nakagawa, J (1997b) Efeito da disponibilidade hídrica do substrato, da qualidade fisiológica e do teor de

água inicial das sementes de soja no processo de germinação. **Scientia Agricola** 54:97-105. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000100014>

Sartori, FF, Pimpinato, RF, Tornisielo, VL, Engroff, TD, Jaccoud-Filho, DS, Menten, JO, Dorrance, AE, Dourado Neto, D (2020) Soybean seed treatment: how do fungicides translocate in plants? **Pest Management Science** 76:2355-2359. <https://doi.org/10.1002/ps.5771>

Salton, FG, Morais, H, Lohmann, M (2021) Períodos Secos no Estado do Paraná. **Revista brasileira de meteorologia [online]**, 36. <https://doi.org/10.1590/0102-77863620163>

Silva, KRG, Villela, FA (2011) Pré-hidratação e avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, 33:331-345. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000200016>

Soares, MM, Santos Junior, HC, Simões, MG, Pazzin, D, Silva, LJ (2015) Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 45:370-378 <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4535357>

Sudisha, J, Niranjana, SR, Sukanya, SL, Girijamba, R, Lakshmi-Devi, N, Shetty, HS (2010) Relative efficacy of strobilurin formulations in the control of downy mildew of sunflower. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 83:461-470 <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0316-3>

United States Department of Agriculture (USDA) (2023) **World Agricultural Production**. Circular Series, Foreign Agricultural Service, 37 p.

Vieira, RD, Penariol, AL, Perecin, D, Panobianco, M (2002). Electrical conductivity and initial water content of soybean seeds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37:1333-1338.

Viçosi, KA, Ferreira, AAS, Oliveira, LAB, Rodrigues, F (2017) Estresse hídrico simulado em genótipos de feijão, milho e soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, 4:36-42 <https://doi.org/10.32404/rean.v4i5.2194>

CAPÍTULO 2 - Disponibilidade hídrica e teor de água inicial das sementes na emergência de plântulas de soja

RESUMO – De acordo com dados apresentados no último relatório IPCC ('Painel Internacional de Mudanças Climáticas'), o aquecimento global causado pela emissão de gases do efeito estufa após a década de 1970 causaram mudanças nos regimes pluviométricos, colocando em risco a segurança alimentar mundial. Portanto, pesquisas que buscam elucidar a relação semente-ambiente em condições de estresse hídrico são essenciais. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do teor de água de sementes de soja tratadas sobre a emergência de plântulas em diferentes condições de disponibilidade hídrica. Sementes das cultivares NS 7007 IPRO, Brasmax Desafio 8473RSF RR, Brasmax Bônus 8579RSF IPRO e Brasmax Foco 74I77RSF IPRO tiveram o teor de água inicial ajustado para 8, 11, e 14% e foram semeadas em solo sob quatro níveis de potencial hídrico (-0,01; -0,02; -0,10 e -0,40 MPa), compondo um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 3 com quatro repetições. Foram avaliados os seguintes parâmetros de qualidade das sementes: condutividade elétrica, porcentagem, tempo médio e velocidade de emergência de plântulas, massa fresca e massa seca de plântulas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Não há restrição para a semeadura de sementes de soja com teor de água entre 8 e 14% quando o solo se encontra sob o potencial hídrico de -0,01 MPa. Em condições de restrição hídrica do solo, recomenda-se a utilização de sementes com teor de água entre 11 e 14%.

Palavras-chave: condutividade elétrica, déficit hídrico, tratamento de sementes, *Glycine max* (L.) Merrill, velocidade de emergência.

ABSTRACT - According to data presented in the last IPCC report ('International Panel on Climate Change'), global warming caused by the emission of greenhouse gases after the 1970s caused changes in rainfall patterns, putting world food security at risk. Thus, researches that seeks to elucidate the seed-environment relation under water stress conditions are essential. The objective of this research was to evaluate the effect of water content of the soybean seeds on the seedling emergence in different conditions of water availability. Seeds of NS 7007 IPRO, Brasmax Desafio 8473RSF RR, Brasmax Bônus 8579RSF IPRO and Brasmax Foco 74I77RSF IPRO cultivars had their initial water content adjusted to 8, 11, and 14% and were sown in soil under four water potential levels (-0.01; -0.02; -0.10 and -0.40 MPa), composing a completely randomized experimental design in a 4 x 3 factorial scheme with four replicates. The following seed quality parameters were evaluated: electrical conductivity, percentage of emergence, mean time and seedling emergence speed, fresh and dry weight of seedlings. Data were submitted to analysis of variance and means were compared using Tukey's test ($p < 0.05$). There is no restriction on sowing soybean seeds with a water content between 8 and 14% when the soil is at a water potential of -0.01 MPa. In conditions of soil water restriction, it is recommended to use seeds with a water content between 11 and 14%.

Key-words: electric conductivity, emergence speed, *Glycine max* (L.) Merrill, seeds treatment, water shortfall.

2.1. INTRODUÇÃO

A atividade humana vem causando desde o século 20 o aquecimento da superfície terrestre, principalmente devido à emissão de gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4). Dados disponibilizados no último relatório IPCC ('Painel Internacional de Mudanças Climáticas') apontam um aumento na temperatura terrestre de 1,1 °C entre os anos de 2011 e 2020 em relação à temperatura verificada entre 1850 e 1900. O aumento da temperatura mundial causa, entre outros problemas, alterações nos regimes pluviométricos de regiões agrícolas, colocando em risco a segurança alimentar mundial (IPCC, 2023).

Os prejuízos econômicos causados nas regiões agrícolas do Brasil relacionados ao clima têm motivado estudos voltados à disponibilidade hídrica do solo e técnicas que minimizem seus efeitos sobre as culturas (Almeida et al., 2021; Salton et al., 2021). A disponibilidade de água no solo afeta a germinação das sementes, o estabelecimento e desenvolvimento das culturas e a produção no campo (Ebene et al., 2019; Salton et al., 2021).

O teor de água das sementes exerce influência sobre a germinação. Sementes de soja ao serem dispostas em substrato com excesso de umidade tem rápida hidratação, podendo sofrer danos por embebição, cuja intensidade depende do cultivar e do teor de água inicial das sementes. Se a entrada de água nas sementes não for controlada, as membranas não são capazes de se reorganizarem após a embebição, causando rompimento, grande liberação de exsudatos pelos tecidos, resultando em queda da qualidade fisiológica, formação de plântulas anormais e até a ausência de germinação (Silva e Villela, 2011; Gordin et al., 2015).

A água é responsável por reativar o metabolismo das sementes, estando envolvida em todas as etapas do processo germinativo, desde a quebra e transporte de substâncias até a protrusão da raiz primária (Duarte et al., 2018). O estresse hídrico durante os estágios iniciais de uma cultura pode levar inicialmente à queda da velocidade de germinação e emergência, podendo prejudicar também a porcentagem de germinação em condições mais severas (Soares et al, 2021). O cenário de déficit

hídrico no estabelecimento de uma lavoura é comum em regiões onde se pratica a semeadura antes do solo ter acumulado umidade suficiente para que o processo germinativo ocorra, técnica conhecida como “semeadura no pó”.

No caso da soja, vários trabalhos apontam os efeitos do déficit hídrico no processo germinativo, sendo que potenciais hídricos inferiores à -0,10 MPa causaram redução na porcentagem de germinação e emergência. Porém, na maioria dos trabalhos o estresse foi causado de maneira artificial com reguladores osmóticos em rolo de papel (Soares et al., 2015; Viçosi et al., 2017), ou não foram testadas sementes com teor de água abaixo do ideal para a germinação (Colete et al., 2007; Viçosi et al., 2017), impedindo estabelecer relação entre a queda da germinação com a desestruturação das membranas causada pela rápida entrada de água.

Assim, objetivou-se com esse trabalho verificar o efeito do teor de água de sementes de soja tratadas sobre a emergência de plântulas em diferentes condições de disponibilidade hídrica.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de quatro cultivares de soja (Brasmax 8579RSF IPRO, NS 7007 IPRO, Brasmax 8473RSF RR, Brasmax 74I77RSF IPRO) colhidas na safra 2019/2020 foram pesadas e 5 kg de cada cultivar foram encaminhados para o Laboratório de Análise de Sementes de UNESP/FCAV – Campus de Jaboticabal/SP onde foram submetidas aos seguintes testes e determinações:

Teor de água: foi determinado utilizando duas subamostras de 4,5 g de sementes por meio do método da estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas, sendo os resultados expressos em porcentagem (Brasil, 2009).

Teste de germinação: foi conduzido em rolo de papel com quatro subamostras de 50 sementes dispostas sobre duas folhas de papel “Germitest” umedecidos com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do substrato em água. Os rolos foram mantidos em câmaras de germinação na temperatura de 25 °C e as avaliações foram realizadas cinco e oito dias após a semeadura (Brasil, 2009).

Para corresponder ao tratamento utilizado nas sementes com os produtos MAXIM® XL (fungicida) e CRUISER® 350 FS (inseticida), as sementes foram tratadas utilizando-se a aplicação de 10 g i.a.l⁻¹ de metalaxil; 25 g i.a.l⁻¹ de fludioxonil (MAXIM® XL) na dose de 1 ml.kg⁻¹ de semente e 350 g i.a.l⁻¹ de tiametoxam (CRUISER® 350 FS) na dose de 3 ml.kg⁻¹ de semente (Seixas et al., 2020). O tratamento foi realizado manualmente em sacos plásticos transparentes mediante movimentação das amostras por 2 minutos, tempo correspondente para que as sementes fossem recobertas de maneira homogênea pelos produtos utilizados.

Após o tratamento de sementes, com base no teor de água inicial foi realizado o cálculo para a obtenção da massa necessária para que as sementes atingissem 8, 11, e 14% de teor de água. Os lotes que necessitaram de perda de água foram dispostos em canada única e fina e mantidas sobre bandejas metálicas (20 x 20 x 2 cm) em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 33 °C (Vieira et al., 2002). Para as sementes que necessitaram hidratação foi adotado o método da atmosfera úmida, descrita por Rosseto et al (1995). Neste caso, as sementes foram mantidas sobre tela de alumínio em caixas de acrílico transparentes (11,0 x 11,0 x 3,5 cm) contendo 40 mL de água destilada em seu interior, na temperatura de 20 °C (100% UR). Em ambos os casos foram realizadas pesagens sucessivas até que as sementes atingiram o peso equivalente para o teor de água desejado. Para a confirmação da eficiência do procedimento, o teor de água das sementes foi determinado pelo método da estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas após o ajuste (Brasil, 2009).

As sementes com os teores de água ajustados foram avaliadas pelos testes de condutividade elétrica, porcentagem, tempo médio e velocidade de emergência, massa verde e seca de plântulas.

Condutividade elétrica: foi realizado utilizando-se 10 subamostras de 50 sementes, que foram pesadas em balança de precisão (0,001 g) e imersas em copos plásticos contendo 75 ml de água destilada e deionizada. Após serem mantidas em câmaras de germinação na temperatura de 25 °C por 24 horas, a condutividade elétrica da solução de embebição foi aferida com condutivímetro (Digimed DM-32). Os resultados obtidos foram divididos pela massa das sementes e expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ (Vieira e Krzyzanowski, 1999). O produtos utilizados no tratamento químico de

sementes não causam distorções nos resultados do teste de condutividade elétrica (Krzyzanowski et al., 2020).

