

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 29/10/2022.

**DAYANE MÉRCIA RIBEIRO SILVA**

**CÁRTAMO, ADUBAÇÃO POTÁSSICA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**Botucatu**

**2020**



**DAYANE MÉRCIA RIBEIRO SILVA**

**CÁRTAMO, ADUBAÇÃO POTÁSSICA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

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

Orientador: Professor Doutor Marcelo de Almeida Silva

**Botucatu**

**2020**

S586c Silva, Dayane Mércia Ribeiro  
Cártamo, adubação potássica e deficiência hídrica / Dayane Mércia Ribeiro Silva. -- Botucatu, 2020  
120 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu  
Orientador: Marcelo de Almeida Silva

1. Carthamus tinctorius L.. 2. Cloreto de potássio. 3. Relações hídricas. 4. Estresse oxidativo. 5. Produtividade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: CÁRTAMO, ADUBAÇÃO POTÁSSICA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA


**AUTORA: DAYANE MÉRCIA RIBEIRO SILVA**

**ORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA  
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

  
Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO  
Ciência Florestal, Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

  
Prof.ª Dr.ª CARMEN SILVIA FERNANDES BOARO  
Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP

  
Prof. Dr. FERNANDO BROETTO  
Departamento de Química e Bioquímica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP

  
Prof. Dr. REGINALDO FERREIRA SANTOS  
Núcleo de Inovação do Oeste do Paraná / Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Botucatu, 29 de outubro de 2020



*Aos meus pais, Josete e Antônio, que são meus maiores incentivadores e minha fonte de inspiração.*

**DEDICO**



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida, dando força para enfrentar as adversidades da vida.

A minha família: meus pais Josete, Antônio, irmãos Vânia, Maria, Daniele e Daniel, sobrinho Lázaro, cunhados Elionaldo e Elizângela, por todo amor e apoio incondicional em tudo que me proponho a realizar.

Ao meu orientador querido Dr. Marcelo de Almeida Silva pela paciência, atenção, confiança e incentivo na execução deste trabalho.

Ao professor Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol por ter cedido o ambiente protegido pra realização da pesquisa e por toda transmissão de conhecimento durante o doutorado.

À Isabelly Marques e Vitor Melo pela companhia diária, disponibilidade de ajuda em todo processo de doutorado e, principalmente, pela preocupação com meu bem-estar durante a escrita da tese em tempos de pandemia.

Aos meus amigos da pós-graduação Vinícius, Mariana, Fernanda, Brenno, Laís, Anna, Vanessa, Gabriel, Jeison, Deoclécio, Mara, Vicente, e em especial à Jania, por toda ajuda desde a condução do experimento até a escrita final da pesquisa, além de momentos de amizade e descontração.

Aos demais amigos Ana Nathaly, Renato, Thayse, Dayane Tenório e Fernandes pelo apoio moral nos momentos de insegurança.

À equipe do Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA) pela ajuda na condução da pesquisa e companheirismo.

Ao Gilberto Winckler, funcionário do Departamento de Irrigação e Drenagem, pelo empréstimo dos tensiômetros utilizados na pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal, Casimiro Edson Alves e Ciro Venâncio de Oliveira, pelo suporte técnico durante a execução do experimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

E a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.



