RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo será disponibilizado somente a partir de 31/07/2026

At the author's request, the full text will not be available online until July 31, 2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

VITOR HENRIQUE GONÇALVES LOPES

ATUAÇÃO DE UM OSMOPROTETOR VISANDO AMENIZAR O DÉFICIT HIDRICO DURANTE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE SOJA (*Glycine max*)

Botucatu

2024

VITOR HENRIQUE GONÇALVES LOPES

Atuação de um osmoprotetor visando amenizar o déficit hídrico durante a germinação de sementes de soja (*Glycine max*)

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura)

Orientador: Edvaldo Aparecido Amaral da Silva

Coorientador(a): Daiani Ajala Luccas

Botucatu

2024

G635a

Gonçalves Lopes, Vitor Henrique
Atuação de um osmoprotetor visando amenizar o déficit hídrico durante a germinação de sementes de soja (Glycine max) / Vitor Henrique Gonçalves Lopes. -- Botucatu, 2024
122 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Edvaldo Aparecido Amaral da Silva
Coorientadora: Daiani Ajala Luccas

1. Sementes. 2. Osmoprotetor. 3. Qualidade fisiológica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ATUAÇÃO DE UM OSMOPROTETOR VISANDO AMENIZAR O DÉFICIT HIDRICO DURANTE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE SOJA (Glycine max)

AUTOR: VITOR HENRIQUE GONÇALVES LOPES
ORIENTADOR: EDVALDO APARECIDO AMARAL DA SILVA
COORIENTADORA: DAIANI AJALA LUCCAS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Agricultura), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDVALDO APARECIDO AMARAL DA SILVA (Participaçao Presencial)
Producao Vegetal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu

Pesquisadora Dr.ª NATÁLIA HELENA GAVILAN (Participaçao Presencial)
Horticultura / Emerge Agro

Voluntário Livre-Docente JOÃO NAKAGAWA (Participaçao Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Botucatu, 31 de julho de 2024

Aos meus amados pais, Nina e Rodolfo, que sob muito sol, fizeram-me chegar até aqui, na sombra

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a todos aqueles que tornaram possível a realização deste percurso acadêmico desafiador e enriquecedor.

Primeiramente, quero agradecer a Deus por dar forças para não desistir nos momentos que me sentia incapaz, inseguro e frente a dificuldade, por cada experiência, pelos livramentos, pelas oportunidades e por tudo que me permitiu viver e aprender durante esses dois anos.

Agradeço aos meus pais Rodolfo Luis Gonçalves Lopes e Ilionina Tavares de Souza, sem o apoio incondicional, amor e encorajamento que sempre me proporcionaram, eu não teria alcançado esse sonho. Desde o início, vocês foram minha fonte de inspiração, cada sacrifício que fizeram, cada palavra de incentivo e cada gesto de apoio foram fundamentais para que eu pudesse enfrentar os desafios e perseverar até aqui. O amor e apoio que me concederam, com suas lições de vida, me fez a pessoa que sou hoje. Vocês são minha âncora, meu porto seguro, e tudo que conquistei é também fruto do amor e dos valores que vocês me ensinaram ao longo da vida. Sou imensamente grato por ter pais tão maravilhosos como vocês. Obrigado por acreditarem em mim, mesmo nos momentos que nem eu acreditava em mim.

Aos meus irmãos, Luis Eduardo Gonçalves Lopes e Cesar Augusto Gonçalves Lopes e minha cunhada Tamires e minha sobrinha Ana Luisa por todo apoio, carinho e incentivo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edvaldo A. Amaral da Silva, pela orientação e pelos momentos de apoio, atenção e dedicação e também por contribuir com seus conhecimentos para a realização deste trabalho, me auxiliando nos momentos de dificuldade e estando sempre disponível para me atender. Além de todo o crescimento profissional e pessoal durante esses anos de trabalho juntos.

A minha coorientadora, Dra. Daiani Ajala Luccas, pela coorientação durante a condução deste trabalho e por facilitar minha jornada no mestrado, sempre me incentivando. Te agradeço por toda ajuda e pelos ensinamentos. Obrigado pelas palavras de incentivo, pelas trocas de ideias, nossos momentos compartilhados foram essenciais para ampliar minha perspectiva e enriquecer meu aprendizado.

Agradeço à equipe EmergeAgro pelo apoio crucial ao longo deste trabalho, tanto em termos operacionais quanto intelectuais, enriquecendo significativamente meu projeto e sempre estando dispostos a me auxiliar.

Ao Laboratório de Análise de Sementes (L.A.S) da UNESP/FCA Botucatu, do qual faço parte, agradeço profundamente. A Valéria, pela dedicação incansável em me auxiliar durante a execução deste trabalho. Também agradeço a todos os meus colegas de profissão que me apoiaram: Brunna, Michelane, Felipe, Dennis, Mônica, Gustavo, Tamires, Ana e aos estagiários de iniciação científica. Trabalhar ao lado de vocês certamente tornou esta jornada mais leve e produtiva.

Agradeço às amigas que fiz durante a pós-graduação e que pretendo levar para toda a vida, especialmente a Renata Arruda, Aline Oliveira e Taise Rodrigues, pelo companheirismo no trabalho e na vida pessoal. Obrigado por tornarem mais leve os momentos difíceis que enfrentamos ao longo desses dois anos, pelas risadas, diversões e aventuras. As palavras de incentivo, ao compartilhar experiências e a amizade verdadeira foram fundamentais para minha motivação e bem-estar ao longo deste período. Ainda, a troca de experiências profissionais e pessoais foi fundamental para que essa jornada fosse mais enriquecedora.

Gostaria de expressar meu profundo agradecimento aos amigos que estiveram ao meu lado durante esta jornada da dissertação, mesmo de longe. A vocês, Gabriela Vechiatto, Natalia Aquino, Ana Lorusso, Djeyne Gerônimo, Ingridy Gerônimo, Giovanna Seron, Maria Andressa e Paula Rodrigues, meu mais sincero reconhecimento pelo apoio incondicional, pela compreensão nos momentos de ausência e pela presença constante, tornando essa etapa desafiadora mais leve e significativa. Agradeço de coração por fazerem parte da minha vida e por tornarem esta conquista possível.

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP) e ao Departamento de Produção Vegetal – Agricultura, que me proporcionou a oportunidade de buscar o conhecimento, de realização do curso e qualificação profissional. E também a todos os professores que compartilharam seus conhecimentos e aos colegas que, de alguma forma, contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico

Não posso deixar de agradecer a mim mesmo por ter conduzido este trabalho com dedicação incansável, perseverança diante dos desafios e comprometimento constante. Apenas eu sei das dificuldades enfrentadas e quanto este trabalho me ajudou a superá-las, contribuindo para o meu amadurecimento pessoal e profissional, minha determinação em enfrentar as complexidades e minha incessante busca pelo conhecimento foram fundamentais para alcançar este importante marco acadêmico.