Emergência de plântulas: foi conduzida com a semeadura de quatro subamostras de 50 sementes de cada teor de água inicial sobre bandeja plástica (30,0 x 15,0 x 13,0 cm) preenchida com Latossolo Vermelho Eutroférico retirado de área sob cultivo de soja no município de Jaboticabal/SP. O solo foi retirado do horizonte A e peneirado com malha de abertura de 2,4 mm. Não foi necessária a análise química do solo devido às avaliações serem realizadas durante germinação e emergência, fase em que a plântula depende somente do material de reserva dos cotilédones. Foram utilizados quatro potenciais hídricos do solo: -0,01; -0,02; -0,10 e -0,40 MPa. Foi estabelecida a curva de retenção de água por extrator de Richards e por meio dela foi ajustado o teor de água do solo para os potenciais hídricos desejados, com controle diário da umidade através da pesagem das repetições e adições de água proporcionais às perdas diárias. O teste foi conduzido em casa-de-vegetação (25 ± 2 °C e UR = 60%) e as avaliações do teste de emergência foram realizadas diariamente até o 16º dia após a semeadura, no qual foi determinada a porcentagem média de emergência de plântulas.

Para a determinação dos potenciais hídricos utilizados foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada, utilizando-se cilindros metálicos de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura (98 cm^3), visando construção da curva característica de retenção de água no solo. Para tal, as amostras foram saturadas e submetidas às tensões de 60 e 100 hPa, em mesa de tensão e às tensões de 330, 600, 1000 e 15000 hPa, em câmaras de Richards (Klute, 1986). Após atingir o equilíbrio, as amostras foram pesadas, secas em estufa com circulação forçada, na temperatura de 105 °C, por 24 horas, e pesadas novamente para determinação da massa seca.

Os valores de tensão da água no solo foram transformados em umidade do solo a base de volume, utilizando-se a curva característica de retenção de água no solo, obtida previamente, cujos dados foram ajustados pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980), conforme equação 1.

$$\theta = 0.162 + \frac{(0.552 + 0.162)}{[(1 + 0.035\psi)^{1.816}]^{0.449}} \quad (1)$$

Sendo Θ o conteúdo volumétrico de água no solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e Ψ o potencial mátrico da água no solo em centímetros de coluna d'água (cca).

Índice de velocidade de emergência: conduzido em conjunto com o teste de emergência de plântulas, até o 16º dia após a semeadura, computando-se o número de plântulas emergidas por dia e aplicando-se a fórmula proposta por Maguire (1962).

Tempo médio de emergência: conduzido conjuntamente com o teste de emergência, calculando-se com base na contagem diária de plântulas até a data final do teste e aplicando a estes dados a fórmula estabelecida por Labouriau e Valadares (1976).

Massa fresca de plântula: após o 16º dia da semeadura, 15 plântulas de cada parcela experimental foram retiradas do solo, lavadas as raízes em água corrente, secas com papel toalha e realizada a pesagem das plântulas inteiras em balança analítica com precisão de 0,001g, no mesmo ambiente em que o experimento foi conduzido, e o resultado expressa em gramas de massa fresca/plântula.

Massa seca de plântula: após a pesagem da massa fresca as plântulas foram acondicionadas em sacos de papel Kraft, e secas em estufa, com circulação de ar forçada, ajustada a 65 °C, por período de 48 horas e realizada a pesagem das plântulas inteiras em balança analítica com precisão de 0,001g e o resultado expresso em gramas de massa seca/plântula.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk para a verificação da normalidade e homogeneidade de variâncias dos dados, respectivamente. Os dados foram submetidos a análise de variância e quando observado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do software R (Core Team. R). Para avaliação geral dos dados foi aplicado análise de componente principal, com auxílio do Past4. O delineamento experimento utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 3, sendo quatro níveis de disponibilidade hídrica do solo e três teores de água inicial das sementes com quatro repetições.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na recepção de amostras as sementes apresentaram elevada qualidade fisiológica, apresentando valores de germinação entre 92 a 98% e teor de água variando entre 9,7 à 10,3% (Quadro 1). As porcentagens de germinação indicaram elevada qualidade fisiológica inicial das sementes, e os teores de água semelhantes garantiram que os processos para que as sementes atingissem os teores de água desejados tenham ocorrido de forma similar entre as cultivares.

Quadro 1. Teor de água e germinação das sementes na recepção das amostras

Cultivar	Teor de água da recepção (%)	Germinação (%)
8579RSF IPRO	10,2	98
NS 7007 IPRO	10,3	95
8473RSF RR	9,9	97
74I77RSF IPRO	9,7	92

Para as quatro cultivares analisadas verificou-se menor condutividade elétrica nas sementes com teor de água de 14% e maior naquelas com 8% de teor de água, não diferindo de 11% para as duas primeiras cultivares, enquanto para as demais não diferiram entre 11 e 14% (Tabela 1).

A condutividade elétrica das sementes com teor de água intermediário, de 11%, também apresentou valores intermediários, não diferindo dos apresentados pelas sementes com 8% de teor de água das cultivares 8579RSF IPRO e NS 7007 IPRO e pelas sementes com 14% das cultivares 8473RSF RR e 74I77RSF IPRO. Deste modo, foi possível verificar que as cultivares apresentaram sementes com susceptibilidades diferentes ao dano por embebição causado pelo teste.

A variabilidade genética verificada nas cultivares de soja quanto ao dano por embebição nas sementes foi relatado em pesquisas e pode ser justificado pela diferença no teor de lignina presente no tegumento de diferentes cultivares (Silva e Villela, 2011; Vieira et al., 2002). Segundo Menezes et al (2009), sementes de soja com maior teor de lignina completam o processo germinativo em menor tempo, indicando que a lignina pode agir na reparação dos sistemas de membrana das sementes durante a germinação.

Tabela 1. Condutividade elétrica ($\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) de sementes de cultivares de soja em função de diferentes teores de água das sementes

Teor de Água (%)	Cultivar			
	8579RSF IPRO	NS 7007 IPRO	8473RSF RR	74I77RSF IPRO
8	85,941 B	75,401 B	110,260 B	109,333 B
11	75,781 B	79,586 B	75,252 A	69,492 A
14	61,773 A	56,151 A	74,201 A	77,202 A
F	15,02**	16,75**	24,17**	60,10**
C.V. (%)	8,40	8,67	9,62	6,38

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** e ^{ns} = significativo ao nível de 1% de probabilidade e não significativo conforme o teste F, respectivamente.

Os menores valores de condutividade elétrica das sementes mais hidratadas ocorreram devido à maior organização dos sistemas de membranas das células, possibilitando a redução dos danos por embebição após a imersão na água utilizada neste teste, com menor liberação de solutos. De maneira oposta, em sementes com teor de água mais baixo foi constatado maiores valores de condutividade elétrica, indicando menor organização das membranas celulares e dano por embebição (Vieira et al., 2002).

Para as quatro cultivares testadas, verificou-se interação significativa entre as disponibilidades hídricas do substrato e os teores de água das sementes sobre as variáveis de desempenho das sementes e plântulas analisadas, evidenciando a elevada dependência destes fatores, exceto para tempo médio de emergência de plântulas de soja da cv. 8579RSF IPRO (Tabela 2).

A emergência de plântulas foi maior entre as disponibilidades hídricas de -0,01 e 0,02 MPa para todas as cultivares avaliadas, apresentando porcentagens máximas de até 96% com redução da porcentagem de plântulas conforme a redução da disponibilidade hídrica (Tabela 3).

A cultivar 8473RSF RR foi mais sensível em relação à redução da disponibilidade hídrica, apresentando drástica redução na porcentagem de emergência em condições de estresse hídrico. A partir de -0,02 MPa a emergência observada foi de 44 a 67%, apresentando queda de até 45% ao compararmos com o potencial de -0,01 MPa, condição de plena disponibilidade hídrica.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os testes de emergência (E), índice de velocidade (IVE) e tempo médio de emergência (TME), massa de matéria verde (MMV) e seca (MMS) de plântulas de soja das cultivares 8579RSF IPRO, NS 7007 IPRO, 8473RSF RR e 74I77RSF IPRO em função da disponibilidade hídrica do solo e teor de água inicial das sementes.

	Fonte de Variação	GL	F					
			E	IVE	TME	MMV	MMS	C
8579RSF IPRO	Disponibilidade Hídrica (DH)	3	1453,00**	715,12**	529,00**	709,03**	99,07**	-
	Teor de Água (TA)	2	3,48*	1,27 ^{ns}	0,25 ^{ns}	5,21*	1,58 ^{ns}	15,02**
	DHxTA	6	5,74**	4,36**	0,53 ^{ns}	11,11**	9,75**	-
	Resíduo	36	-	-	-	-	-	-
	Resíduo (Condutividade)	11	-	-	-	-	-	-
	C.V.(%)	-	8,27	12,62	11,19	9,54	23,46	8,40
NS 7007 IPRO	Disponibilidade Hídrica (DH)	3	1305,51**	969,05**	704,00**	268,62**	186,36**	-
	Teor de Água (TA)	2	5,25**	5,40**	13,40**	1,48 ^{ns}	4,64*	16,75**
	DHxTA	6	11,41**	3,62**	5,66**	2,70*	9,37**	-
	Resíduo	36	-	-	-	-	-	-
	Resíduo (Condutividade)	11	-	-	-	-	-	-
	C.V.(%)	-	9,15	11,16	9,20	15,51	17,63	8,67
8473RSF RR	Disponibilidade Hídrica (DH)	3	352,47**	802,59**	1012,83**	1191,21**	240,53**	-
	Teor de Água (TA)	2	7,59**	8,33**	0,25 ^{ns}	6,00**	0,68 ^{ns}	24,17**
	DHxTA	6	3,05*	4,02**	3,77**	2,52*	4,49**	-
	Resíduo	36	-	-	-	-	-	-
	Resíduo (Condutividade)	11	-	-	-	-	-	-
	C.V.(%)	-	17,41	13,91	8,78	7,64	16,30	9,62
74I77RSF IPRO	Disponibilidade Hídrica (DH)	3	2928,14**	655,75**	1144,77**	870,87**	264,10**	-
	Teor de Água (TA)	2	12,32**	3,67*	5,52**	5,24*	0,97 ^{ns}	60,10**
	DHxTA	6	2,89*	7,86**	8,67**	8,37**	2,62*	-
	Resíduo	36	-	-	-	-	-	-
	Resíduo (Condutividade)	11	-	-	-	-	-	-
	C.V.(%)	-	5,20	11,64	7,66	8,20	14,27	6,38

*, ** e ^{ns} = significativo ao nível de 5% de probabilidade, significativo ao nível de 1% de probabilidade e não significativo conforme o teste F, respectivamente.

Tabela 3. Emergência (%) de plântulas de cultivares de soja em função de diferentes teores de água das sementes e níveis de água do solo

Cultivar	Teor de Água (%)	Disponibilidade Hídrica (MPa)			
		-0,01	-0,02	-0,10	-0,40
8579RSF IPRO	8	89 a A	83 b A	24 a B	0 a C
	11	92 a A	86 ab A	14 b B	0 a C
	14	87 a A	90 a A	30 a B	0 a C
NS 7007 IPRO	8	88 a A	93 a A	4 b B	0 a B
	11	94 a A	85 b B	26 a C	0 a D
	14	96 a A	81 b B	25 a C	0 a D
8473RSF RR	8	81 a A	44 b B	17 a C	0 a D
	11	90 a A	67 a B	16 a C	0 a D
	14	90 a A	60 a B	28 a C	0 a D
74I77RSF IPRO	8	82 a A	83 a A	30 b B	0 a C
	11	86 a A	86 a A	33 b B	0 a C
	14	87 a A	86 a A	40 a B	0 a C

Para cada cultivar, médias seguidas pela mesma, letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi possível observar que com o maior potencial hídrico do substrato (-0,01 Mpa) o teor de água inicial das sementes não influenciou os resultados das variáveis analisadas em todas as cultivares, ou seja, quando o ambiente é favorável, o teor de água das sementes não exerce influência na emergência (Tabela 3). Neste aspecto, foi constatado que mesmo em condições de alta disponibilidade hídrica do substrato sementes de soja com baixo teor de água das cultivares testadas não sofrem danos por embebição, mesmo apresentando maior grau de desorganização da membrana celular, conforme constatado no teste de condutividade elétrica (Tabela 1).