## RESUMO

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma planta oleaginosa que vem ganhando destaque na agricultura devido ao seu potencial produtivo de óleo, utilização na indústria alimentícia, mercado ornamental, além de indicar certa adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas, como baixa disponibilidade hídrica e salinidade. Como os fatores abióticos não podem ser controlados é necessário que práticas agrícolas sejam adotadas para mitigar o efeito da deficiência hídrica sobre as culturas. Neste sentido, a suplementação potássica pode ser uma alternativa, uma vez que o potássio apresenta função reguladora em vários processos fisiológicos, como fotossíntese e relações hídricas. Partindo-se do pressuposto que o potássio pode atuar na mitigação dos danos provocados pela deficiência hídrica, a presente pesquisa foi realizada com o objetivo de obter as respostas do cártamo à adubação potássica em diferentes regimes hídricos. A pesquisa foi realizada em duas etapas em ambiente protegido. A etapa I foi instalada para definição das doses de cloreto de potássio (KCl) quanto à eficiência da adubação sobre a morfo-fisiologia e nutrição do cártamo em delineamento inteiramente casualizado (DIC) constituído por quatro doses de KCl (0, 80, 160 e 240 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro repetições. Por meio desses resultados, foram selecionadas as doses 0, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de KCl para a etapa II, nos quais, as variáveis morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e de produção foram avaliados sob três disponibilidades hídricas (sem deficiência -10 kPa, deficiência moderada -50 kPa e deficiência severa: -70 kPa), em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com quatro repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, regressão polinomial (etapa I) e teste Tukey (etapa II), utilizando o programa estatístico SISVAR. Na etapa I observou-se que a adubação potássica favoreceu o crescimento das plantas, bem como interferiu positivamente na sua fisiologia e na concentração de K e N nas folhas, entretanto, a dose 240 kg ha<sup>-1</sup> de KCl proporcionou menor acúmulo de Ca e Mg nas folhas e menor fotossíntese. A morfologia, trocas gasosas e nutrição do cártamo foram otimizadas nas plantas fertilizadas com potássio em relação à dose 0 kg ha<sup>-1</sup> até o ponto de máxima, o qual variou de 107 a 167 kg ha<sup>-1</sup> de KCl em função da variável-resposta, com posterior declínio. Portanto, a dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> de KCl pode ser recomendada para o cultivo de cártamo em solos com baixo nível de K. Na etapa II

verificou-se que sob deficiência hídrica a fisiologia, bioquímica, nutrição e produtividade de cártamo foram influenciados positivamente pelas doses de KCl, principalmente pela dose 160 kg ha<sup>-1</sup>, a qual não apenas diminuiu a magnitude do declínio da atividade fotossintética em plantas estressadas pela seca, como também favoreceu a recuperação após a reidratação. Entretanto, a deficiência hídrica severa afetou negativamente o cártamo. Portanto, a adubação potássica adequada aprimorou o potencial do cártamo para manter a funcionalidade fisiológica, bioquímica e produtiva em condições de seca moderada e se recuperar após a reidratação.

**Palavras-chave:** *Carthamus tinctorius* L.. Cloreto de potássio. Relações hídricas. Estresse oxidativo. Nutrição. Produtividade.

## ABSTRACT

Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an oleaginous plant that has been gaining prominence in agriculture due to its oil production potential, use in the food industry, ornamental market, in addition to indicating certain adaptability to various edaphoclimatic conditions, such as low water availability and salinity. As abiotic factors cannot be controlled, agricultural practices must be adopted to mitigate the effect of water deficiency on crops. In this sense, potassium supplementation may be an alternative, since potassium has a regulatory function in several physiological processes, such as photosynthesis and water relations. Based on the assumption that potassium can act to mitigate the damage caused by water deficiency, the present research was carried out with the objective of obtaining safflower's responses to potassium fertilization in different water regimes. The research was carried out in two stages in a protected environment. Step I was installed to define the doses of potassium chloride (KCl) regarding the efficiency of fertilization on the morpho-physiology and nutrition of safflower in a completely randomized design (CRD) consisting of four doses of KCl (0, 80, 160 and 240 kg ha<sup>-1</sup>) and four repetitions. Through these results, doses 0, 80 and 160 kg ha<sup>-1</sup> of KCl were selected for stage II, in which the morphological, physiological, biochemical and production variables were evaluated under three water availability (without deficiency -10 kPa, moderate deficiency -50 kPa and severe deficiency: -70 kPa), in a completely randomized design in a factorial scheme, with four replications. The data obtained were submitted to analysis of variance, polynomial regression (step I) and Tukey test (step II), using the SISVAR statistical program. In step I it was observed that the potassium fertilization favored the growth of the plants, as well as positively interfered in its physiology and in the concentration of K and N in the leaves, however, the dose 240 kg ha<sup>-1</sup> of KCl provided less accumulation of Ca and Mg in the leaves and lesser photosynthesis. Safflower morphology, gas exchange and nutrition were optimized in plants fertilized with potassium in relation to the 0 kg ha<sup>-1</sup> dose up to the maximum point, which varied from 107 to 167 kg ha<sup>-1</sup> of KCl as a function of the response variable, with subsequent decline. Therefore, the dose of 160 kg ha<sup>-1</sup> of KCl can be recommended for the cultivation of safflower in soils with a low level of K. In step II it was verified that under water deficiency the physiology, biochemistry, nutrition and productivity of safflower were influenced positively by KCl doses, mainly by the 160