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

RESUMO

Com o aumento do aquecimento global, os fenômenos climáticos têm se tornado mais frequentes, representando um desafio para a agricultura devido aos estresses abióticos, como o déficit hídrico que ocorre durante a germinação e o estabelecimento inicial das plantas. Este déficit resulta em danos às estruturas celulares e membranas das plantas, comprometendo seu crescimento e desenvolvimento e, consequentemente, reduzindo a produtividade. Nesse contexto, é necessário desenvolver alternativas para mitigar os efeitos do estresse hídrico, especialmente durante a fase inicial de germinação e estabelecimento das plantas, sendo uma alternativa viável o uso de osmoprotetores. O objetivo deste estudo foi investigar o impacto do osmoprotetor no tratamento de sementes, avaliando seu efeito na germinação, na longevidade das sementes e também durante o estabelecimento inicial das plantas submetidas ao déficit hídrico induzido. O experimento foi conduzido em diversas etapas. Inicialmente, foram selecionadas concentrações desse osmoprotetor por meio de avaliações fisiológicas. Em seguida, essas concentrações foram testadas em diferentes produtos contendo osmoprotetor, induzindo estresse osmótico e avaliando atributos fisiológicos. Ainda, as sementes tratadas foram avaliadas quanto ao seu efeito na longevidade. Posteriormente, foi avaliado o efeito do tratamento de sementes com osmoprotetor no estabelecimento de plantas em condições de déficit hídrico em casa de vegetação, utilizando substrato com capacidade reduzida de água, e foram analisados parâmetros fisiológicos. Em uma última etapa, foi selecionado um produto e concentração para associação com inoculante e fungicida, técnicas difundidas no tratamento de sementes. Os resultados sugerem que o osmoprotetor, quando aplicada no tratamento de sementes, incorpora-se internamente na semente e contribui para uma maior expressão da qualidade fisiológica das sementes (germinação, vigor e longevidade), além de minimizar os efeitos do déficit hídrico após a germinação. Durante o desenvolvimento das plantas, observou-se que há um acúmulo desse osmoprotetor, mitigando os efeitos do déficit hídrico. Assim, o uso do osmoprotetor no tratamento de sementes mostrou-se promissor para uma melhor expressão da qualidade fisiológica das sementes de soja e em reduzir os efeitos ocasionados do déficit hídrico.

Palavras-chave: soja; estresse hídrico; osmoprotetor; qualidade fisiológica; longevidade.

ABSTRACT

With the increase in global warming, climatic phenomena have become more frequent, representing a challenge for agriculture due to abiotic stresses, such as the water deficit that occurs during the germination and initial establishment of plants. This deficit results in damage to the cell structures and membranes of plants, compromising their growth and development and, consequently, reducing productivity. In this context, it is necessary to develop alternatives to mitigate the effects of water stress, especially during the initial phase of germination and plant establishment, and one viable alternative is the use of osmoprotectants. The aim of this study was to investigate the impact of osmoprotectants in seed treatment, assessing their effect on germination, seed longevity and also during the initial establishment of plants subjected to induced water deficit. The experiment was conducted in several stages. Initially, concentrations of this osmoprotectant were selected through physiological evaluations. Next, these concentrations were tested in different products containing osmoprotectant, inducing osmotic stress and evaluating physiological attributes. The treated seeds were also evaluated for their effect on longevity. Subsequently, the effect of seed treatment with osmoprotectants on the establishment of plants under conditions of water deficit in a greenhouse, using a substrate with reduced water capacity, was evaluated and physiological parameters were analyzed. In a final step, a product and concentration were selected for association with inoculant and fungicide, techniques that are widespread in seed treatment. The results suggest that the osmoprotectant, when applied in the seed treatment, is incorporated internally into the seed and contributes to a greater expression of the physiological quality of the seeds (germination, vigour and longevity), as well as minimizing the effects of water deficit after germination. During plant development, it was observed that this osmoprotectant accumulates, mitigating the effects of water deficit. Thus, the use of the osmoprotectant in seed treatment has shown promise for better expression of the physiological quality of soybean seeds and for reducing the effects of water deficit.

Keywords: soybean; water stress; osmoprotectant; physiological quality; longevity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Demanda hídrica diária (mm) da soja por estádio vegetativo (V) e reprodutivo (R).....33

Capítulo 1 – Osmoprotetor como estratégia para mitigar o déficit hídrico em sementes de soja (*Glycine max*) durante o processo de germinação.

Figura 1 - Gráfico de médias de Primeira contagem de germinação (A); Classificação do vigor (B); Comprimento de parte aérea (C) e Comprimento de raiz primária (D); da cultivar de soja NEO 610 IPRO em diferentes concentrações de formulação pura (D-Trealose). Médias seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 52

Figura 2 - Gráfico de Primeira contagem de germinação (A) e; Germinação (B) de soja cv. NEO 610 IPRO nas concentrações 120 mmol e 180 mmol com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 2); tratamento 4 (formulação 4); tratamento 5 (formulação 6). Médias seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 54

Figura 3 - Gráfico de Classificação do vigor (A) e; Comprimento de parte aérea (B) de soja cv. NEO 610 IPRO nas concentrações 120 mmol e 180 mmol com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 2); tratamento 4 (formulação 4); tratamento 5 (formulação 6). Médias seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 55

Figura 4 - Gráfico de T50 (horas) de soja cv. NEO 610 IPRO na concentração de 120 mmol com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 2); tratamento 4 (formulação 4); tratamento 5 (formulação 6). Médias seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 56

Figura 5 - Gráfico de Protrusão de soja cv. NEO 610 IPRO na concentração de 180 mmol com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 2); tratamento 4

(formulação 4); tratamento 5 (formulação 6). Médias seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade..... 57
Figura 6 - Curva de embebição de sementes de soja cv. NEO 610 IPRO 58
Figura 7 - Gráfico de médias da Classificação de vigor na concentração de 120 mmol (A) e 180 mmol (B) de soja cv. NEO 610 IPRO com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 4); tratamento 4 (formulação 6). Médias seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 59
Figura 8 - Gráfico de médias de Massa de matéria seca de parte aérea na concentração de 120 mmol e 180 mmol de soja cv. NEO 610 IPRO com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 4); tratamento 4 (formulação 6). Médias seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 60
Figura 9 - Gráfico de médias de Massa de matéria seca da raiz na concentração de 120 e 180 mmol de soja cv. NEO 610 IPRO com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 4); tratamento 4 (formulação 6). Médias seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 61
Figura 10 - Gráfico de médias de Precocidade da emissão da raiz primária maior que 6 cm na concentração de 120 mmol de soja cv. NEO 610 IPRO com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 4); tratamento 4 (formulação 6). Médias seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 62
Figura 11 - Gráfico dos dados de Temperatura (ºC) e Umidade relativa (UR) coletados a cada período de armazenamento. 63
Figura 12 - Longevidade das sementes. A: Curva da distribuição da germinação por protrusão da raiz primária ao longo do armazenamento; B: P_{50} (tratamento 1: testemunha; tratamento 2: FP 120 mmol; tratamento 3: FP 180 mmol; tratamento 4: F4 120 mmol; tratamento 5: F4 180 mmol; tratamento 6: F6 120 mmol e; tratamento 7: F6 180 mmol) 64

Figura 13 - Análise de componentes principais da concentração de 120mM e 180mM dos produtos FP, F4, F6 e testemunha dos componentes de qualidade fisiológica durante a longevidade (plântulas normais (PN), plântulas anormais (PA), sementes mortas (SM), primeira contagem de germinação (PC), plântulas fortes (Fortes), plântulas fracas (Fracas), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (Emerg.), protrusão, T50, comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa de matéria seca de parte aérea (MMSPA) e, massa de matéria seca da raiz (MMSR) 65

Capítulo 2 – Uso de osmoprotetor para mitigar os impactos do déficit hídrico no estabelecimento inicial de plantas de soja (*Glycine max*) em casa de vegetação.