Estes resultados corroboram com dados obtidos no trabalho de Rosseto et al., (1997b), em que sob altos níveis de disponibilidade hídrica não houve interferência do teor de água de sementes de soja na germinação, indicando que baixos níveis de disponibilidade hídrica do substrato são mais prejudiciais à germinação e emergência do que o teor de água inicial das sementes.

Conforme houve a redução do teor de água foi possível observar diferenças no potencial fisiológico das sementes. Com a redução da umidade do solo, para que os lotes de sementes expressem o máximo do seu potencial fisiológico é necessário o uso de sementes com teor de água entre 11 e 14%. Prova disso é o pré-

condicionamento de sementes adotado como rotina em laboratórios para realização de testes de vigor (Krzyzanowski et al., 2020).

Essa prática pode ser incorporada em laboratórios que realizam análises de qualidade em canteiro aberto, ou ainda na justificativa de insucesso de instalações de campo de produção, quando observado problemas no estabelecimento de lavouras de soja. Com exceção das cultivares 74I77RSF IPRO e 8473RSF RR, não houve diferença significativa entre os teores de água da semente avaliados para -0,02 e -0,10 MPa, respectivamente.

A partir do potencial hídrico de -0,10 MPa houve alto comprometimento do potencial fisiológico das sementes, apresentando porcentagens de no máximo 40% de emergência, valor extremamente baixo ao considerar a população necessária para o estabelecimento de uma lavoura. Desta maneira, evidencia-se a importância de a semeadura ser realizada com disponibilidade hídrica do solo adequada.

Sob o potencial hídrico de -0,40 MPa não houve emergência de plântulas, uma vez que a água disponível no solo não foi suficiente para iniciar o processo de germinação das sementes e posteriormente de emergência das plântulas.

A velocidade de emergência estimada pelo índice de velocidade de emergência (IVE), foi influenciada pela disponibilidade de água no solo a partir de -0,02 MPa (Tabela 4), exceto pra variedade 74I77RSF IPRO, que teve o IVE comprometido a partir do potencial hídrico de -0,10 MPa, corroborando com os resultados de emergência de plântulas (Tabela 3).

Na condição de maior disponibilidade hídrica do substrato (-0,01 MPa) observou-se que as plântulas das cultivares NS 7007 IPRO e 8473RSF RR emergiram em menor tempo, em torno de 6 dias, quando as sementes utilizadas apresentavam teores de água de 11 a 14%, (Tabela 4), enquanto as demais cultivares não apresentaram diferença significativa nesta condição de disponibilidade hídrica. Comportamento semelhante foi observado nas condições de -0,02 e -0,10 MPa, com exceção das sementes da cultivar 8579RSF IPRO, que apresentaram maior velocidade de emergência de plântulas em substrato com disponibilidade hídrica de 0,10 MPa e teor de água das sementes de 8%.

Tabela 4. Índice de velocidade de emergência de plântulas de cultivares de soja em função de diferentes teores de água das sementes e níveis de água do solo.

Cultivar	Teor de Água (%)	Disponibilidade Hídrica (MPa)			
		-0,01	-0,02	-0,10	-0,40
8579RSF IPRO	8	7,87 a A	6,73 a B	2,40 a C	0,00 a D
	11	7,69 a A	7,26 a A	0,64 b B	0,00 a B
	14	8,14 a A	7,41 a A	1,12 b B	0,00 a C
NS 7007 IPRO	8	7,25 b A	6,99 a A	0,71 b B	0,00 a B
	11	7,80 b A	7,07 a A	0,92 ab B	0,00 a C
	14	8,63 a A	6,66 a B	1,71 a C	0,00 a D
8473RSF RR	8	6,99 b A	3,12 b B	0,82 a C	0,00 a D
	11	7,98 a A	4,41 a B	0,64 a C	0,00 a C
	14	8,36 a A	3,79 ab B	0,98 a C	0,00 a D
74I77RSF IPRO	8	5,77 a A	5,17 b A	1,64 b B	0,00 a C
	11	5,84 a A	5,41 b A	2,82 a B	0,00 a C
	14	5,92 a A	6,20 a A	1,17 b B	0,00 a C

Para cada cultivar, médias seguidas pela mesma, letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com os resultados obtidos de emergência e velocidade de emergência, foi constatado desempenho superior das sementes com teor de água inicial de 14%. Este comportamento deve-se principalmente a possibilidade de danos por embebição em sementes com umidade muito baixa e ao maior tempo gasto pela semente para atingir o teor de água necessário para iniciar a germinação.

Tabela 5. Tempo médio de emergência (dias) de plântulas de cultivares de soja em função de diferentes teores de água das sementes e níveis de água do solo

Cultivar	Teor de Água (%)	Disponibilidade Hídrica (MPa)			
		-0,01	-0,02	-0,10	-0,40
NS 7007 IPRO	8	6 a A	7 a B	10 b C	0 a D
	11	6 a A	6 a A	9 b C	0 a D
	14	6 a A	6 a B	7 a C	0 a D
8473RSF RR	8	6 a A	10 b B	13 a C	0 a D
	11	6 a A	8 a B	14 b C	0 a D
	14	6 a A	9 b B	14 b C	0 a D
74I77RSF IPRO	8	7 a A	9 b B	13 b C	0 a D
	11	7 a A	8 ab A	11 a B	0 a C
	14	7 a A	7 a A	14 b B	0 a C
8579RSF IPRO	-	6 A	6 A	10 B	0 C

Para cada cultivar, médias seguidas pela mesma, letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A maior disponibilidade hídrica do substrato (-0,01 MPa) possibilitou a emergência mais rápida para todas as cultivares avaliadas em diferentes teores de água das sementes, variando entre 6 e 7 dias para emergência (Tabela 5).

Não foi observada diferença significativa entre os teores de água das sementes da cultivar 8579RSF IPRO em todos os níveis de disponibilidade hídrica testados, apresentando médias de 6 dias para a emergência nos níveis de 0,01 e 0,02 MPa e 10 dias no nível de disponibilidade hídrica de 0,10 MPa.

A diferença no comportamento entre as sementes das diferentes cultivares nos testes de qualidade fisiológica pode ter sido causada por diferenças no teor de lignina. Sementes com alto teor de lignina apresentam maior dificuldade na absorção de água e maior tendência na lixiviação de íons (Oliveira et al., 2014), o que provavelmente promoveu o comportamento distinto das sementes das cultivares sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica e teor de água inicial. Botelho et al. (2019) constataram que cultivares com menores teores de lignina apresentam maior vigor de sementes.

Nas disponibilidades hídricas de -0,02 e -0,10 MPa, verificou-se emergência mais rápida para sementes com teor de água entre 11 e 14% (Tabela 5), com exceção da 8473RSF RR, em que a emergência ocorreu de maneira mais rápida utilizando-se sementes com 8% de teor de água sob o potencial hídrico de 0,10 MPa. As sementes com maior teor de água inicial estão aptas a completarem o processo de embebição para início do processo germinativo mais rápido em relação às sementes com menor teor de água inicial, uma vez que estão mais próximas do teor de água necessário para protrusão da raiz primária, que seria entre 50 e 55% (Marcos Filho et al., 2015).

O maior acúmulo de massa de matéria verde pelas plântulas ocorreu em solo com disponibilidade hídrica de -0,01 e -0,02 MPa (Tabela 6). Esse dado corrobora com os demais resultados de qualidade fisiológica das sementes (Tabelas 3, 4 e 5), em que a diminuição da disponibilidade hídrica do substrato causou a redução do desenvolvimento de plântulas.

O teor de água inicial das sementes influenciou o vigor, já que é possível verificar que as sementes levadas a campo com teores entre 11 e 14% originaram plântulas com maior acúmulo de massa de matéria verde. Exceto para sementes da cultivar 74I77RSF IPRO, que proporcionou maior acúmulo de massa verde de plântulas quando utilizadas sementes com 14 ou 8 % de teor de água.

Tabela 6. Massa de matéria verde (g) de plântulas de cultivares de soja em função de diferentes teores de água das sementes e níveis de água do solo

Cultivar	Teor de Água (%)	Disponibilidade Hídrica (MPa)			
		-0,01	-0,02	-0,10	-0,40
8579RSF IPRO	8	2,292 a A	1,812 b B	1,322 b C	0,000 a D
	11	2,282 a A	2,377 a A	0,962 c B	0,000 a C
	14	2,297 a A	2,155 a A	1,582 a B	0,000 a C
NS 7007 IPRO	8	1,992 a A	2,072 a A	0,992 b B	0,000 a C
	11	1,947 a A	2,030 a A	0,995 b B	0,000 a C
	14	2,067 a A	1,875 a A	1,487 a B	0,000 a C
8473RSF RR	8	1,785 b A	1,561 b B	0,956 a C	0,000 a D
	11	1,875 ab A	1,697 ab B	0,849 a C	0,000 a D
	14	1,967 a A	1,785 a B	0,959 a C	0,000 a D
74I77RSF IPRO	8	1,596 a A	1,501 a A	1,050 b B	0,000 a C
	11	1,531 a A	1,535 a A	1,336 a B	0,000 a C
	14	1,599 a A	1,542 a A	0,876 c B	0,000 a C

Para cada cultivar, médias seguidas pela mesma, letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim como para a massa de matéria verde, o resultado de massa de matéria seca das plântulas corroborou com os resultados apresentados até o momento, em que a diminuição da disponibilidade hídrica acarreta a redução do acúmulo de massa de matéria pelas plântulas (Tabela 7).

Tabela 7. Massa de matéria seca (g) de plântulas de cultivares de soja em função de diferentes teores de água das sementes e níveis de água do solo

Cultivar	Teor de Água (%)	Disponibilidade Hídrica (MPa)			
		-0,01	-0,02	-0,10	-0,40
8579RSF IPRO	8	0,620 a A	0,390 b B	0,450 b AB	0,000 a C
	11	0,502 ab A	0,665 a A	0,317 b B	0,000 a C
	14	0,390 b B	0,635 a A	0,642 a A	0,000 a C
NS 7007 IPRO	8	0,307 a A	0,382 b A	0,310 b A	0,000 a B
	11	0,270 a B	0,470 a A	0,380 b A	0,000 a C
	14	0,302 a B	0,355 b B	0,552 a A	0,000 a C
8473RSF RR	8	0,496 a A	0,406 b A	0,260 a B	0,000 a C
	11	0,389 b B	0,481 ab A	0,285 a C	0,000 a D
	14	0,411 b B	0,545 a A	0,271 a C	0,000 a D
74I77RSF IPRO	8	0,312 b AB	0,380 a A	0,292 a B	0,000 a C
	11	0,313 b A	0,358 a A	0,333 a A	0,000 a B
	14	0,394 a A	0,369 a A	0,290 a B	0,000 a C

Para cada cultivar, médias seguidas pela mesma, letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As plântulas das cultivares 8579RSF IPRO e NS 7007 IPRO apresentaram resultados distintos, nos quais a diminuição da disponibilidade hídrica do solo causou um incremento de massa seca. Este fenômeno pode estar relacionado a diferenças genéticas quanto a tolerância ao estresse hídrico do solo, pois neste caso houve a necessidade de expansão radicular da planta para a assimilação de água e nutrientes (Silva e Delatorre, 2009). Este processo provavelmente ocorreu nestas condições de baixa disponibilidade hídrica, determinando uma maior massa de plântulas.