kg ha<sup>-1</sup> dose, which not only reduced the magnitude of the decline in photosynthetic activity in plants stressed by drought, but also favored recovery after rehydration. However, severe water deficiency has negatively affected safflower. Therefore, adequate potassium fertilization improved the potential of safflower to maintain physiological, biochemical and productive functionality in conditions of moderate drought and to recover after rehydration.

**Keywords:** *Carthamus tinctorius* L.. Potassium chloride. Water relations. Oxidative stress. Nutrition. Productivity.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 1 - RESPOSTAS MORFO-FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DO CÁRTAMO EM FUNÇÃO DE DOSES DE POTÁSSIO.....</b>	<b>18</b>
1.1	Introdução..... 19
1.2	Material e Métodos..... 21
1.2.1	Instalação do experimento..... 21
1.2.2	Variáveis analisadas..... 24
1.2.2.1	Variáveis morfológicas..... 24
1.2.2.2	Variáveis fisiológicas..... 24
1.2.2.3	Teor de nutrientes nas folhas..... 24
1.2.2.4	Teor de nutrientes nos grãos..... 25
1.2.3	Análise estatística..... 25
1.3	Resultados..... 25
1.3.1	Variáveis morfológicas..... 25
1.3.2	Variáveis fisiológicas..... 27
1.3.3	Variáveis nutricionais..... 28
1.4	Discussão..... 30
1.5	Conclusão..... 34
	REFERÊNCIAS..... 36
<b>CAPÍTULO 2 - MECANISMOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DA TOLERÂNCIA À SECA EM CÁRTAMO SÃO MODULADOS POR DOSES DE POTÁSSIO.....</b>	<b>40</b>
2.1	Introdução..... 41
2.2	Material e Métodos..... 44
2.2.1	Descrição da área experimental e instalação da cultura..... 44
2.2.2	Manejo da cultura e descrição dos tratamentos..... 45
2.2.3	Variáveis analisadas..... 47
2.2.3.1	Análises fisiológicas..... 47
2.2.3.1.1	Pigmentos cloroplásticos..... 47
2.2.3.1.2	Potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ )..... 47
2.2.3.1.3	Teor relativo de água na folha (TRA)..... 47
2.2.3.1.4	Extravasamento de eletrólitos (EE)..... 48
2.2.3.1.5	Parâmetros de trocas gasosas..... 49
2.2.3.1.6	Fluorescência da clorofila <i>a</i> ..... 49
2.2.3.2	Análises bioquímicas..... 49
2.2.3.2.1	Determinação da peroxidação lipídica (PL)..... 50
2.2.3.2.2	Determinação de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ )..... 50
2.2.3.2.3	Determinação das enzimas do estresse oxidativo..... 50
2.2.3.2.3.1	Determinação da superóxido dismutase (SOD)..... 51
2.2.3.2.3.2	Determinação da catalase (CAT)..... 51
2.2.3.2.3.3	Determinação da ascorbato peroxidase (APX)..... 51
2.2.3.2.3.4	Determinação da peroxidase (POD)..... 52
2.2.3.2.4	Determinação da prolina (Pro)..... 52
2.2.4	Análise estatística..... 53
2.3	Resultados..... 53