Figura 1 - Gráfico de médias de Comprimento de parte aérea (A) e; Comprimento da raiz (B) na concentração de 120 mmol em condições de controle (60% CRA) e estresse hídrico (30% CRA) com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 4); tratamento 4 (formulação 6). Média seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 91

Figura 2 - Gráfico de médias de Massa de matéria seca de parte aérea na concentração de 120 mmol (A) e 180 mmol (B) em condições de controle (60% CRA) e estresse hídrico (30% CRA) com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 4); tratamento 4 (formulação 6). 92

Figura 3 - Gráfico de médias de Massa de matéria seca d*a* raiz na concentração de 120 *mmol* (A) e 180 *mmol* (B) em condições de controle (60% CRA) e estresse hídrico (30% CRA) com diferentes produtos a seguir: tratamento 1 (testemunha); tratamento 2 (formulação pura); tratamento 3 (formulação 4); tratamento 4 (formulação 6). Média seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 93

Figura 4 - Análise de componentes principais da concentração de 120mM e 180mM dos produtos FP, F4 e F6 em condição de 30% da capacidade de retenção de água do substrato em que os tratamentos: 1 – Testemunha 120 mmol;

2 – FP 120 mmol; 3 – F4 120 mmol; 4 – F6 120 mmol; 5 – Testemunha 180 mmol; 6 – FP 180 mmol; 7 – F4 180 mmol e; 8 – F6 180 mmol 95

Figura 5 - Gráfico de médias de comprimento de parte aérea (A) e comprimento de raiz (B) de soja cv. NEO 610 IPRO, em que os tratamentos: 1 – Testemunha; 2 – F6 180 mmol; 3 – Inoculante; 4 – Fungicida; 5 – F6 180 mmol + Inoculante; 6 – FP 180 mmol + Fungicida; 7 – Inoculante + Fungicida e; 8 – F6 180 mmol + Inoculante + Fungicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 97

Figura 6 - Gráfico de médias de Massa de matéria seca de parte aérea (A) e da raiz (B) de soja cv. NEO 610 IPRO, em que os tratamentos: 1 – Testemunha; 2 – F6 180 mmol; 3 – Inoculante; 4 – Fungicida; 5 – F6 180 mmol + Inoculante; 6 – FP 180 mmol + Fungicida; 7 – Inoculante + Fungicida e; 8 – F6 180 mmol + Inoculante + Fungicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade..... 98

Figura 7 - Gráfico de médias do Número de nódulos (A) e Massa de matéria seca de nódulos (B) de soja cv. NEO 610 IPRO, em que os tratamentos: 1 – Testemunha; 2 – F6 180 mmol; 3 – Inoculante; 4 – Fungicida; 5 – F6 180 mmol + Inoculante; 6 – FP 180 mmol + Fungicida; 7 – Inoculante + Fungicida e; 8 – F6 180 mmol + Inoculante + Fungicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade 99

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 – Osmoprotetor como estratégia para mitigar o déficit hídrico em sementes de soja (*Glycine max*) durante o processo de germinação

Tabela 1 - Porcentagem de plântulas fortes, primeira contagem de germinação, plântulas fracas, germinação (plântulas normais, plântulas anormais e sementes mortas), comprimento de parte aérea, comprimento da raiz, massa de matéria seca de parte aérea, protrusão, T50, índice de velocidade de emergência e emergência, autovalores, variação explicada e acumulada ao longo das duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2) 66

Tabela 2 - Valores médios da área abaixo da curva de plântulas normais (PN), primeira contagem de germinação (PC), plântulas fortes (PF), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa de matéria seca de parte aérea (MMPA) e, massa de matéria seca de raiz (MMSR) ao longo do armazenamento, com diferentes produtos: testemunha; tratamento 1 (Formulação pura); tratamento 2 (formulação 4); tratamento 3 (formulação 6). 68

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 23

REVISÃO DE LITERATURA 27

CAPÍTULO 1 - OSMOPROTETOR COMO ESTRATÉGIA PARA MITIGAR O EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO EM SEMENTES DE SOJA (Glycine max) DURANTE O PROCESSO DE GERMINAÇÃO 41

RESUMO 41

ABSTRACT 42

1.1 INTRODUÇÃO 43

1.2 MATERIAL E MÉTODOS 44

1.2.1 Tratamento de sementes 44
1.2.2 Determinação das concentrações de trealose usadas 45
1.2.3 Concentrações selecionadas a partir da formulação pura 45
1.2.4 Simulação de déficit hídrico utilizando Polietilenoglicol 6000. 46
1.2.5 Avaliação da qualidade física e fisiológica das sementes 47
1.2.5.1 Determinação teor de água 47
1.2.5.2 Germinação 47
1.2.5.3 Precocidade da emissão da raiz primária 47
1.2.5.4 Primeira contagem de germinação 48
1.2.5.5 Classificação de vigor de plântulas(fortes e fracas) 48
1.2.5.6 Determinação do comprimento e massa de matéria seca de raiz e da parte aérea de plântulas 48
1.2.5.7 Tempo médio para ocorrência de 50% de germinação (T50) 49
1.2.5.8 Emergência e Índice de Velocidade de Emergência (IVE) em areia 49
1.2.6 Avaliação da longevidade 49
1.2.7 Análise dos resultados 50
1.3 RESULTADOS 51

1.3.1 Avaliação da qualidade inicial e seleção de concentrações 51
1.3.2 Efeito das concentrações selecionadas na germinação e no vigor 53
1.3.3 Curva de embebição 57
1.3.4 Impacto da simulação de déficit hídrico com o uso de Polietilenoglicol 6000 em sementes tratadas e germinadas 58
1.3.5 Avaliação da longevidade das sementes 62
1.4 DISCUSSÃO 69

1.4.1 Seleção de concentrações e o efeito dessas na germinação e no vigor 69
1.4.2 Impacto da simulação de déficit hídrico com o uso de Polietilenoglicol 6000 em sementes tratadas e germinadas 70
1.4.3 Efeito na longevidade das sementes 72
REFERÊNCIAS 75

CAPÍTULO 2. USO DE OSMOPROTETOR PARA MITIGAR OS IMPACTOS DO DÉFICIT HÍDRICO NO ESTABELECIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE SOJA (Glycine max) EM CASA DE VEGETAÇÃO 81