Na avaliação de lotes de cultivares de soja em função de diferentes teores de água das sementes e níveis de água do solo foram dois componentes principais para acumular uma variância de 94,85%, sendo 74,76% e 20,09% do primeiro e segundo componente, respectivamente (Tabela 8). A variância acumulada acima de 90% está acima do mínimo necessário prescrito por Rencher e Christensen (2012) que é de 70%, assim como das encontradas por Costa e Novembre (2019) e Coelho *et al.* (2021) avaliando semente de arroz e cártamo, que obtiveram variâncias de 90,87% e 73,98% respectivamente. Para a correlação e poder discriminatório das variáveis em cada componente, foram considerados valores igual ou superior a 0,60 (CRUZ *et al.*, 2020), com isso para o primeiro componente apenas tempo médio de emergência de plântulas não houve correlação; todavia para o segundo componente apenas essa variável teve poder discriminatório.

Tabela 8. Matriz de correlação e autovetores dos componentes principais pelos testes de emergência de plântulas, índice de velocidade e tempo médio de emergência, massa fresca de parte aérea e massa seca total de plântulas oriundas de lotes de cultivares de soja em função de diferentes teores de água das sementes e níveis de água do solo.

Variáveis	Componente principal 1	Componente principal 2
Emergência de plântulas	0,93	-0,32
Índice de velocidade de emergência	0,89	-0,43
Tempo médio de emergência de plântulas	0,58	0,77
Massa fresca de parte aérea	0,99	0,05
Massa seca total	0,88	0,33
Autovalores	3,74	1
Variância acumulada (%)	74,76	20,09
Variância total (%)	94,85	

No gráfico biplot (Figura 1) verificou-se a formação de três grupos; o grupo 1 encontram-se sementes com teores de água de 8, 11 e 14% das quatro cultivares submetidas nas disponibilidades hídricas -0,01 e -0,02 MPa, com exceção das sementes com 8% de teor de água da cultivar 8473RSF RR em -0,02 MPa. Esse grupo foi caracterizado pelos maiores valores de porcentagem e velocidade de emergência de plântulas, assim como acúmulo de matéria seca.

No nível de água do solo de -0,10 MPa, contendo as quatro cultivares e os três teores de água, além de sementes com 8% de teor de água da cultivar 8473RSF RR em -0,02 MPa, formaram o grupo 2. Assim como já verificado no experimento anterior, a principal característica desse grupo foi uma menor velocidade de emergência, com maiores valores de tempo médio de emergência de plântulas. De modo semelhante ao experimento anterior, não foi verificada emergência e formação de plântulas em sementes das quatro cultivares quando submetidas ao potencial hídrico de -0,40 MPa.

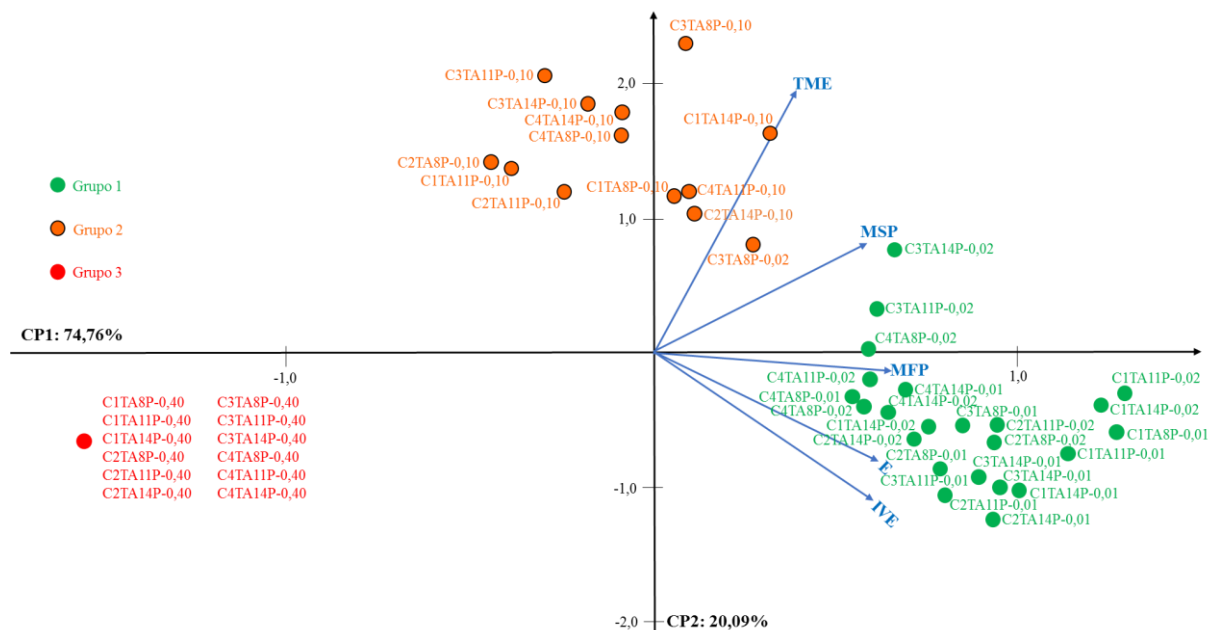


Figura 1. Dispersão de autovetores ao longo de um plano circular e formação de grupos obtidos por análise de componentes principais de acordo com a emergência de plântulas, índice de velocidade e tempo médio de emergência, massa fresca de parte aérea e massa seca total de plântulas oriundas de lotes de cultivares de soja (C1: 8579RSF IPRO, C2: NS 7007 IPRO, C3: 8473RSF RR e C4: 74177RSF IPRO) em função de diferentes teores de água das sementes (TA8, TA11 e TA14%) e níveis de água do solo (P-0,01; P-0,02; P-0,10 e P-0,40 MPa).

2.4. CONCLUSÕES

Sementes de soja apresentam redução na emergência e velocidade de emergência sob potencial hídrico do substrato igual ou inferior a -0,10 MPa.

Não há restrição para a semeadura de sementes de soja com teor de água entre 8 e 14% quando o solo se encontra sob o potencial hídrico de -0,01 MPa.

Em condições de restrição hídrica do solo, recomenda-se a utilização de sementes com teor de água entre 11 e 14%.

2.5. REFERÊNCIAS

Almeida, ME, Silva, EM, Alves, JME, Rodrigues, TA (2021) Variabilidade Climática com ênfase a Precipitação e o Impacto Migratório no Estado do Ceará (1960-2010). **Revista Brasileira de Meteorologia** 36:651-660. <https://doi.org/10.1590/0102-77863630044>

Acharya, J, Bakker, MG, Moorman, TB, Kaspar, TC, Lenssen, AW, Robertson, AE (2018) Effects of fungicide seed treatments and a winter cereal rye cover crop in no till on the seedling disease complex in corn. **Canadian Journal of Plant Pathology** 40:481-497. <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1506503>

Botelho, FJE, Oliveira, JA, Von Pinho, ÉVDR, Carvalho, ER, Resende, MPM, Reis, LV (2019) Quality of soybean seeds with different lignin content obtained from desiccated plants. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 14:1-7. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i3a5674>

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009) Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 399p.

Colete, JCF, Vieira, RD, Panobianco, M, Dutra, AS (2007) Condutividade elétrica da solução de embebição de sementes e emergência de plântulas de soja. **Científica** 35:10-16. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000200007>

Costa, EM, Nunes, BM, Ventura, MVA, Mortate, RK, Vilarinho, MS, Silva, RM, Chagas, JFR, Nogueira, LCA, Arantes, BHT, Lima, APA, Bessa, MM (2019) Physiological effects of insecticides and fungicide, applied in the treatment of seeds, on the germination and vigor of soybean seeds. **Journal of Agricultural Science** 11:318-324. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n4p318>

Duarte, MM, Kratz, D, Carvalho, RLL, Nogueira AC (2018) Influência do estresse hídrico na germinação de sementes e formação de plântulas de angico branco. **Advances in Forestry Science** 5:375-379. <https://doi.org/10.34062/afs.v5i3.5521>

Ebone, LA, Caverzan, A, Chavarria, G (2019) Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry** 145:34-42. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.028>

Gordin, CRB, Scalon, SPQ, Masetto, TE (2015) Substrate water availability and seed water content on niger germination. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 45:312-318. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4535337>

IPCC - The Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). Synthesis Report Of The Ipcc Sixth Assessment Report (AR6). 85 p.

Klute, A (1986) Water Retention: Laboratory Methods. In: Klute, A. (Ed.), **METHODS OF SOIL ANALYSIS - Part 1 - Physical and Mineralogical Methods**. Madson: American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America p .635–660.

Labouriau, LG, Valadares MB (1976) On the germination of seeds of *Calotropis procera*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 48:174-186.

Maguire, JD (1962) Speed of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science** 2:176-177.

Marcos-Filho, J. 2015. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2. ed., Londrina: ABRATES, 660 p.

Menezes, M, Pinho, EVR, José, SCBR, Baldoni, A, Mendes, FF (2009). Chemical and structural aspects of the physiological quality of soybean seeds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 44:1716-1723. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200022>

Oliveira, CMG, Kryzanowski, FC, Oliveira, MCN, França Neto, JB, Henning, AA (2014) Relationship between pod permeability and seed quality in soybean. **Journal of Seed Science** 36:273-281. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v36n3919>

Rosseto, CAV, Novembre, ADLC, Marcos Filho, J, Silva, WR, Nakagawa, J (1997a) Comportamento das sementes de soja durante a fase inicial do processo de germinação. **Scientia Agricola** 54:106-115. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000100015>

Rosseto, CAV, Novembre, ADLC, Marcos Filho, J, Silva, WR, Nakagawa, J (1997b) Efeito da disponibilidade hídrica do substrato, da qualidade fisiológica e do teor de água inicial das sementes de soja no processo de germinação. **Scientia Agricola**, 54:97-105. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000100014>

Salton, FG, Moraes, H, Lohmann, M (2021) Períodos Secos no Estado do Paraná. **Revista brasileira de meteorologia [online]** 36. <https://doi.org/10.1590/0102-77863620163>

Sartori, FF, Pimpinato, RF, Tornisielo, VL, Engroff, TD, Jaccoud-Filho, DS, Menten, J O, Dorrance, AE, Douradoneto, D (2020) Soybean seed treatment: how do fungicides translocate in plants? **Pest Management Science** 76:2355-2359. <https://doi.org/10.1002/ps.5771>

Seixas, CDS, Neumaier, N, Balbinot Junior, AA, Krzyzanowski, FC, Leite, RMVBC (2020) **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja p. 347.

Soares, LAA, Medeiros, LFR, Colman, CGV, Palmeira, VSI, Silva, JSI, Moreira, CLR (2021) Estratégias de irrigação com déficit hídrico nos estádios fenológicos do feijão-caupi sob adubação potássica. **Irriga**, v.26, p.111–122, 2021. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n1p111-122>

Soares, MM, Santos Junior, HC, Simões, MG, Pazzin, D, Silva, LJ (2015) Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 45:370-378. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4535357>

Silva, AA, Delatorre, CA (2009) Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias [online]** 8:152-163.

Silva, KRG, Villela, FA (2011) Pré-hidratação e avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes** 33:331-345. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000200016>

Van Genuchten, MTA (1980) Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. **Soil Science Society of America Journal** 44:892-898. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

Vieira, RD, Krzyzanowski, FC (1999) Teste de condutividade elétrica. In: Krzyzanowski, FC, Vieira, RD, França Neto, JB. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.4, p.1- 26.