2.3.1	Variáveis fisiológicas.....	53
2.3.2	Variáveis bioquímicas.....	62
2.4	Discussão.....	65
2.5	Conclusão.....	73
	REFERÊNCIAS.....	75
	<b>CAPÍTULO 3 - EFEITOS DO POTÁSSIO NA MORFOLOGIA NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE <i>Carthamus tinctorius</i> L. SOE DEFICIÊNCIA HÍDRICA E REIDRATAÇÃO.....</b>	<b>85</b>
3.1	Introdução.....	87
3.2	Material e Métodos.....	88
3.2.1	Descrição da área experimental e instalação da cultura.....	88
3.2.2	Manejo da cultura e descrição dos tratamentos.....	90
3.2.3	Variáveis analisadas.....	91
3.2.3.1	Variáveis morfológicas.....	91
3.2.3.2	Componentes de produção.....	92
3.2.3.3	Teor de nutrientes nas folhas.....	92
3.2.3.4	Teor de nutrientes nos grãos.....	93
3.2.4	Análise estatística.....	93
3.3	Resultados.....	93
3.3.1	Morfologia das plantas.....	93
3.3.2	Teor de nutrientes nas folhas.....	97
3.3.3	Teor de nutrientes nos grãos.....	99
3.3.4	Componentes de Produção.....	101
3.4	Discussão.....	103
3.5	Conclusão.....	108
	REFERÊNCIAS.....	109
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>115</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>117</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma planta oleaginosa, membro da família Asteraceae, cultivada em vários países do mundo e possui características favoráveis para cultivo nas regiões Sudeste e Nordeste do território brasileiro, devido à sua adaptabilidade às condições adversas, como à seca e salinidade, podendo ser um plantio alternativo na entressafra brasileira (ANICÉSIO et al., 2018; BIDGOLY et al., 2018; BORTOLHEIRO; SILVA, 2017; WANG et al., 2011).

Esta oleaginosa se destaca entre as outras devido ao elevado teor de óleo (35 a 45%), com 70% de ácido linoleico e 30% de ácido oleico (BEYYAVAS et al., 2011). O cártamo é utilizado para produção de óleo industrial e comestível, corantes e aromatizantes de alimentos, produtos farmacêuticos, alimentação de aves e biocombustíveis, entretanto, muitos estudos mostraram que o estresse causado pela seca causou redução considerável no rendimento de grãos de cártamo (JANMOHAMMADI et al., 2017; SHAHROKHNIA; SEPASKHAH, 2017; SINGH et al., 2016).

A deficiência hídrica reduz significativamente a qualidade e quantidade da produção agrícola e é o fator de estresse mais devastador que afeta o crescimento e rendimento de várias culturas (BAHRAMI-RAD; HAJIBOLAND, 2017; TARDIEU et al., 2014). Uma das primeiras respostas à deficiência hídrica é o fechamento estomático que deprime, por sua vez, a fotossíntese e a capacidade das plantas para produção de matéria seca (FLEXAS, 2016; LIM et al., 2015).

A perda de água pode diminuir o potencial hídrico da folha que causa redução no turgor celular, condutância estomática, fotossíntese e, conseqüentemente, menor rendimento de grãos (AMINI et al., 2014; PRADO; MOUREL, 2013). Nesse sentido, o teor relativo de água é considerado como um importante índice fisiológico que se refere ao grau de hidratação dos tecidos e células e tem sido usado como uma ferramenta de triagem adequada do estado da água no vegetal que revela a intensidade do estresse (HASSANZADEH et al., 2009).