RESUMO 81

ABSTRACT 82

2.1 INTRODUÇÃO 83

2.2 MATERIAL E MÉTODOS 84

2.2.1 Avaliação inicial das sementes 84

2.2.2 Preparo do substrato e Capacidade de Retenção da Água 85

2.2.3 Tratamento de sementes 85

2.2.4 Condições de cultivo em déficit hídrico em casa de vegetação 86

2.2.4.1 Avaliações 87

2.2.4.1.1 Emergência e Índice de Velocidade de Emergência 87

2.2.4.1.2 Área foliar 87

2.2.4.1.3 Comprimento e massa de matéria seca de parte aérea e de raiz 87

2.2.5 Associação do produto F6 180 mmol com inoculante e fungicida em casa de vegetação 88

2.2.5.1. Avaliações 89

2.2.5.1.1 Área Foliar 89

2.2.5.1.2 Comprimento e massa de matéria seca de parte aérea e de raiz 89

2.2.5.1.3 Nodulação 89

2.2.6 Análise dos resultados 89

2.3. RESULTADOS 90

2.3.1 Efeito do déficit hídrico das sementes tratadas com FP, F4 e F6 nas concentrações de 120 e 180 mmol em casa de vegetação 90

2.3.2 Associação das sementes tratadas com F6, inoculante e fungicida em casa de vegetação 95

2.4 DISCUSSÃO 99

2.4.1 O efeito déficit hídrico das sementes tratadas com FP, F4 e F6 nas concentrações de 120 e 180 mmol em casa de vegetação 99

2.4.2 Efeito nas sementes tratadas com F6 em associação com inoculante e fungicida em casa de vegetação 101

CONSIDERAÇÕES FINAIS 110

REFERÊNCIAS 110

INTRODUÇÃO GERAL

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill], principal commodity brasileira, tem o Brasil como o maior produtor mundial, devido a importância de seus produtos e subprodutos, ter um valor socioeconômico relevante, tanto para o mercado interno como para o externo. E a qualidade das sementes está aliada a essa relevância, sendo um fator essencial para a prática agrícola, garantindo altas produções e segurança alimentar.

A semente possui atributos que vão determinar sua qualidade, sendo eles: genético, físico, fisiológico e sanitário, garantindo assim um alto desempenho no campo, sendo considerado o sucesso de uma lavoura (França-Neto; Henning, 2010). A qualidade fisiológica tem destaque por referir-se à germinação, o vigor e a longevidade, que determinam a capacidade de armazenamento, o estabelecimento de plântulas vigorosas, a performance das plantas no campo e a produtividade (Bewley *et al*., 2013).

Com os eventos climáticos, em virtude do aquecimento global, a ocorrência de seca e altas temperaturas tem sido um problema recorrente, principalmente no Brasil. Essa situação provoca instabilidade no sistema agrícola, tornando as condições ambientais fatores determinantes para a produção agrícola (Noaa, 2016). No entanto, a deficiência hídrica é um dos principais fatores que afetam a produção agrícola visto que ocorre quando a precipitação pluvial apresenta valores menores do que a taxa de evaporação da água e de transpiração das plantas (Kerbauy, 2012), impactando no resultado final das safras, porque a água participa de processos metabólicos nos vegetais necessários para a sobrevivência (Mcqueen, 2000; Zipper; Qiu; Kucharik, 2016).

A água é o fator essencial envolvido diretamente e indiretamente nas etapas do metabolismo germinativo de uma semente, sendo que quando a semente entra em contato com a água ocorre a ativação e síntese de enzimas, solubilização e transporte de metabólitos (Bradford, 1995) fazendo com que ocorra um estímulo das substâncias de reserva para retomar o crescimento do embrião e resultar na formação da plântula.

A ocorrência de déficit hídrico no início do estabelecimento de plântulas de soja, leva a formação de plântulas com pequenas estaturas, desuniformidade na emergência e isso pode se refletir em perdas na produtividade, além de formar plantas com entrenós curtos (Ferrari *et al.*, 2015). Ainda, o déficit hídrico tem um impacto direto

na redução do crescimento da planta e da área foliar, o que consequentemente, afeta o rendimento dos grãos. Em situações extremas, a escassez de água pode levar à morte das plantas (Farias *et al.*, 2007).

Em plantas de soja sob déficit hídrico, ocorrem várias adaptações fisiológicas como o fechamento estomático, que reduz a assimilação líquida de CO_2 e, consequentemente, a fotossíntese (Farias *et al.*, 2007; Pereira, 2012). Essas mudanças incluem a redução do potencial hídrico foliar, a diminuição da parte aérea da planta, a aceleração da senescência e a abscisão das folhas. No nível fisiológico e metabólico, a soja se ajusta ao ambiente adverso como um mecanismo de defesa, promovendo alterações tanto no metabolismo quanto na morfologia da planta para tentar sobreviver às condições de estresse hídrico. Essas adaptações visam garantir a sobrevivência da planta, embora frequentemente resultem em um comprometimento significativo do seu potencial produtivo.

Nesse contexto em que a variabilidade climática está cada vez mais evidente e os eventos de seca são recorrentes, é relevante priorizar estudos voltados para a compreensão e mitigação dos efeitos do déficit hídrico sobre as plantas. Este fenômeno é particularmente prejudicial, pois compromete significativamente os períodos críticos de desenvolvimento das plantas (Sarmento *et al.*, 2019; Ullah *et al.*, 2018).

Uma resposta comum das plantas para os estresses abióticos é o acumulo de açúcares e outros solutos compatíveis que irão atuar como osmoprotetores, conferindo uma tolerância aos estresses abióticos em diversas espécies de plantas (Hare *et al.*, 1998; Iturriaga *et al.*, 2009).

Diante desse cenário desafiador, uma abordagem promissora para atenuar os impactos negativos da seca é a utilização de osmoprotetores. Estes compostos possuem a capacidade de induzir mecanismos de defesa nas plantas, conferindo-lhes maior tolerância aos estresses ambientais, incluindo o déficit hídrico (Muley *et al.*, 2019). Um exemplo dessa estratégia é observado na cultura do milho, onde o uso do açúcar trealose, têm sido aplicados com sucesso para aumentar a tolerância das plantas à escassez de água (Zhou *et al.*, 2014).

A trealose, um dissacarídeo não redutor composto por duas moléculas de glicose, é amplamente distribuída na natureza e reconhecida por seu papel fisiológico crucial na proteção contra o estresse abiótico em uma variedade de organismos, incluindo bactérias, leveduras e invertebrados (Wingler *et al.*, 2002; Elbein *et al.*,

2003). Esses autores demonstraram que a trealose desempenha uma função significativa na estabilização de enzimas, proteínas e membranas lipídicas, além de proteger estruturas biológicas contra danos durante a dessecação.