Vieira, RD, Penariol, AL, Perecin, D, Panobianco, M (2002) Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 37:1333-1338. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900018>

Viçosi, KA, Ferreira, AAS, Oliveira, LAB, Rodrigues, F (2017) Estresse hídrico simulado em genótipos de feijão, milho e soja. **Revista de Agricultura Neotropical** 4:36-42. <https://doi.org/10.32404/rean.v4i5.2194>

CAPÍTULO 3 - Desempenho de plântulas de soja em função da disponibilidade hídrica do substrato e tratamento de sementes

RESUMO – A alteração dos regimes pluviométricos de regiões agrícolas observadas nos últimos anos traz preocupações quanto ao estabelecimento de lavouras, já que a água é fundamental para a reativação do metabolismo das sementes no processo germinativo. O tratamento químico de sementes é a ferramenta mais utilizada para a proteção de cultivos nas etapas iniciais, protegendo as sementes e plântulas de estresses bióticos, podendo promover também alterações fisiológicas e morfológicas. Objetivou-se com esse trabalho verificar o efeito do tratamento químico das sementes de soja sobre a emergência de plântulas em condições de estresse hídrico. Sementes das cultivares 8579RSF IPRO, NS 7007 IPRO, 8473RSF RR e 74I77RSF IPRO foram tratadas utilizando-se metalaxil, fludioxonil e tiametoxam, e foram utilizadas sementes sem tratamento como testemunha. As sementes tiveram o teor de água ajustado para 11 % e foram semeadas em terra sob quatro níveis de potencial hídrico (-0.01; -0.02; -0.10 e -0.40 MPa), compondo um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2 com quatro repetições. Foram avaliados os seguintes parâmetros de qualidade das sementes: condutividade elétrica, porcentagem, tempo inicial, final, médio e frequência relativa de emergência e velocidade de emergência. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Sementes de soja tratadas com metalaxil-m, fludioxonil e tiametoxam apresentam melhor manutenção das membranas, assim como aquelas com 14% de teor de água. Sob condições de déficit hídrico, sementes de soja tratadas com metalaxil-m, fludioxonil e tiametoxam apresentam melhor desempenho na emergência de plântulas, enquanto que sob potencial hídrico de -0,01 MPa o tratamento químico de sementes não influencia no desempenho das sementes em campo.

Palavras-chave: fungicida, germinação, déficit hídrico, qualidade fisiológica.

ABSTRACT - The alteration in rainfall patterns in agricultural regions observed in recent years raises concerns regarding the establishment of crops, since water is fundamental for the reactivation of seed metabolism in the germination process. The chemical treatment of seeds is the most used technique for the protection of crops in the initial stages, protecting seeds and seedlings from biotic stresses, and may also promote physiological and morphological changes. The aim of this work was to verify the effect of chemical treatment of soybean seeds on seedling emergence under water stress conditions. Seeds of cultivars 8579RSF IPRO, NS 7007 IPRO, 8473RSF RR and 74I77RSF IPRO were treated using metalaxyl, fludioxonil and thiamethoxam, and untreated seeds were used as a control. The seeds had their water content adjusted to 11% and were sown on land under four levels of water potential (-0.01; -0.02; -0.10 and -0.40 MPa), composing a completely randomized experimental design in a 4 x 2 factorial scheme with four replications. The following seed quality parameters were evaluated: electrical conductivity, percentage, initial, final, mean and relative frequency of emergence and emergence speed. Data were submitted to analysis of variance and means were compared by Tukey's test ($p < 0.05$). Soybean seeds treated with metalaxyl-m, fludioxonil and thiamethoxam show better membrane maintenance, as

do those with 14% water content. Under water deficit conditions, soybean seeds treated with metalaxyl-m, fludioxonil and thiamethoxam show better seedling emergence performance, while under water potential of -0.01 MPa, chemical seed treatment does not influence seed performance.

Keywords: fungicide, germination, water deficit, physiological quality.

3.1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da agricultura é o de manter a produção de alimentos em taxa crescente mesmo sob efeito das mudanças climáticas, respeitando os recursos naturais e o funcionamento dos ecossistemas (Rosenzweig et al. 2012). A oscilação nos regimes pluviométricos observada nos últimos anos pode ser considerada uma das mudanças que mais exercem impacto sobre a agricultura, sobretudo em culturas sensíveis à seca, como a soja (Basal et al., 2020; De Paola et al., 2014).

A água é responsável pela reativação do metabolismo das sementes, promovendo aumento da taxa respiratória, disponibilização de energia para a germinação, ativação de enzimas e produção de proteínas através do consumo do mRNA produzido no processo de maturação. A produção de DNA, RNA e proteínas ocorrem quando a semente apresenta um teor de água de aproximadamente 50% (Marcos Filho, 2015). Portanto, a fase da germinação, etapa fundamental no estabelecimento de uma lavoura, pode ser prejudicada ou até mesmo cessada em caso de déficit hídrico (Hubbard, 2012). Vários trabalhos apontam redução nos índices de germinação de sementes de soja em situação de baixa disponibilidade hídrica (Pereira et al., 2013; Rosseto et al., 1997a; Rosseto et al., 1997b; Soares et al., 2015).

A disponibilidade hídrica exerce influência tanto na porcentagem como na velocidade de germinação das sementes. Trabalhos apontam redução na velocidade de germinação de sementes de soja em situações de déficit hídrico (Basal et al., 2020; Rosseto et al., 1997b; Soares et al., 2015). Durante o processo de germinação as sementes ficam suscetíveis à estresses abióticos e bióticos, como ataque de pragas e patógenos (Lacerda et al., 2021), logo, uma semente que leva mais tempo para completar o processo germinativo ficará mais exposta aos estresses.

Para amenizar os efeitos dos ataques de pragas e doenças de solo e proteger a semente durante o processo germinativo e emergência, o tratamento químico de sementes é uma estratégia bem difundida, promovendo maior uniformidade na emergência de plântulas (Lacerda et al., 2021; Sartori et al., 2020). O tratamento químico de sementes pode associar a utilização de fungicidas, inseticidas, nematicidas e condicionadores, que maximizam a eficiência dos produtos (Brzezinski et al., 2015. Rocha et al., 2020).

Além de possibilitar o estabelecimento de uma lavoura sem que ocorra danos por estresse biótico, o tratamento químico de sementes pode promover alterações no desempenho de sementes e plântulas. O inseticida tiametoxam, por exemplo, pode atuar na semente como um bioestimulante, ativando reações a expressão de proteínas da membrana (Almeida et al., 2011). Já o tratamento de sementes com formulações de fungicida contendo fludioxonil e tiabendazol podem promover incrementos em atributos morfológicos em soja, como comprimento radicular, volume radicular, massa seca de parte aérea e área foliar (Balardin et al., 2011). Fungicidas do grupo químicos das estrubilurinas podem causar efeito bioestimulante e indutor de resistência (Sudisha et al., 2010). Porém, os efeitos causados pelo tratamento químico de sementes relatados pelos trabalhos presentes na literatura não foram testados em situações de diferentes disponibilidades hídricas.

Objetivou-se com esse trabalho verificar o efeito do tratamento químico das sementes de soja sobre a emergência de plântulas em condições de estresse hídrico.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de sementes das cultivares Brasmax Bônus (8579RSF IPRO), NS 7007 IPRO, Brasmax Desafio RR (8473RSF RR) e Brasmax Foco IPRO (74I77RSF IPRO) colhidas na safra 2019/2020 foram pesadas e encaminhadas para o Laboratório de Análise de Sementes de UNESP/FCAV – Campus de Jaboticabal/SP onde foram submetidas aos seguintes testes e determinações:

Teor de água: foi determinado utilizando duas subamostras de 4,5 g de sementes por meio do método da estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas, sendo os resultados expressos em porcentagem (Brasil, 2009).

Teste de germinação: foi conduzido em rolo de papel com quatro subamostras de 50 sementes dispostas sobre duas folhas de papel “Germitest” umedecidos com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do substrato em água. Os rolos foram mantidos em câmaras de germinação na temperatura de 25 °C e as avaliações foram realizadas cinco e oito dias após a semeadura (Brasil, 2009).

Para corresponder ao tratamento químico de sementes, amostras de 1 kg das quatro cultivares foram tratadas utilizando-se a aplicação de 10 g i.a.l⁻¹ de metalaxil; 25 g i.a.l⁻¹ de fludioxonil na dose de 1 ml.kg⁻¹ de semente e 350 g i.a.l⁻¹ de tiametoxam na dose de 3 ml.kg⁻¹ de semente. O tratamento foi realizado manualmente em sacos plásticos transparentes mediante movimentação das amostras por 2 minutos, tempo correspondente para que as sementes fossem recobertas de maneira homogênea pelos produtos utilizados. O tratamento testemunha foi obtido mediante aplicação de água destilada na mesma dose da calda do tratamento químico utilizado, e o mesmo protocolo de homogeneização da amostra foi aplicado.

Com base no teor de água inicial foi realizado o cálculo para a obtenção da massa necessária para que as sementes atingissem 11% de teor de água. As sementes dos quatro lotes necessitaram perder água para alcançarem o teor de água desejado. As sementes foram dispostas em canada única e fina e mantidas sobre bandejas metálicas (20 x 20 x 2 cm) em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 33 °C (Vieira et al., 2002). Foram realizadas pesagens sucessivas até que as sementes atingiram o peso equivalente para o teor de água desejado. Para a confirmação da assertividade do procedimento, o teor de água das sementes foi determinado pelo método da estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas após o ajuste (Brasil, 2009).

As sementes com os teores de 11% foram avaliadas pelos testes de condutividade elétrica, porcentagem, tempo inicial, final, médio e frequência relativa de emergência, velocidade de emergência, e massa seca de plântulas.

Condutividade elétrica: foi realizado utilizando-se 10 subamostras de 50 sementes, que foram pesadas em balança de precisão (0,001 g) e imersas em copos

plásticos contendo 75 ml de água destilada e deionizada. Após serem mantidas em câmaras de germinação na temperatura de 25 °C por 24 horas, a condutividade elétrica da solução de embebição foi aferida com condutivímetro (Digimed DM-32). Os resultados obtidos foram divididos pela massa das sementes e expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ (Krzyzanowski et al., 2020).

Emergência de plântulas: foi conduzida com a semeadura de quatro subamostras de 50 sementes de cada teor de água inicial sobre bandeja plástica (30 x 15 x 13 cm) preenchida com Latossolo Vermelho eutroférico retirado de área sob cultivo de soja no município de Jaboticabal/SP. O solo foi retirado do horizonte A e peneirado com malha de abertura de 2,4 mm. Não foi necessária a análise química do solo devido às avaliações serem realizadas durante germinação e emergência, fase em que a plântula depende somente do material de reserva dos cotilédones. Foram utilizados quatro potenciais hídricos do solo: -0,01; -0,02; -0,10 e -0,40 MPa. Foi estabelecida a curva de retenção de água por extrator de Richards e por meio dela foi ajustado o teor de água do solo para os potenciais hídricos desejados, com controle diário da umidade através da pesagem das repetições e adições de água proporcionais às perdas diárias. O teste foi conduzido em casa-de-vegetação (25 ± 2 °C e UR = 60%) e as avaliações do teste de emergência foram realizadas diariamente até o 16º dia após a semeadura, onde foi determinada a porcentagem média de plântulas emersas.

Para a determinação dos potenciais hídricos utilizados foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada, utilizando-se cilindros metálicos de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura (98 cm^3), visando construção da curva característica de retenção de água no solo. Para tal, as amostras foram saturadas e submetidas às tensões de 60 e 100 hPa, em mesa de tensão e às tensões de 330, 600, 1000 e 15000 hPa, em câmaras de Richards (Klute, 1986). Após atingir o equilíbrio, as amostras foram pesadas, secas em estufa com circulação forçada, na temperatura de 105 °C, por 24 horas, e pesadas novamente para determinação da massa seca.

Os valores de tensão da água no solo foram transformados em umidade do solo a base de volume, utilizando-se a curva característica de retenção de água no solo, obtida previamente, cujos dados foram ajustados pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980), conforme equação 1.

$$\Theta = 0.162 + \frac{(0.552 + 0.162)}{[(1 + 0.035\Psi)^{1.816}]^{0.449}} \quad (1)$$

Sendo Θ o conteúdo volumétrico de água no solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e Ψ o potencial mátrico da água no solo em centímetros de coluna d'água (cca).