O efeito mais comum da deficiência hídrica em muitas espécies de plantas é a produção excessiva das espécies reativas de oxigênio (ERO), que caso não sejam desativadas, aumentam a peroxidação lipídica celular e a permeabilidade da membrana, resultando em estresse oxidativo nas plantas (KHOSROWSHAHI et al., 2018; LI et al., 2014; LI et al., 2015; PEREIRA et al., 2018). Desse modo, para conter

os efeitos deletérios das ERO, as plantas utilizam diferentes mecanismos simultaneamente através do sistema antioxidante enzimático e não-enzimático para manter o aparato fotossintético ativo mesmo durante condições de estresse hídrico (OLIVER et al., 2020). O mecanismo de defesa antioxidante enzimático é composto por diversas enzimas, como a SOD, CAT e POD que catalisam a dismutação de ERO, e a APX que regenera antioxidantes solúveis (BARBOSA et al., 2014; CHEN et al., 2016; KUMAR et al., 2018). Já entre os antioxidantes não enzimáticos, destacam-se os carotenoides e a prolina (SAJEDI et al., 2012; SHEIKH-MOHAMMADI et al., 2017).

Os carotenoides têm um papel importante na prevenção de danos oxidativos, pois estão envolvidos na sinalização do estresse durante o desenvolvimento da planta, atuando na absorção e transferência de energia luminosa para os centros de reação e na dissipação de energia excedente (MIRJAHANMARDI; EHSANZADEH, 2016; OSORIO et al., 2013). A prolina desempenha importante papel no ajuste osmótico e atua como um eliminador de radicais livres, mantendo a turgidez celular e possibilitando que os estômatos mantenham-se parcialmente abertos, fazendo com que a fotossíntese continue em condições de deficiência hídrica (WOODROW et al., 2017; MERWAD et al., 2018).

Uma alternativa para mitigar os efeitos da deficiência hídrica é através da nutrição potássica, pois o potássio ( $K^+$ ) é o cátion mais abundante nas plantas, e em termos quantitativos é o mais importante para a produção, depois do nitrogênio, o nutriente mais requerido pelas plantas. Além disso, o K está envolvido em vários processos cruciais para a sobrevivência vegetal, como crescimento e desenvolvimento, fisiologia, bioquímica e produção (ABBADI et al., 2019; MARSCHNER, 2012; SURYAPANI et al., 2014; TAIZ; ZEIGER, 2017; ZÖRB, SENBAYRAM; PEITER, 2014).

O K é essencial no controle da homeostase de íons, osmorregulação, metabolismo de proteínas, atividade enzimática, polarização da membrana, fotossíntese e crescimento das plantas, além de reduzir a formação de ERO através do fortalecimento do sistema antioxidante e manutenção do transporte de elétrons fotossintéticos da planta por meio da redução da ação da NADPH oxidase, levando a redução nos danos da membrana celular sob seca (ABBADI et al., 2019; AHANGER et al., 2017; AHANGER; AGARWAL, 2017; ANSCHÜTZ; BECKER; SHABALA, 2014; HASANUZZAMAN et al., 2018; MARSCHNER, 2012).

A turgidez celular e estabilização do pH nas zonas de diferenciação é influenciado pelo K, promovendo o crescimento e desenvolvimento das plantas, além disso, favorece a assimilação de CO<sub>2</sub> porque está envolvido na ativação da função carboxilase da enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase oxigenase (RUBISCO) (CAKMAK, 2005; HASANUZZAMAN et al., 2018; MARSCHNER, 2012; TANG et al., 2015).

Apesar da importância da nutrição potássica relatada anteriormente, pesquisas relacionadas ao cártamo em diferentes regimes hídricos, especialmente no Brasil, ainda são incipientes e alguns questionamentos são levantados. Até quanto de K o cártamo responde satisfatoriamente? A cultura do cártamo responde de forma satisfatória à aplicação de K em diferentes disponibilidades hídricas? Em condições de deficiência hídrica, o K mitiga os efeitos deletérios no cártamo? Qual a intensidade do estresse que o K pode mitigar o efeito da seca?