Desse modo, o objetivo do trabalho consiste em avaliar o efeito da trealose durante a germinação e estabelecimento inicial das plântulas de soja em condições simuladas (laboratório) e campo (casa de vegetação) de déficit hídrico, a partir do tratamento de sementes.

Para tanto, a pesquisa teve os seguintes objetivos específicos:

- Identificar a melhor concentração do osmoprotetor trealose em sementes tratadas;
- Estudar o efeito da trealose em sementes de soja tratadas com esse osmoprotetor;
- Avaliar o efeito da trealose na longevidade das sementes tratadas;
- Avaliar o efeito no estabelecimento de plantas originadas de sementes tratadas com trealose;
- Avaliar o efeito da interação entre trealose, inoculante e fungicida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou que a aplicação de trealose como osmoprotetor tem um efeito positivo sobre a germinação de sementes de soja sob condições de déficit hídrico. A análise dos resultados mostrou que as sementes tratadas com trealose apresentaram taxas de germinação significativamente maiores quando comparadas a testemunha, evidenciando o potencial deste composto na mitigação do estresse hídrico. No entanto, requer estudos futuros, como análises moleculares e bioquímicas a fim de compreender melhor seu efeito quando a semente é tratada com esse osmoprotetor.

Em termos práticos, os resultados obtidos sugerem que a utilização de trealose pode ser uma ferramenta viável para produtores enfrentando problemas de disponibilidade hídrica, especialmente em regiões sujeitas a períodos de seca. Sua adoção pode contribuir para maior resiliência das lavouras de soja, melhorando a produtividade em situações adversas.

REFERÊNCIAS

ABDUL JALEEL, C.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SANKAR, B.; GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. **Alterations in osmoregulations, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in Catharanthus roseus exposed to water deficit**. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, v. 59, p. 150-157, 2007.

ACOSTA-PERES, R. T.; PEREIRA, C. E.; CARVALHO, M. A. C.; OLIVEIRA, J. A.; ZUFFO, A. M. **Potassium phosphite action on growth promotion, ion uptake and nutrition efficiency of corn hybrids under tropical conditions**. Journal of Plant Nutrition, v. 43, n. 20, p. 3081-3092, 2020.

AHN, J. H.; PARK, K. W.; PARK, S. K. **Effects of seed priming on the germination and seedling growth of Chinese cabbage**. Horticulture, Environment, and Biotechnology, v. 52, n. 4, p. 430-434, 2011.

AKRAM, N. A.; NOREEN, S.; NOREEN, T.; ASHRAF, M. **Exogenous application of trehalose alters growth, physiology and nutrient composition in radish (Raphanus sativus L.) plants under water-deficit conditions**. Revista Brasileira de Botânica, v. 38, p. 431-439, 2015.

AKRAM, N. A.; NOREEN, S.; NOREEN, T.; ASHRAF, M. **Exogenous application of trehalose alters growth, physiology and nutrient composition in radish (*Raphanus sativus* L.) plants under water-deficit conditions**. Rev. Bras. Bot., v. 38, p. 431-439, 2015.

AKRAM, N. A.; WASEEM, M.; AMEEN, R.; et al. **O pré-tratamento com trealose induz tolerância à seca em plantas de rabanete (*Raphanus sativus* L.): algumas características fisio bioquímicas importantes**. Acta Physiol. Plant., v. 38, n. 3, 2016.

ALBRECHT, L. P.; et al. **Biorregulador na composição química e na produtividade de grãos de soja**. Revista Ciência Agronômica, v. 43, p. 774-782, 2012.

ALI, Q.; ASHRAF, M. **Induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) due to exogenous application of trehalose: Growth, Photosynthesis, Water Relations and Oxidative Defence Mechanism**. Journal of Agronomy and Crop Science, v. 197, p. 258-271, 2011.

ALMEIDA, A. M.; CARDOSO, L. A.; SANTOS, D. M.; TORNÉ, J. M.; FEVEREIRO, P. S. **Trehalose and its applications in plant biotechnology**. In Vitro Cellular & Development Biology, v. 43, p. 167-177, 2007.

ALMEIDA, A. M.; VILLALOBOS, E.; ARAÚJO, S. S.; LEYMAN, B.; VAN DIJCK, P.; ALFARO-CARDOSO, L.; FEVEREIRO, P. S.; TORNE, J. M.; SANTOS, D. M. **Transformation of tobacco with an Arabidopsis thaliana gene involved in trehalose biosynthesis increases tolerance to several abiotic stresses**. Euphytica, v. 146, p. 165-176, 2005.

ARAÚJO, S. S.; PAPARELLA, S.; DONDI, D.; BENTIVOGLIO, A.; CARBONERA, D.; BALESTRAZZI, A. **Physical methods for seed invigoration: Advantages and challenges in seed technology**. Frontiers in Plant Science, v. 6, p. 106, 2010.

ARAÚJO, S. S.; PAPARELLA, S.; DONDI, D.; BENTIVOGLIO, A.; CARBONERA, D.; BALESTRAZZI, A. **Physical methods for seed invigoration: Advantages and challenges in seed technology**. Frontiers in Plant Science, v. 10, p. 107, 2019.

ASAF, S.; LATIF KHAN, M. A.; KHAN, Q. M. A.; IMRAN, Q. M.; YUN, B. W.; LEE, I. J. **Osmoprotective functions conferred to soybean plants via inoculation with Sphingomonas sp. LK11 and exogenous trehalose**. Microbiological Research, v. 205, p. 135-145, 2017.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. **Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance**. Environmental and Experimental Botany, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.

ÁVILA, M. R.; et al. **Bioregulator application, agronomic efficiency, and quality of soybean seeds**. Scientia Agricola, v. 65, p. 604-612, 2008.

BAE, H. et al. **Exogenous trehalose alters Arabidopsis transcripts involved in cell wall modification, abiotic stress, nitrogen metabolism, and plant defense**. Physiologia Plantarum, v. 125, n. 1, p. 114-126, 2005.

BEWLEY, J. D. et al. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy.** 3. ed. New York: Springer, 2013. 408 p.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination**. Development, germination and growth. v. 1, Berlim: Springer Verlag, 1978. 306 p.

BORNHOFEN, E. et al. **Épocas de semeadura e desempenho qualitativo de sementes de soja**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 45, n. 1, 2015.

BRACCINI, A. L.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SEDIYAMA, T.; ROCHA, V. S. **Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1451-1459, 1998.

BRADFORD, K. J. **Water relations in seed germination**. In: KIGEL, J.; GALILI, J. Seed development and germination. New York: Marcel Dekker, 1995. 853 p.

BRAGA, L. F.; SOUSA, M. P.; BRAGA, J. F.; SÁ, M. E. **Efeito da disponibilidade hídrica do substrato na qualidade fisiológica de sementes de feijão**. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v. 21, n. 2, p. 95-102, 1999.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.

CASILLAS, V. J. C.; LONDONO, I. J.; GUERRERO, A. H.; BUITRAGO, G. L. **Análisis cuantitativo de la aplicacion de cuatro bioestimulantes em el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.).** Acta Agronômica, Colombia, v. 36, n. 2, p. 185-195, 1986.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 132 p.