Índice de velocidade de emergência: conduzido em conjunto com o teste de emergência de plântulas, até o 16º dia após a semeadura, computando-se o número de plântulas emergidas por dia e aplicando-se a fórmula proposta por Maguire (1962).

Tempo inicial, final, médio e frequência relativa de emergência: conduzidos conjuntamente com o teste de emergência, calculando-se com base na contagem diária das plântulas até a data final do teste. O tempo inicial e final de emergência se referem ao primeiro e ao último dia em que houve emergência após a semeadura, respectivamente. Para o cálculo do tempo médio e frequência relativa de emergência foram utilizadas as fórmulas propostas por Santana e Ranal (2004).

O delineamento experimento utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro níveis de disponibilidade hídrica do solo e sementes com e sem tratamento químico com quatro repetições. Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk para a verificação da normalidade e homogeneidade de variâncias dos dados, respectivamente. Os dados foram submetidos a análise de variância e quando observado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do software R (Core Team. R). Para avaliação geral dos dados foi aplicado análise de componente principal, com auxílio do Past4.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se no resumo de análise de variância das quatro cultivares interação significativa entre os fatores disponibilidade hídrica e tratamento de sementes sobre a porcentagem de emergência (Tabela 1). Para a cultivar 8473RSF RR também foi observada interação significativa sobre o tempo inicial de emergência. Para os demais parâmetros avaliados as sementes das quatro cultivares de soja testadas somente foram afetadas pela disponibilidade hídrica do substrato.

O tratamento químico de sementes não exerceu influência sobre a velocidade de emergência de plântulas, somente na porcentagem de emergência, dependendo da disponibilidade hídrica do substrato (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para os testes de emergência (E), índice de velocidade (IVE), tempo médio, inicial e final de emergência, (TME, TI e TF), e massa de matéria seca (MMS), de plântulas de soja das cultivares Brasmax 8579RSF IPRO, NS 7007 IPRO, Brasmax 8473RSF RR e Brasmax 74177RSF IPRO em função da disponibilidade hídrica do solo e tratamento de sementes.

	Fonte de Variação	GL	F				
			E	IVE	TME	TI	TF
8579RSF IPRO	Disponibilidade Hídrica (DH)	3	500,12**	827,27**	576,64**	25,44**	42,59**
	Tratamento de Sementes (TS)	1	4,48*	2,82ns	1,29ns	0,26ns	2,91ns
	DHxTS	3	3,71*	0,66ns	0,15ns	0,26ns	1,18ns
	Resíduo	24	-	-	-	-	-
	C.V.(%)	-	12,27	10,42	8,85	40,08	29,15
NS 7007 IPRO	Disponibilidade Hídrica (DH)	3	883,71**	562,25**	470,92**	285,33**	202,65**
	Tratamento de Sementes (TS)	1	3,21ns	0,25ns	0,33ns	2,00ns	0,46
	DHxTS	3	3,79*	0,10ns	1,14ns	2,00ns	0,54ns
	Resíduo	24	-	-	-	-	-
	C.V.(%)	-	9,42	12,36	9,22	11,76	13,32
8473RSF RR	Disponibilidade Hídrica (DH)	3	699,65**	299,92**	1033,51**	1029,10**	472,72**
	Tratamento de Sementes (TS)	1	1,43ns	1,88ns	2,05ns	7,00*	1,06ns
	DHxTS	3	6,61**	0,67ns	0,27ns	3,19*	0,61ns
	Resíduo	24	-	-	-	-	-
	C.V.(%)	-	10,71	18,45	7,36	8,00	9,66
74177RSF IPRO	Disponibilidade Hídrica (DH)	3	630,93**	105,45**	226,74**	92,09**	318,53**
	Tratamento de Sementes (TS)	1	21,56**	0,05ns	0,01ns	0,26ns	1,02ns
	DHxTS	3	26,35**	0,77ns	0,29ns	0,26ns	0,64ns
	Resíduo	24	-	-	-	-	-
	C.V.(%)	-	8,27	25,39	14,05	23,56	10,70

*, ** e ns = significativo ao nível de 5% de probabilidade, significativo ao nível de 1% de probabilidade e não significativo conforme o teste F, respectivamente.

A emergência de plântulas foi maior entre sementes submetidas às disponibilidades hídricas de -0,01 e -0,02 MPa (Tabela 2), sendo que o início da queda na emergência ocorreu a partir de -0,02 MPa em sementes tratadas das cultivares NS 7007 IPRO e 8473RSF RR. A partir do potencial hídrico do substrato de -0,10 MPa

ocorreu queda acentuada na porcentagem de emergência, e sob o potencial de -0,40 MPa não houve emergência de plântulas.

Tabela 2. Emergência (%) de plântulas de cultivares de soja em função do tratamento de sementes e níveis de água do solo.

Cultivar	Tratamento de Sementes	Disponibilidade Hídrica (MPa)			
		-0,01	-0,02	-0,10	-0,40
8579RSF IPRO	Tratadas	93 a A	86 a A	25 a B	0 a C
	Não Tratadas	90 a A	91 a A	9 b B	0 a C
NS 7007 IPRO	Tratadas	94 a A	85 a B	21 a C	0 a D
	Não Tratadas	92 a A	87 a A	9 b B	0 a B
8473RSF RR	Tratadas	90 a A	82 a B	16 a C	0 a D
	Não Tratadas	89 a A	67 b A	8 b B	0 a C
74I77RSF IPRO	Tratadas	86 a A	79 a A	64 a B	0 a C
	Não Tratadas	84 a A	83 a A	33 b B	0 a C

Para cada cultivar, médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Sob o potencial de -0,01 MPa, condição de plena disponibilidade hídrica, não houve diferença entre sementes tratadas e não tratadas na porcentagem de emergência, e sob o potencial de -0,02 MPa houve diferença somente para a cultivar 8473RSF RR e, nesta condição, as sementes tratadas apresentaram desempenho superior. Já sob o potencial hídrico de -0,10 MPa, condição de menor disponibilidade hídrica em que houve emergência; as sementes tratadas apresentaram maior porcentagem de emergência do que as não tratadas de todas as cultivares.

O desempenho superior das sementes tratadas sob condições de menor disponibilidade hídrica indica que o tratamento químico de sementes de soja pode funcionar como um atenuante em situações de estresse, como foi relatado por Balardin et al. (2011) na emergência de plântulas em campo ou mesmo afetar a produtividade (Conceição et al., 2014).

Para as sementes de todas as cultivares também foi verificado efeito do tratamento de sementes sobre a condutividade elétrica (Tabela 3), em que sementes tratadas apresentaram desempenho superior às sementes sem tratamento.

Provavelmente, os ingredientes ativos metalaxil-m, fludioxonil e tiametoxam, utilizados no tratamento de sementes de soja favoreceram a integridade das membranas celulares ou formaram uma barreira que reduziu a exsudação de íons,

açúcares e metabólitos das sementes no teste de condutividade elétrica. Deste modo, verificou-se que as sementes tratadas de todas as cultivares apresentaram maior emergência de plântulas em condições de estresse hídrico de -0,10 MPa (Tabela 2). Para a cultivar 8473RSF RR este efeito foi verificado sob estresse menor, de -0,02 MPa, indicando que existem diferenças genéticas de soja quanto à resistência ao estresse (Gonçalves et al., 2019).

Tabela 3. Condutividade Elétrica ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de plântulas de cultivares de soja em função do tratamento de sementes e níveis de água do solo.

Tratamento de Sementes	Cultivar			
	8579RSF IPRO	NS 7007 IPRO	8473RSF RR	74177RSF IPRO
Tratadas	73,888 a	79,587	75,253 a	69,592 a
Não Tratadas	82,238 b	74,699	82,124 b	94,619 b
F	6,52*	1,25 ^{ns}	12,75*	11,81*
C.V. (%)	5,92	7,99	3,46	12,59

Para cada cultivar, médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

* e ^{ns} = significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo conforme o teste F, respectivamente.

A perda dos conteúdos celulares durante o processo germinativo está relacionada a deterioração e redução da qualidade fisiológica das sementes (Marcos Filho, 2015). No entanto, este efeito pode ser dependente das características das sementes da espécie a ser tratada, pois Vazquez et al. (2014) não verificaram este resultado em estudo semelhante com sementes de milho.

A velocidade de emergência, avaliada pelo índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência (Tabela 4), foi influenciada somente pela disponibilidade hídrica do substrato. Tanto para o índice de velocidade como no tempo médio os melhores resultados foram obtidos nas maiores disponibilidades hídricas, de -0,01 e -0,02 MPa. Para a variedade 8473RSF RR observou-se queda na velocidade de emergência a partir de -0,02 MPa.

Tabela 4. Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e tempo médio de emergência (TME) de plântulas de cultivares de soja em função do tratamento de sementes e níveis de água do solo.

Teste	Cultivar	Disponibilidade Hídrica (MPa)			
		-0,01	-0,02	-0,10	-0,40
IVE	8579RSF IPRO	8,06 A	7,55 A	0,69 B	0,00 C
	NS 7007 IPRO	7,73 A	7,07 A	0,84 B	0,00 C
	8473RSF RR	8,06 A	4,82 B	0,57 C	0,00 C
	74I77RSF IPRO	5,54 A	5,26 A	1,31 B	0,00 C
TME	8579RSF IPRO	5,90 A	6,08 A	9,96 B	0,00 C
	NS 7007 IPRO	6,21 A	6,28 A	8,96 B	0,00 C
	8473RSF RR	5,59 A	8,08 B	14,05 C	0,00 D
	74I77RSF IPRO	7,88 A	7,82 A	13,02 B	0,00 C

Para cada cultivar, médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em todas as cultivares os piores resultados de desempenho das sementes foram obtidos sob a disponibilidade hídrica de -0,10 MPa, sendo que sob -0,40 MPa não houve emergência de plântulas. Estes resultados foram semelhantes à porcentagem de emergência (Tabela 2), porém sem ter sido constatado o efeito do tratamento de sementes.

Foi possível observar por meio dos polígonos da frequência relativa da emergência (Figuras 1, 2, 3 e 4) que as plântulas das quatro cultivares iniciaram a emergência entre o quarto e décimo segundo dia após a semeadura, e o tempo final da emergência foi obtido entre o sétimo e décimo quinto.

Para a cultivar 8579RSF IPRO (Figura 1), a distribuição de emergência demonstrou comportamento polimodal sob as disponibilidades hídricas de -0,02 e -0,10 MPa, já sob o potencial hídrico de -0,01 MPa a frequência relativa teve somente um pico, no sexto dia para sementes tratadas e quinto dia em sementes não tratadas, demonstrando assim menor sincronização da emergência em sementes expostas à menores disponibilidades hídricas.

Sementes de todas as cultivares sob a maioria das disponibilidades hídricas utilizadas no experimento apresentaram comportamento polimodal na frequência relativa de emergência, ao invés de apresentarem apenas um pico, mostrando que a emergência não é perfeitamente sincronizada e sim distribuída ao longo do tempo (Coelho et al., 2022).