Partindo-se do pressuposto que a nutrição potássica favorece o metabolismo vegetal e mitiga os efeitos da deficiência hídrica no cártamo e a fim de responder aos questionamentos levantados acima, a presente pesquisa foi realizada com os objetivos de obter a dose adequada de KCl para o cártamo, e as respostas morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, nutricionais e de produção desta cultura em função da dose de KCl e do regime hídrico.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do cártamo foi influenciada positivamente pela suplementação potássica, pois a morfologia, as trocas gasosas e o estado nutricional das plantas na fase de florescimento foram otimizados em relação às que não foram fertilizadas, porém, o aumento das doses de KCl reduziu o acúmulo de Ca e Mg nas folhas do cártamo e a dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de KCl limitou o desenvolvimento da cultura.

Em condições de deficiência hídrica, plantas de cártamo apresentaram inibição nos processos de componentes fotossintéticos, bioquímicos e produtivos, porém a resposta à duração do estresse e ao período de recuperação foi dependente da suplementação potássica. O declínio dos processos fisiológicos foi devido a danos celulares causados pelo menor potencial hídrico foliar. A dose referente a 160 kg ha<sup>-1</sup> de KCl aplicada no solo melhorou a fotossíntese por manutenção do estado hídrico das folhas e aumento da defesa antioxidante em plantas estressadas pela seca. Da mesma forma, menor peroxidação lipídica, maior atividade de enzimas antioxidantes, maior acúmulo de prolina e maior produção foi observado com aplicação de 160 kg ha<sup>-1</sup> de KCl sob deficiência hídrica moderada. No entanto, a deficiência hídrica severa provocou maiores danos ao cártamo, mesmo sob adubação potássica.

Portanto, a aplicação de potássio não apenas diminuiu a magnitude do declínio da atividade fotossintética em plantas estressadas pela seca, como também a recuperação facilitada após a reidratação, pois a adubação potássica aprimorou o potencial da planta de cártamo para manter a funcionalidade em condições de seca e se recuperar após a reidratação, desse modo, produtores de cártamo em regiões sujeitas à deficiência hídrica podem obter maiores produções sob aplicação de 160 kg ha<sup>-1</sup> de KCl, porém ainda são escassas pesquisas que analisem o efeito de doses de K e regimes hídricos no cártamo, assim esta pesquisa norteia para novas investigações em diferentes genótipos de cártamo relacionadas ao efeito de doses de potássio em diferentes disponibilidades hídricas.



## REFERÊNCIAS

- ABBADI, J.; DITTERT, K.; STEINGROBE, B.; CLAASEN, N. Mechanisms of potassium uptake efficiency and dynamics in the rhizosphere of safflower and sunflower in different soils. **Journal of Plant Nutrition**, v.42, p.2459-2483, 2019.
- AHANGER, M.A.; AGARWAL, R.M. Potassium improves antioxidant metabolism and alleviates growth inhibition under water and osmotic stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Protoplasma**, v.254, p.1471–1486, 2017.
- AHANGER, M.A.; TOMAR, N.S.; TITTAL, M.; ARGAL, S.; AGARWAL, R.M. Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. **Physiology Molecular Biology of Plants**, v.23, p.731-744, 2017.
- ANICÉSIO, E.C.A.; BONFIM-SILVA, E.M.; SILVA, T.J.A.; PACHECO, A.B. Nitrogen and potassium in safflower: chlorophyll index, biometric characteristics and water use efficiency. **Revista Caatinga**, v.31, p.424-433, 2018.
- ANSCHÜTZ, U.; BECKER, D.; SHABALA, S. Going beyond nutrition: Regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. **Journal of Plant Physiology**, v.171:670–87, 2014.
- BAHRAMI-RAD, S.; HAJIBOLAND, R. Effect of potassium application in drought-stressed tobacco (*Nicotiana rustica* L.) plants: comparison of root with foliar application. **Annals of Agricultural Sciences**, v.62, p.121-130, 2017.
- BARBOSA, M.R.; SILVA, M.M.A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T.R. Geração e desintoxicação de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v.44, p.453-460, 2014.
- BIDGOLY, R.O.; BALOUCHI, H.; SOLTANI, E.; MORDI, A. Effect of temperature and water potential on *Carthamus tinctorius* L. seed germination: Quantification of the cardinal temperatures and modeling using hydrothermal time. **Industrial Crops and Products**, v.113, p.121-127, 2018.
- BORTOLHEIRO, F.P.A.P., SILVA, M.A. Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.89, p.3051-3066, 2017.
- CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.168, p.521-530, 2005.
- CHEN, D.; WANG, S.; CAO, B.; CAO, D.; LENG, G.; LI, H.; YIN, L.; SHAN, L.; DENG, X. Genotypic variation in growth and physiological response to drought stress and re-watering reveals the critical role of recovery in drought adaptation in maize seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v.6, p.1-15, 2016.