CÉSAR, M. L.; SILVA, A. C.; LOPES, E. M. G.; FERREIRA, V. F. **Effects of biostimulants on the physiological quality of soybean seeds**. Journal of Seed Science, v. 40, n. 3, p. 278-285, 2018.

CHAVARRIA, G.; SANTOS, H. P. **Soybean seed vigor and field performance: A review**. Acta Agronômica, v. 61, n. 3, p. 299-308, 2012.

CHAVES FILHO, J. T.; SERAPHIN, E. S. **Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico**. Revista Brasileira de Botânica, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 199-204, jun. 2001.

COELHO, D. L. M.; AGOSTINI, E. A. T.; GUABERTO, L. M.; NETO, N. B. M.; CUSTÓDIO, C. C. **Estresse hídrico com diferentes osmóticos em sementes de feijão e expressão diferencial de proteínas durante a germinação**. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 32, n. 3, p. 491-499, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Brasília: CONAB, 2024.

CORTINA, C.; CULIANEZ-MACIA, F. A. **Tomato abiotic stress enhanced tolerance by trehalose biosynthesis**. Plant Science, v. 169, p. 75-82, 2005.

COSTA, P. R.; CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO NETO, N. B.; MARUBAVASHI, O. M. **Estresse hídrico induzido por manitol em sementes de soja de diferentes tamanhos**. Revista Brasileira de Sementes, v. 26, p. 105-113, 2004.

DABADIA, A. C. A. **Uso de bioestimulante na assimilação do nitrato e nos caracteres agronômicos em feijoeiro**. Cultura Agronômica, Ilha Solteira, v. 24, n. 4, p. 321-332, 2015.

DESCLAUX, D.; HUYNH, T. T.; ROUMET, P. **Identification of traits related to germination under adverse environmental conditions in lentil**. Seed Science Research, v. 10, n. 1, p. 127-136, 2000.

DESCLAUX, D.; ROUMET, P. **Impact of drought stress on the phenology of two soybean (*Glycine max* L. Merr.) cultivars**. Field Crops Research, v. 46, n. 1-3, p. 61-70, 1996.

DOSS, B. D.; ASHLEY, D. A.; BENNET, O. L. **Effect of soil moisture regime on root distribution of warm season forage species**. Agronomy Journal, v. 52, n. 10, p. 569-572, 1960.

DRENNAN, P. M.; SMITH, M. T.; GOLDSWORTHY, D.; VAN STADEN, J. **The occurrence of dehydrin-like proteins in seeds of Acer saccharinum during the loss of desiccation tolerance**. Journal of Plant Physiology, v. 142, n. 6, p. 696-700, 1993.

DUCATTI, K. R. **Vigor de sementes de soja: estudos fisiológicos e moleculares relacionados ao déficit hídrico**. 2018. 147 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

DUMAN, J. G.; WISNIEWSKI, M. J.; GRIFFITH, M.; KAO, M. H.; YOU, M. **The role of antifreeze proteins in the freezing tolerance of plants**. Annual Review of Plant Biology, v. 62, p. 403-437, 2011.

EL-BASHITI, T.; HAMAMCI, H.; ÖKTEM, H. A.; YÜCEL, M. **Biochemical analysis of trehalose and its metabolizing enzymes in wheat under abiotic stress conditions**. Plant Science, v. 169, p. 47-54, 2005.

ELBEIN, A. D. **The metabolism of α, α-trehalose**. Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry, v. 30, p. 227-256, 1974.

ELBEIN, A. D.; PAN, Y. T.; PASTUSZAK, I.; CARROLL, D. **New insights on trehalose: a multifunctional molecule**. Glycobiology, v. 13, p. 17r-27r, 2003.

EMBRAPA. **A soja no Brasil: produção, melhoramento genético, aspectos nutricionais e benefícios para a saúde**. EMBRAPA, 2021.

FARIAS, J. R. B. et al. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa CNPSO, 2007. 9 p. (Circular Técnica, n. 48).

FEOFILOVA, E. P.; USOV, A. I.; MYSYAKINA, I. S.; KOCHKINA, G. A. **Trehalose: chemical structure, biological functions**. Microbiology, v. 83, p. 184-194, 2014.

FERNANDEZ, O.; BÉTHENCOURT, L.; QUERO, A.; SANGWAN, R. S.; CLÉMENT, C. **Trehalose and plant stress responses: friend or foe?** Trends in Plant Science, v. 15, p. 409-417, 2010.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 323 p.

FILIPPOU, P. et al. **Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species Ailanthus altissima to drought and salinity**. Environmental and Experimental Botany, v. 97, p. 1-10, 2014.

FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. **Seed vigour and crop establishment: Extending performance beyond adaptation**. Journal of Experimental Botany, v. 67, n. 3, p. 567-591, 2016.

FIRMANO, R. S.; KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. **Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja**. Ciência Rural, v. 39, n. 7, p. 1967-1973, 2009.

FORD, C. W.; WILSON, J. R. **Changes in levels of solutes during osmotic adjustment to water stress in leaves of four tropical pasture species**. Australian Journal of Plant Physiology, v. 8, n. 1, p. 77-91, jan. 1981.

FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. **Qualidades fisiológica e sanitária de sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1984. 39 p. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 9).

GALINSKI, E. A. **Osmoadaptation in bacteria**. Advances in Microbial Physiology, v. 37, p. 272-328, 1995.

GARCIA, A. B. et al. **Effects of osmoprotectants upon NaCl stress in rice**. Plant Physiology, v. 115, n. 1, p. 159-169, 1997.

GARCIA, S. H.; ROZZETTO, D. S.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F. **Simulação de estresse hídrico em feijão pela diminuição do potencial osmótico**. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 11, n. 1, p. 35-41, 2012.

GARG, A. K. et al. **Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 99, p. 15898-15903, 2002.

GIBSON, L. R.; MULLEN, R. E. **Soybean seed quality reductions by high day and night temperature**. Crop Science, v. 36, n. 6, p. 1615-1619, 1996.

HARE, P. D.; CRESS, W. A.; VAN STADEN, J. **Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress.** Plant, Cell & Environment, v. 21, n. 6, p. 535-553, 1998.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Documentos Embrapa, n. 349, 2014.

HÖFS, A.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S. A. **Emergência e crescimento de plântulas de arroz em resposta à qualidade fisiológica de sementes**. Revista Brasileira de Sementes, v. 26, n. 1, p. 92-97, 2004.

HONG-BO, S.; CHU, L. Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. X. W**ater deficit stress-induced anatomical changes in higher plants**. Comptes Rendus Biologies, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008.

HU, M.; WIATRAK, P. **Effect of planting date on soybean growth, yield, and grain quality: review.** Agronomy Journal, v. 104, n. 3, p. 785-790, 2012.

IBRAHIM, H. A.; ABDELLATIF, Y. M. R. **Effect of maltose and trehalose on growth, yield and some biochemical components of wheat plant under water stress**. Annals of Agricultural Sciences, v. 61, p. 267-274, 2016.