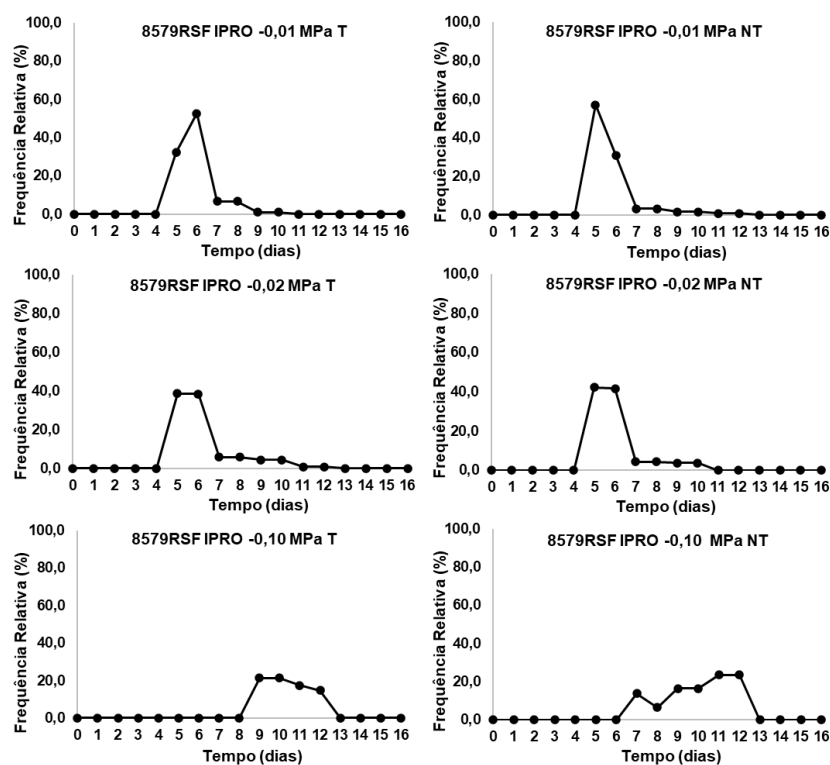


Figura 1. Distribuição da frequência relativa da emergência de plântulas da cultivar 8579RSF IPRO em função da disponibilidade hídrica do substrato.

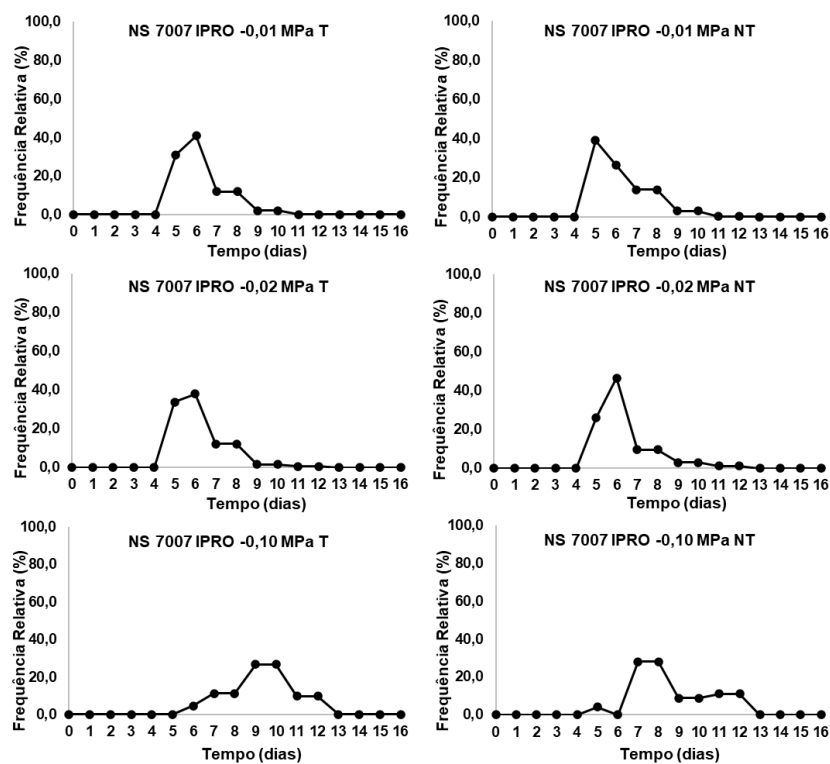


Figura 2. Distribuição da frequência relativa da emergência de plântulas da cultivar NS 7007 IPRO em função da disponibilidade hídrica do substrato.

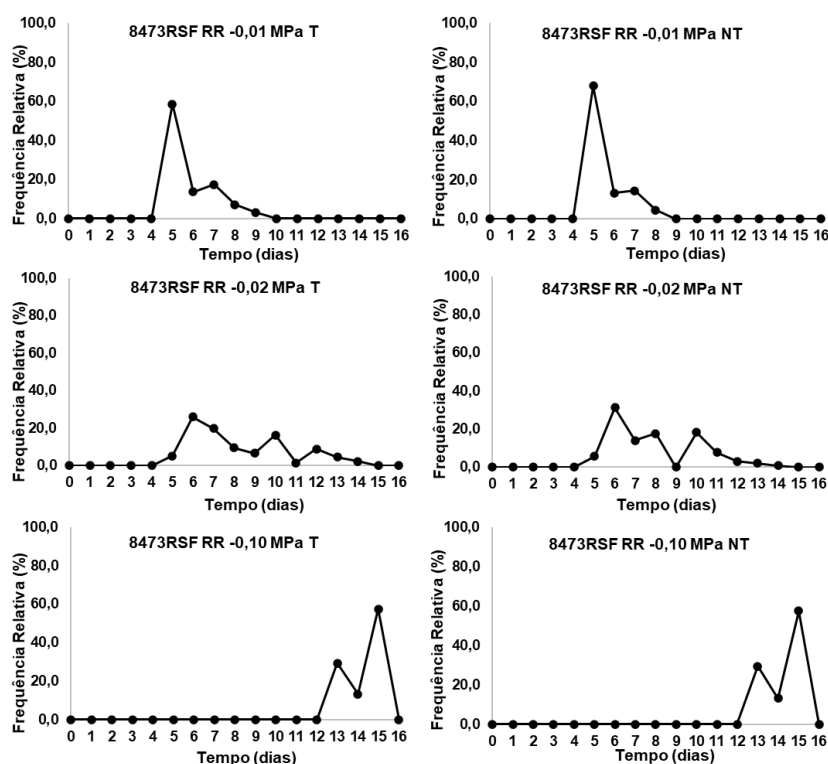


Figura 3. Distribuição da frequência relativa da emergência de plântulas da cultivar 8473RSF RR em função da disponibilidade hídrica do substrato.

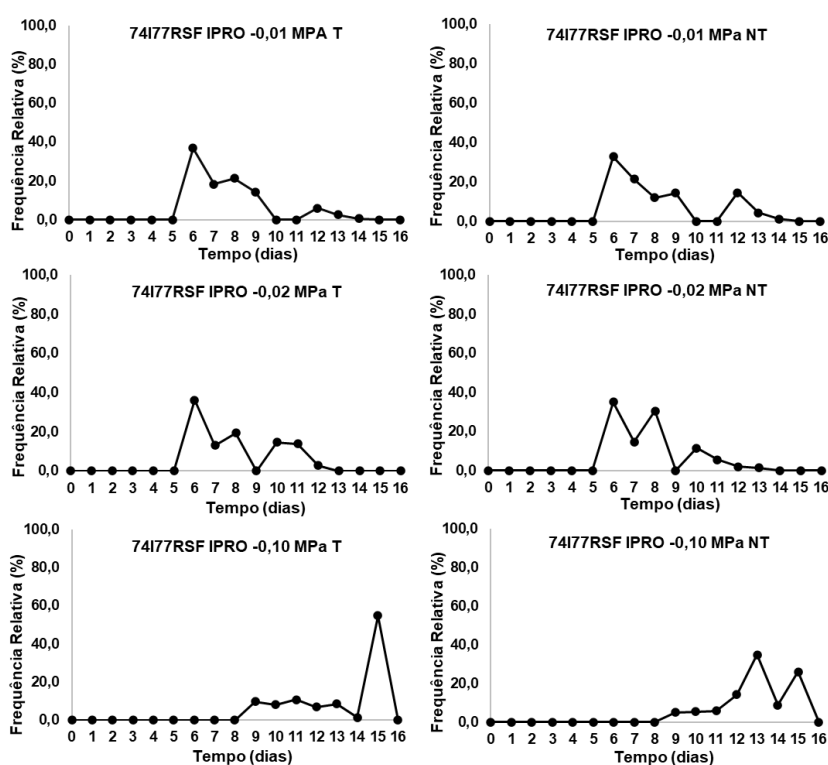


Figura 4. Distribuição da frequência relativa da emergência de plântulas da cultivar 74I77RSF IPRO em função da disponibilidade hídrica do substrato.

O tempo inicial de emergência foi obtido no 4º dia tanto para sementes submetidas ao potencial de -0,01 como de -0,02 MPa, para sementes tratadas e não tratadas, já para sementes expostas à -0,10 MPa o tempo inicial observado foi ao oitavo dia para sementes tratadas e sexto dia para sementes não tratadas. O último dia de emergência foi observado no 8º dia no potencial hídrico de -0,01 MPa, 10º dia sob -0,02 MPa e 12º dia sob a disponibilidade de -0,10 MPa.

Houve o deslocamento do polígono com a redução do potencial hídrico do substrato para tempos maiores de emergência, corroborando com os dados obtidos de tempo médio e índice de velocidade de emergência (Tabela 4), no qual situações de estresse hídrico afetaram não somente a porcentagem de emergência, como também a velocidade e uniformidade do processo. O deslocamento do polígono para a direita no gráfico em condições de estresse hídrico aponta para um atraso na germinação, podendo ser causado por uma redução no vigor das sementes (Berger 2014) ou por condição de estresse, como observado nas condições de menores disponibilidades hídricas.

A frequência relativa da emergência de plântulas da cultivar NS 7007 IPRO (Figura 2) seguiu o mesmo padrão da cultivar 8579RSF IPRO (Figura 1), em que menores disponibilidades hídricas do substrato resultaram em maiores tempos iniciais e finais de emergência. Nas disponibilidades hídricas de -0,01 e -0,02 MPa a emergência ocorreu entre o 4º e 10º dia após a semeadura, e o pico de emergência ocorreu entre o 5º e 6º dia. Já sob o potencial hídrico de -0,10 MPa, a emergência ocorreu entre o 5º e 12º após a semeadura, e foi observado mais de um pico de emergência.

Nas sementes da cultivar 8473RSF RR (Figura 3), também houve o deslocamento do polígono da frequência relativa para tempos maiores de emergência com a diminuição da disponibilidade hídrica do substrato. Na disponibilidade de -0,01 MPa, o tempo inicial foi obtido com 5 dias após a semeadura, onde foram observados somente dois picos de emergência, em sementes tratadas e não tratadas. Sob a disponibilidade de -0,02 MPa o tempo inicial de emergência foi obtido no 5º dia após a semeadura e o tempo final no 14º dia, apresentando menor uniformidade na emergência em relação à disponibilidade de -0,01 MPa. Já no potencial hídrico de -

0,10 MPa foram observados maiores tempos iniciais e finais de emergência em relação às maiores disponibilidades hídricas, ocorrendo no 13º e 15º dia após a semeadura, onde foram observados os picos de emergência.

A frequência relativa da emergência de plântulas da cultivar 74I77RSF IPRO (Figura 4) submetidas às disponibilidades de -0,01 e -0,02 MPa apresentaram comportamento semelhante. O tempo inicial foi obtido no 6º dia após a semeadura, e o tempo final entre o 13º e 14º dia. No potencial hídrico de -0,10 MPa o tempo inicial de emergência foi obtido no 9º dia, e o final no 15º, causando o deslocamento do polígono da frequência relativa para à direita do gráfico, em sementes tratadas e não tratadas.

Além de promover o deslocamento do polígono da frequência relativa de emergência para a direita, em condições de déficit hídrico foi verificado que a emergência ocorreu durante um intervalo maior de tempo. Quando o processo de emergência leva mais tempo para ocorrer, as sementes ficam mais tempo expostas ao ataque de pragas e patógenos, além de proporcionar um estabelecimento desuniforme da lavoura (Lacerda et al., 2021).