FLEXAS, J. Genetic improvement of leaf photosynthesis and intrinsic water use efficiency in C3 plants: Why so much little success? **Frontiers in Plant Science**, v.251, p.155-161, 2016.

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M.H.M.B.; NAHAR, K.; HOSSAIN, M.S.; MAHMUD, J.A.; HOSSEN, M.S.; MASUD, A.A.C.; FUJITA, M. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, v.8, p.1-29, 2018.

HASSANZADEH, M.; EBADI, A.; PANAHYAN-E-KIVI, M.; ESHGHI, A. G.; JAMAATI-E-SOMARIN, S. H.; SAEIDI, M.; ZABIHI-MAHMOODABAD, R. Evaluation of drought stress on relative water content and chlorophyll content of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes at early flowering stage. **Research Journal of Environmental Sciences**, v.3, p.345–350, 2019.

JANMOHAMMADI, M.; MOHAMMADI, N.; SHEKARI, F.; ABBASI, A.; ESMAILPOUR, M. The effects of silicon and titanium on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) growth under moisture deficit condition. **Acta Agriculturae Slovenica**, v.109, p.443–455, 2017.

KHOSROWSHHI, Z.T., SLEHI-LISAR, S.Y., GHASSEMI-GOLEZANI, K.; MOTAFAKKERAZAD, R. Physiological responses of safflower to exogenous putrescine under water deficit. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v.14, p.38-48, 2018.

KUMAR, A.; PRASAD, A.; SEDLÁROVÁ, M.; POSPÍŠIL, P. Data on detection of singlet oxygen, hydroxyl radical and organic radical in *Arabidopsis thaliana*. **Data in Brief**, v.21, p.2246–2252, 2018.

LI, Z.; PENG, Y.; ZHANG, X.Q.; PAN, M.H.; MA, X.; HUANG, L.K.; YAN, Y.H. Exogenous spermidine improves water stress tolerance of white clover (*Trifolium repens* L.) involved in antioxidant defence, gene expression and proline metabolism. **Plant Omics**, v.7, p.517–526, 2014.

LI, Z.; ZHANG, Y.; PENG, D.; WANG, X.; PENG, Y.; HE, X.; ZHANG, X.; MA, X.; HUANG, L.; YAN Y. Polyamine regulates tolerance to water stress in leaves of white clover associated with antioxidant defense and dehydrin genes via involvement in calcium messenger system and hydrogen peroxide signaling. **Frontiers in Physiology**, v.6, p.1-16, 2015.

LIM, C.W.; BAEK, W.; JUNG, J.; KIM, J-H.; LEE, S.C. Function of ABA in stomatal defense against biotic and drought stresses. **International Journal Molecular Sciences**, v.16, p.15251-15270, 2015.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. London: Elsevier, 2012, 643p.

MERWARD, A-R.M.A.; DESOKY, E-S.M.; RADY, MM. Response os water déficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v.228, p.132-144, 2018.