ILHAN, S.; OZDEMIR, F.; BOR, M. **Contribution of trehalose biosynthetic pathway to drought stress tolerance of *Capparis ovata* Desf**. Plant Biology, v. 17, n. 2, p. 402–407, 2015.

ITURRIAGA, G. et al. **Trehalose metabolism: from osmoprotection to signaling.** International Journal of Molecular Sciences, v. 10, n. 9, p. 3793-3810, set. 2009.

JAIN, M. **Emerging role of metabolic pathways in abiotic stress tolerance**. Journal of Plant Biochemistry and Physiology, v. 1, n. 108, p. 10.4172, 2013.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara, 2012.

KLAHOLD, C. A. et al. **Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante**. Acta Scientiarum Agronomy, v. 28, p. 179-185, 2006.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. **Vigor de sementes e competição intraespecífica em soja**. Ciência Rural, v. 35, n. 6, p. 1248-1256, 2005.

KRAMER, P. J. **Water Relations of Plants and Soils**. New York: Academic Press, 1995. 495 p.

KRZYZANOWSKI, F. C. **Desafios tecnológicos para produção de semente de soja na região tropical brasileira**. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7.; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguaçu. Proceedings... Londrina: Embrapa Soybean, 2004. p. 1324-1335.

KURZ, M.; MONTERMANN, C.; GALINSKI, E. A. A ***Pseudomonas stutzeri* surprise: production of the compatible osmolyte hydroxyectoine**. In: Abstracts PT015. Annual Conference of the Association for General and Applied Microbiology, p. 195, VAAM, Osnabrück, Germany, 2008.

LANA, A. M. Q. et al. **Aplicação de reguladores de crescimento na cultura do feijoeiro**. Bioscience Journal, v. 25, n. 1, p. 13-20, 2009.

LANG, F. **Mechanisms and significance of cell volume regulation**. Journal of the American College of Nutrition, v. 26, n. sup5, p. 613S-623S, 2007.

LAWLES, K. et al. **Effect of delayed emergence on corn grain yields**. Journal of Plant Nutrition, v. 35, n. 3, p. 480-496, 2012.

LEVITT, J. **Response of Plants to Environmental Stress II: Water Relations, Salt and Other Stresses**. New York: Academic Press, 1980. 606 p.

LIGTERINK, W.; JOOSEN, R. V. L.; HILHORST, H. W. M. **Unravelling the complex trait of seed quality: using natural variation through a combination of physiology, genetics and -omics technologies**. Seed Science Research, v. 22, n. SUPPL. 1, 2012.

LIU, L. et al. **Comparison of next-generation sequencing systems**. BioMed Research International, v. 2012, 2012.

LIU, M.; CHIEN, C.; LIN, T. **Constitutive components and induced gene expression are involved in the desiccation tolerance of *Selaginella tamariscina***. Plant and Cell Physiology, v. 49, n. 4, p. 653-663, 2008.

LÓPEZ, M. et al. **Trehalose and trehalase in root nodules of Medicago truncatula and *Phaseolus vulgaris* in response to salt stress**. Physiologia Plantarum, v. 134, n. 4, p. 575-582, 2008.

LUNN, J. E. et al. **Trehalose metabolism in plants**. The Plant Journal, v. 79, p. 544-567, 2014.

LUO, Y. et al. **Exogenously-supplied trehalose provides better protection for D1 protein in winter wheat under heat stress**. Russian Journal of Plant Physiology, v. 65, p. 115-122, 2018.

MACHADO NETO, N. B. et al. **Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão**. Revista Brasileira de Sementes, v. 28, p. 142-148, 2006.

MACHADO NETO, N. B. et al. **Water stress induced by mannitol and sodium chloride in soybean cultivars**. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 47, p. 521-529, 2004.

MACHADO, R. F. **Desempenho de aveia-branca (*Avena sativa* L.) em função do vigor de sementes e população de plantas**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.

MAGUIRE, J. A. **Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor**. Crop Science, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. M. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. F**isiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2005. 451 p.

MARIANI, L.; FERRANTE, A**. Agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses: drought, salinity, hypoxia, and lodging**. Horticulturae, v. 52, 2017.

MATHEWS, S.; POWELL, A. A. **Environmental and physiological constraints on field performance of seeds**. HortScience, v. 21, n. 5, p. 1125-1128, 1986.

MCQUEEN, R. E. **World population growth, distribution and demographics and their implications on food production**. Canadian Journal of Animal Science, v. 80, n. 2, p. 229-234, 2000.

MERTZ-HENNING, L. M. et al. **Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains**. Agronomy, v. 8, n. 1, p. 3, 2018.

MEYER, R. F.; BOYER, J. S. **Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials**. Planta, v. 151, n. 5, p. 482-489, maio 1981.

MIKUSINSKI, O. M. **Testes de embebição e germinação em sementes de *Ipomoea aristolochiaefolia***. Revista Brasileira de Sementes, v. 9, n. 3, p. 103-108, 1987.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Soja: do plantio à colheita**. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso, 2002.

MORGAN, J. M. **Osmoregulation and water stress in higher plants**. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, v. 35, p. 299-319, jun. 1984.

MOTERLE, L. M. et al. **Efeito da aplicação de biorregulador no desempenho agronômico e produtividade da soja**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 30, p. 701-709, 2008.

MOTERLE, L. M.; SCAPIM, C. A. **Influência do estresse hídrico sobre o desempenho fisiológico de sementes de híbridos simples de milho-pipoca**. Ciência e Agrotecnologia, v. 32, p. 1810-1817, 2008.

MOUSAVI-DERAZMAHALLEH, M. et al. **Adapting legume crops to climate change using genomic approaches.** Plant Cell Environment Journal, v. 42, p. 6-19, 2019.

MULEY, A. B. et al. **Gamma radiation degradation of chitosan for application in growth promotion and induction of stress tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.).** Carbohydrate Polymers, v. 210, p. 289–301, 2019.

MULLER, J.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. **Pools of non-structural carbohydrates in soybean root nodules during water stress**. Physiologia Plantarum, v. 98, p. 723–730, 1996.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Cold and Warm Episodes by Season**. National Weather Service. Climate Prediction Center. 2016.

NÓBREGA, L. H. P. et al. **Deficiência na germinação de sementes de soja**. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v. 20, n. 1, p. 126-13, jan./abr. 1998.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. **International Rules for Seed Testing**. Zürich: ISTA, 2015.

OECD/FAO, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, OECD-FAO Agricultural Outlook, OECD Publishing, Paris, 2015.

PALTA, J. A. et al. **Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits**. Crop Science, Madison, v. 34, n. 1, p. 118-124, jan./fev. 1994.

PARIDA, A. K. et al. **Differential responses of the enzymes involved in proline biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery**. Acta Physiologiae Plantarum, v. 30, n. 5, p. 619-627, 2008.

PARMAR, M. T.; MOORE, R. P. **Carbavax 6000, mannitol and sodium chloride for simulating drought conditions in germination of corn (*Zea mays* L.) of strong and weak vigor**. Agronomy Journal, v. 60, n. 30, p. 192-195, 1968.