Na análise multivariada (Tabela 5) dois componentes principais foram necessários para acumular uma variância de 98,35%, sendo 66,44 % e 31,91% do primeiro e segundo componente, respectivamente. Essa variância acumulada está acima do mínimo necessário 70% (RENCHE; CHRISTENSEN, 2012), assim como das encontradas por Costa e Novembre (2019) e Coelho *et al.* (2021) avaliando semente de arroz e cártamo, que obtiveram variâncias de 90,87% e 73,98% respectivamente.

Tabela 5. Matriz de correlação e autovetores dos componentes principais (CP) pelos testes de emergência de plântulas, índice de velocidade e tempos médio, inicial e final de emergência de plântulas oriundas de lotes de cultivares de soja em função do tratamento ou não de sementes e níveis de água do solo.

Variáveis	Componente principal 1	Componente principal 2
Emergência de plântulas	0,69	0,71
Índice de velocidade de emergência	0,57	0,81
Tempo médio de emergência de plântulas	0,89	-0,44
Tempo inicial de emergência de plântulas	0,87	-0,47
Tempo final de emergência de plântulas	0,97	-0,15
Autovalores	3,32	1,6
Variância acumulada (%)	66,44	31,91
Variância total (%)	98,35	

Em relação ao poder discriminatório das variáveis em cada componente, correlação acima 0,60 foram consideradas (CRUZ *et al.*, 2020), com isso emergência de plântulas e os tempos médio, inicial e final de emergência de plântulas se correlacionam com o primeiro componente; para o segundo, apenas emergência e Índice de velocidade de emergência de plântulas tiveram maior poder discriminatório.

Na distribuição dos tratamentos no gráfico biplot (Figura 1) verificou-se a formação de três grupos. No grupo 1 encontram-se sementes das quatro cultivares submetidas ou não ao tratamento de sementes e as disponibilidades hídricas -0,01 e -0,02 MPa; apresentado maior porcentagem e velocidade de emergência, ou seja, maior quantidade de plântulas em menos tempo na formação do estande inicial.

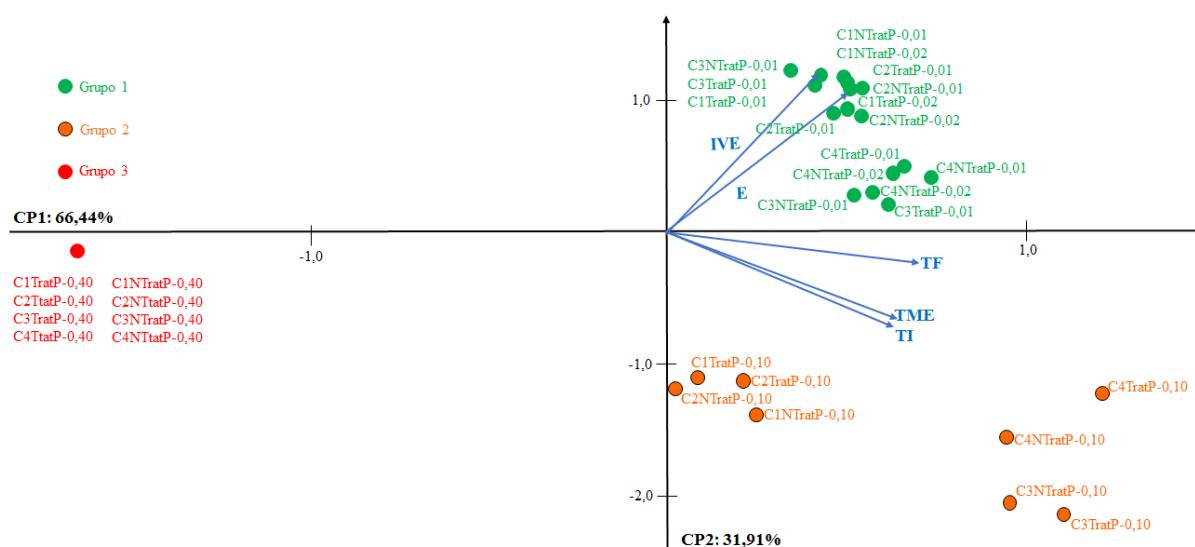


Figura 5. Dispersão de autovetores ao longo de um plano circular e formação de grupos obtidos por análise de componentes principais de acordo com a emergência de plântulas (E), índice de velocidade (IVE) e tempos médio (TME), inicial (TI) e final (TF) de emergência de plântulas oriundas de lotes de cultivares de soja (C1: 8579RSF IPRO, C2: NS 7007 IPRO, C3: 8473RSF RR e C4: 74177RSF IPRO) em função do tratamento (Trat) ou não (NTrat) de sementes e níveis de água do solo (P-0,01; P-0,02; P-0,10 e P-0,40 MPa).

Quando as sementes, com e sem tratamento, das quatro cultivares foram submetidas a disponibilidade de -0,10 MPa, teve-se a formação do grupo 2, no qual foram caracterizados por uma menor velocidade de emergência, com maiores valores de tempos médios, inicial e final de emergência de plântulas. Houve ainda, mesmo pertencendo ao grupo 2, diferenciação entre as cultivares 8473RSF RR e 74177RSF

I PRO, tidas como C3 e C4 no gráfico, pois ao se distanciar da no sentido vertical infere-se em maior tempo de emergência de plântulas quando comparadas 8579RSF I PRO e NS 7007 I PRO, nesse grupo, ou seja, quando submetidas ao potencial de - 0,10 MPa.

Já as quatro cultivares, com ou sem tratamento de sementes, quando submetidas ao potencial de -0,40 MPa não verificou-se a emergência e formação de plântulas. Esse fato é corroborado por seus pontos estarem sobrepostos no gráfico em quadrante oposto a emergência e as variáveis de velocidade de emergência de plântulas.

3.4. CONCLUSÕES

Sementes de soja tratadas com metalaxil-m, fludioxonil e tiametoxam apresentam melhor manutenção das membranas, assim como aquelas com 14% de teor de água.

Sob condições de déficit hídrico, sementes de soja tratadas com metalaxil-m, fludioxonil e tiametoxam apresentam melhor desempenho na emergência de plântulas, enquanto que sob potencial hídrico de -0,01 MPa o tratamento químico de sementes não influencia no desempenho das sementes em campo.

3.5. REFERÊNCIAS

Almeida, ADS, Carvalho, I, Deuner, C, Villela, FA (2011) Bioativador no desempenho fisiológico de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Sementes** 33:501-510.

Balardin, RS, Silva, FDL, Debona, D, Dalla Corte, G, Dalla Favera, D, Tormen, NR (2011) Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. **Ciência Rural** 41:1120-1126.

Basal, O, Szabó, A, Veres, S (2020) PEG-induced drought stress effects on soybean germination parameters. **Journal of Plant Nutrition** 43:1768-1779 <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1750638>

Berger, APA, Ranal, MA, Santana, DG (2014) Variabilidade na dormência relativa dos diásporos de *Lithraea molleoides* (Vell.) **Eng. Ciência Florestal** 24:1-13. <https://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.017>

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009) Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 399p.

Brzezinski, CR, Henning, AA, Abati, J, Henning, FA, França-Neto, J. DB, Krzyzanowski, FC, Zucareli, C (2015) Seeds treatment times in the establishment and yield performance of soybean crops. **Journal of Seed Science** 37:147-153.

Coelho, MV, Lima e Silva, IMH, Silva, AAS, Paz, RBO, Rocha, DI, Machado, CG, Silva, GZ (2022) Accelerated aging test in the determination of safflower seeds vigor. **Bioscience Journal** 38: e38003. <https://doi.org/10.14393/BJ-v38n0a2022-54228>

Conceição, GM, Barbieri, APP, Dal'col Lúcio, A, Martin, TN, Mertz, LM, Mattioni, NM, Lorentz, LH (2014). Desempenho de plântulas e produtividade de soja submetida a diferentes tratamentos químicos nas sementes. **Bioscience Journal** 30:1711-1720.

De Paola, FM, Giugni, M, Topa, ME, Bucchignani, E (2014) Intensity–duration–frequency (IDF) rainfall curves, for data series and climate projection in African cities. **SpringerPlus** 3:1-18.

Gonçalves, CG; Silva, AC, Alves, LR., Pereira, MRR, Gratão, PL, Martins, D. (2019) Biochemical examination of non-transgenic and transgenic soybean plants under rought stress conditions. **Biologia plantarum** 63:314-322.

Hubbard, M, Germida, J, Vujanovic, V (2012) Fungal endophytes improve wheat seed germination under heat and drought stress. **Botany** 90:137-149. <https://doi.org/10.1139/b11-091>

Klute, A (1986) Water Retention: Laboratory Methods. In: Klute, A. (Ed.), **METHODS OF SOIL 374 ANALYSIS - Part 1 - Physical and Mineralogical Methods**. Madson: American Society of Agronomy, p. 635-660.

Krzyzanowski, FC, Vieira, RD, França-Neto, JB, Marcos-Filho, J (2020). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 601 p.

Lacerda, MP, Umburanas, RC, Martins, KV, Rodrigues, MAT, Reichardt, K, Dourado-Neto, D (2021) Vigor and oxidation reactions in soybean seedlings submitted to different seed chemical treatments. **Journal of Seed Science** 43:1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v43247033>

Maguire, JD (1962) Speed of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science** 2:176-177.

Marcos Filho, J (2015) **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: Abrates, 659 p.

Pereira, WA, Pereira, SMA, Dias, DCFS (2013) Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings. **Journal of Seed Science** 35:316-322.

Rocha, DK, Carvalho, ER, Pires, RMDO, Santos, HOD, Penido, AC, Andrade, DBD (2020) Does the substrate affect the germination of soybean seeds treated with phytosanitary products?. **Ciência e Agrotecnologia** 44:1-8.

Rosenzweig, C, Jones, JW, Hatfield, JL, Ruane, AC, Boote, KJ, Thorburn, P, Antle, J, Nelson, G, Porter, C, Janssen, S, Asseng, S, Winter, JM, Greeley, AP, Basso, B, Ewert, F (2012) The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMip) : Protocols and pilot studies. **Agricultural and Forest Meteorology** 170:166-182. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.011>

Rosseto, CAV, Novembre, ADLC, Marcos Filho, J, Silva, WR, Nakagawa, J (1997a) Comportamento das sementes de soja durante a fase inicial do processo de germinação. **Scientia Agricola** 54:106-115. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000100015>.

Rosseto, CAV, Novembre, ADLC, Marcos Filho, J, Silva, WR, Nakagawa, J (1997b) Efeito da disponibilidade hídrica do substrato, da qualidade fisiológica e do teor de água inicial das sementes de soja no processo de germinação. **Scientia Agricola** 54:97-105. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000100014>

Santana, DG, Ranal, MA (2004) **Análise da germinação: um enfoque estatístico**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 247 p.

Sartori, FF, Pimpinato, RF, Tornisielo, VL, Engroff, TD, Jaccoud-Filho, DS, Menten, JO, Dorrance, AE, Dourado Neto, D (2020) Soybean seed treatment: how do fungicides translocate in plants? **Pest Management Science** 76:2355-2359. <https://doi.org/10.1002/ps.5771>

Soares, MM, Santos Junior, HC, Simões, MG, Pazzin, D, Silva, LJ (2015) Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 45:370-378 <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4535357>

Sudisha, J, Niranjana, SR, Sukanya, SL, Girijamba, R, Lakshmi-Devi, N, Shetty, HS (2010) Relative efficacy of strobilurin formulations in the control of downy mildew of sunflower. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 83:461-470 <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0316-3>

Van Genuchten, MTA (1980) Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. **Soil Science Society of America Journal** 44:892-898. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

Vazquez, GH, Cardoso, RD, Peres, AR (2014) Tratamento químico de sementes de milho e o teste de condutividade elétrica. **Bioscience Journal** 30: 773-781.

Vieira, RD, Penariol, AL, Perecin, D, Panobianco, M (2002) Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 37:1333-1338. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900018>