OLIVER, M.J.; FARRANT, J.M.; HILHORST, H.W.M.; MUNDREE, S.; WILLIAMS, B.; BEWLEY, J.D. Desiccation tolerance: Avoiding cellular damage during drying and rehydration. **Annual Review of Plant Biology**, v.71, p.435-460, 2020.

OSORIO, M.L.; OSORIO, J.; ROMANO, A. Photosynthesis, energy partitioning, and metabolic adjustments of the endangered Cistaceae species *Tuberaria major* under high temperature and drought. **Photosynthetica**, v.51, p.75–84, 2013.

PEREIRA, L.; FLORES-BORGES, D.N.A.; BITTENCOURT, P.R.L.; MAYER, J.L.S.; KIYOTA, E.; ARAÚJO, P.; JANSEN, S.; FREITAS, R.O.; OLIVEIRA, R.S.; MAZZAFERA, P. Infrared nanospectroscopy reveals the chemical nature of pit membranes in water-conducting cells of the plant xylem. **Plant Physiology**, v.177, p. 1629-1638, 2018.

PRADO, K.; MAUREL, C. Regulation of leaf hydraulics: from molecular to whole plant levels. **Frontiers in Plant Science**, v.4, p.1-14, 2013.

SAJEDI, N.A.; FERASAT, M.; MIRZAKHANI, M.; BOOJAR, M.M.A. Impact of water deficit stress on biochemical characteristics of safower cultivars. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.18, p.323–329, 2012.

SHAHROKHANIA, M.H.; SEPASKHAH, A.R. Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. **Industrial Crops and Products**, v.95, p.126-139, 2017.

SHEIKH-MOHAMMADI, M.H.; ETEMADI, N.; NIKHBAKHT, A.; ARAB, M.; MAJIDI, M.M.; PESSARAKLI, A. Antioxidant defence system and physiological responses of Iranian crested wheatgrass (*Agropyron cristatum* L.) to drought and salinity stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.39, p. 245-260, 2017.

SINGH, S.; ANGADI, S.V.; GROVER, K.; BEGNA, S.; AULD, D. Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the semiarid Southern High Plains. **Agricultural Water Management**, v.163, p.354-362, 2016.

SURYAPANI, S.; UMAR S.; MALIK, A.A.; AHMAD A. Symbiotic nitrogen fixation by lentil improves biochemical characteristics and yield of intercropped wheat under low fertilizer input. **Journal of Crop Improvement**, v.27, p.53-66, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artemed, 2017, 888p.

TANG, Z.H.; ZHANG, A.J.; WEI M, CHEN XG, LIU ZH, LI HM, DING YF. Physiological response to potassium deficiency in three sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.) genotypes differing in potassium utilization efficiency. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.37, p.174-184, 2015.

TARDIEU, F.; PARENT, B.; CALDEIRA, C.; WELCKER, C. Genetic and physiological controls of growth under water deficit. **Plant Physiology**, v.164, p.1628–1635, 2014.

WANG, C.C.; CHOY, C.S.; LIU, Y.H.; CHEAH, K.P.; LI, J.S.; WANG, J.T.J.; YU, W.Y.; LIN, C.W.; CHENG, H.W.; HU, C.M. Protective effect of dried safflower petal aqueous extract and its main constituent, carthamus yellow, against lipopolysaccharide induced inflammation in RAW264.7 macrophages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.91, p.218-225, 2011.

WOODROW, P.; CIARMIELLO, L.F.; ANNUNZIATA, M.G.; PACIFICO, S.; IANNUZZI F.; MIRTO, A.; D'AMELIA, L.; DELL'AVERSANA, E.; PICCOLELLA, S.; FUGGI, A.; CARILLO, P. Durum wheat seedling responses to simultaneous high light and salinity involve a fine reconfiguration of amino acids and carbohydrate metabolism. **Plant Physiology**, v.59, p.290–312, 2017.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture—Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v.171, p.656–669, 2014.