PAUL, M. J. et al. **Differential Role for Trehalose Metabolism in Salt-Stressed Maize**. Plant Physiology, v. 169, p. 1072–1089, 2015.

PBMC. **Contribuição do Grupo ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo do GT2. Rio de Janeiro, Brasil: PBMC, 2013. 28 p.

PEREIRA, J. W. L. et al. **Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado.** Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.

PIMENTEL, C. **Relações hídrica em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2021-2027, nov. 1998.

POLTRONIERI, P. et al. **Molecular mechanisms in plant abiotic stress response**. Ratar. Povrt. / Field Veg. Crop Res., v. 48, p. 15-24, 2011.

QUIÑONES, B.; DULLA, G.; LINDOW, S. E. **Quorum sensing regulates exopoly saccharide production, motility, and virulence in Pseudomonas syringae**. Molecular Plant-Microbe Interactions, v. 18, p. 682–693, 2005.

REGUERA, M.; PELEG, Z.; BLUMWALD, E. **Targeting metabolic pathways for genetic engineering abiotic stress-tolerance in crops.** Biochimica et Biophysica Acta (BBA) Gene Regulatory Mechanisms, v. 1819, n. 2, p. 186-194, 2012.

RODRIGUES, L. A. et al**. Avaliação fisiológica de sementes de arroz submetidas a doses de bioestimulante.** Revista Nucleus, Ituverava, v. 12, n. 1, 2015.

ROSER, B. **Trehalose, a new approach to premium dried foods**. Trends in Food Science & Technology, v. 2, p. 166–169, 1991.

SÁ, M. E. **Relações entre qualidade fisiológica e disponibilidade hídrica e desempenho de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 1987. 147 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

SANTOS, M. P. de A. **Déficit hídrico em soja com tipo de crescimento semideterminado para a região do MATOPIBA**. 2018. 77 f. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2018.

SARMENTO, E. C. S. et al. **Water deficit on germination and vigour in seeds of the jambu**. Bioscience Journal, v. 35, n. 4, p. 1013–1021, 2019.

SATOH-NAGASAWA, N. et al. **A trehalose metabolic enzyme controls inflorescence architecture in maize**. Nature, v. 441, n. 7090, p. 227–230, 2006.

SCHEEREN, B. **Vigor de sementes de soja e produtividade**. 2002. 45 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.

SCHUCH, L. O. B. et al. **Crescimento em laboratório de plântulas de aveia-preta (*Avena strigosa Schreb*.) em função do vigor das sementes**. Revista Brasileira de Sementes, v. 21, n. 1, p. 229-234, 1999.

SCHUCH, L. O. B.; LIN, S. S. **Efeito do envelhecimento rápido sobre o desempenho de sementes e plantas de trigo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 17, n. 8, p. 1163-1170, 1982.

SHAHBAZ, M. et al. **Does proline application ameliorate adverse effects of salt stress on growth, ions and photosynthetic ability of eggplant (*Solanum melongena* L.)?.** Scientia Horticulturae, v. 164, p. 507-511, 2013.

SHEFFIELD, J.; WOOD, E. F.; RODERICK, M. L. **Little change in global drought over the past 60 years**. Nature, v. 491, n. 7424, p. 435–438, 2012.

SILVA, R. R. **Relação entre precipitação pluviométrica da cultura de soja no município de Ibirubá – RS**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SOARES, M. M. et al. **Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 370-378, 2015.

SOUZA, T. M. A. de et al. **Cowpea growth and production under different levels of available water and soil cover**. International Journal of Current Research, v. 8, p. 39122-39126, 2016.

STEINER, F. et al. **Resposta fisiológica de genótipos de soja ao déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 53, n. 6, p. 793-802, jun. 2018.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. **Efeito do estresse hídrico na produção de matéria seca de arroz em duas épocas de semeadura**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 25, n. 3, p. 471-481, mar. 1990.TAIZ, L.; ZEIGER, E. F. Fisiologia vegetal. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. F. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TANG, B. et al. **Invertebrate trehalose-6-phosphate synthase gene: genetic architecture, biochemistry, physiological function, and potential applications**. Frontiers in physiology, v. 9, p. 30, 2018.

TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. **Relationship of seed vigor to crop yield: A review**. Crop Science, v. 31, p. 816-822, 1991.

TIWARI, J. K. et al. **Effect of salt stress on cucumber: Na+–K+ ratio, osmolyte concentration, phenols and chlorophyll content**. Acta Physiologiae Plantarum, v. 32, n. 1, p. 103-114, 2010.

TURNER, N. C. **Adaptation to water deficits: A changing perspective.** Australian Journal of Plant Physiology, Melbourne, v. 13, n. 1, p. 175-190, jan. 1986.

TURNER, N. C. **Further progress in crop water relations**. In: SPARKS, D. L. (Ed.). Advances in agronomy. New York: Academic Press, 1997. p. 293-337.

ULLAH, H. et al. **Growth, yield and silicon uptake of rice (Oryza sativa) as influenced by dose and timing of silicon application under water-deficit stress**. Archives of agronomy and soil science, v. 64, n. 3, p. 318–330, 2018.

VAN DIE, J.; VILLAS-BOAS, S.; GARCIA, J. L. **Rhizosphere bacteria and fungi associated with soybean under different soil management practices**. Brazilian Journal of Microbiology, v. 45, n. 3, p. 787-794, 2014.

VANZOLINI, S.; CARVALHO, N. M. **Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo.** Revista Brasileira de Sementes, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2002.

WANG, S.; OUYANG, K.; WANG, K. **Genome-Wide Identification, Evolution, and Expression Analysis of TPS and TPP Gene Families in *Brachypodium distachyon***. Plants, v. 8, n. 10, p. 362, 2019.

WINGLER, A. **The function of trehalose biosynthesis in plants**. Phytochemistry, v. 60, n. 5, p. 437-440, 2002.

YEO, E. T. et al. **Genetic engineering of drought resistant potato plants by introduction of the trehalose-6 phosphate synthase (TPS1) gene from *Saccharomyces cerevisiae***. Molecules and Cells, v. 10, p. 263–268, 2000.

ZEID, I. M. **Trehalose as osmoprotectant for maize under salinity-induced stress**. Res. J. Agric. Biol. Sci. 5, p. 613–622, 2009.

ZHANG, J.; LIU, J.; YANG, C.; DU, S.; YANG, W. **Photosynthetic performance of soybean plants to water deficit under high and low light intensity**. South African Journal of Botany, v. 105, p. 279-287, 2016.

ZHAO, D. Q. et al. **Exogenous trehalose confers high temperature stress tolerance to herbaceous peony by enhancing antioxidant systems, activating photosynthesis, and protecting cell structure**. Cell Stress Chaperones, v. 24, p. 247–257, 2019.

ZHOU, M. L. et al. **Trehalose Metabolism-Related Genes in Maize**. J. Plant Growth Regul., v. 33, p. 256–271, 2014.