

Identificação de cultivares de soja para tolerância aos estresses hídrico e salino durante a fase de estabelecimento da plântula

Identification of soybean cultivars for tolerance to hydric and saline stress during the seedling's establishment

Rogério do Carmo Cabral¹, Alan Mario Zuffo², Simone Cândido Ensinas Maekawa³,
Kátia Cristina da Silva⁴, Fábio Steiner⁵

RESUMO: Os estresses hídrico e salino são apontados como os principais fatores abióticos que limitam a germinação e o estabelecimento da cultura de soja. Estudos que visam identificar cultivares com maior tolerância ao estresse hídrico e a salinidade são importantes para a pesquisa agrícola. A pesquisa foi conduzida com a finalidade de avaliar a tolerância de 25 cultivares de soja aos estresses hídrico e salino durante a fase de germinação e crescimento inicial das plântulas. Os estresses hídrico e salino foram induzidos pela exposição das sementes durante 10 dias a 25 °C, em soluções com potencial osmótico de -0,30 MPa preparadas com polietilenoglicol PEG-6000 (151,403 g L⁻¹) e NaCl (3,536 g L⁻¹). A partir dos dados de germinação, comprimento e matéria seca das plântulas em condições não estressantes (controle) e estressantes (estresses hídrico e salino), foram calculados os índices de tolerância ao estresse (ITE). As cultivares de soja RK 8317 IPRO, TMG 2383 IPRO, TMG 7061 IPRO, TMG 7063 IPRO e ST 777 IPRO possuem maior tolerância ao estresse hídrico, e são as cultivares mais indicadas para serem semeadas em condições de baixa disponibilidade de água no solo. As cultivares de soja NS 8399 IPRO, NS 7007 IPRO, NS 7505 IPRO, RK 8115 IPRO e TMG 2381 IPRO possuem maior suscetibilidade ao estresse hídrico, e não devem ser recomendadas para o cultivo em condições de baixa disponibilidade hídrica. As cultivares TMG 2383 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, ST 777 IPRO, M5917 IPRO, ST 797 IPRO e TMG 7067 são as cultivares mais indicadas para serem cultivadas em solos salinos por apresentarem maior tolerância à salinidade. Por sua vez, as cultivares NS 8399 IPRO, HO Paranaíba IPRO, HO Cristalino IPRO e BMX Foco IPRO são classificadas como suscetíveis à salinidade.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Índice de tolerância. Potencial osmótico.

ABSTRACT: Hydric and saline stress are the main abiotic factors that limit germination and the establishment of soybean culture. Studies that identify cultivars with a greater tolerance for hydric and saline stress are important in agricultural research. The tolerance of 25 soybean cultivars was evaluated for hydric and saline stress during the germination phase and early growth of seedlings. Hydric and saline stress were induced by exposing seeds during 10 days, at 25°C, in solutions with osmotic potential -0.30 MPa prepared with polyethylenoglycol PEG-6000 (151.403 g L⁻¹) and NaCl (3.536 g L⁻¹). Stress tolerance indexes (ITE) were calculated from data on germination, length and dry matter of seedlings in non-stress (control) and stress (hydric and saline stress) conditions. Soybean cultivars RK 8317 IPRO, TMG 2383 IPRO, TMG 7061 IPRO, TMG 7063 IPRO and ST 777 IPRO had a greater tolerance to hydric stress and they are the most indicated cultivars in conditions of low water availability in the soil. Soybean cultivars NS 8399 IPRO, NS 7007 IPRO, NS 7505 IPRO, RK 8115 IPRO and TMG 2381 IPRO have a greater susceptibility to hydric stress and should not be recommended for culture in low hydric availability. Cultivars TMG 2383 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, ST 777 IPRO, M5917 IPRO, ST 797 IPRO and TMG 7067 are the most indicated cultivars for saline soil due to greater tolerance to salinity. Further, cultivars NS 8399 IPRO, HO Paranaíba IPRO, HO Cristalino IPRO and BMX Foco IPRO have been classified as more susceptible to salinity.

¹ Discente de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Sustentabilidade na Agricultura, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia (MS), Brasil.

² Professor do Curso de Agronomia da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Balsas (MA), Brasil.

³ Professora Adjunta IV e coordenadora do curso de Tecnologia em Produção Sucoalcooleira da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Glória de Dourados (MS), Brasil.

⁴ Discente de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Sustentabilidade na Agricultura, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia (MS), Brasil.

⁵ Professor, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Sustentabilidade na Agricultura, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia (MS), Brasil.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Index of tolerance. Osmotic potential.

Autor correspondente:
Alan Mario Zuffo: alan_zuffo@hotmail.com

Recebido em: 09/02/2021
Aceito em: 03/05/2021

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das mais importantes culturas oleaginosas do Brasil e do mundo. Atualmente, a região do Cerrado é a maior produtora de soja do Brasil, representando cerca de 60% da produção nacional (DICKIE *et al.*, 2016). A produção de soja nessa região certamente continuará a ser um importante impulsionador do crescimento econômico agrícola do Brasil nos próximos anos.

A produção agrícola na região do Cerrado está focada no cultivo de duas culturas por safra agrícola, em que os agricultores cultivam principalmente soja/milho ou soja/algodão (ZUFFO *et al.*, 2020a). Porém, a viabilidade técnica e econômica desses modelos de produção agrícola somente é alcançada quando a semeadura da soja, com cultivares precoces ou super precoces, for realizada até o início do mês de novembro. No entanto, como a região do Cerrado brasileiro tem uma estação seca muito prolongada durante o período de inverno (maio a setembro), em muitas situações os agricultores realizam a semeadura da soja sob condições inadequadas de umidade do solo para suportar a germinação das sementes e o estabelecimento inicial das plantas no campo.

A baixa disponibilidade de água no solo por ocasião da semeadura da soja pode limitar e atrasar o processo de germinação devido à redução na taxa de absorção de água pelas sementes, resultando no inadequado estabelecimento do estande de plantas no campo (PATANÈ *et al.*, 2013; STEINER *et al.*, 2017). Portanto, a estação seca durante o período de inverno na região do Cerrado impõe muitos desafios à produção nacional de soja, especialmente para a semeadura antecipada.

Além da restrição hídrica, a produção agrícola na região do Cerrado também pode ser limitada devido ao excesso de sais no solo ou na água de irrigação. Atualmente, o estresse salino tem se intensificado devido ao uso inadequado e excessivo de fertilizantes minerais, manejo inadequado da irrigação e da drenagem ou da irrigação com águas salinas (GHEYI *et al.*, 2010). A salinidade pode afetar negativamente a germinação das sementes e o crescimento das plântulas devido ao estresse osmótico, efeitos fitotóxicos específicos de íons, como sódio (Na⁺) e cloro (Cl⁻), e estresse oxidativo (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2017). Esses efeitos causam alterações adversas na fisiologia e na bioquímica do processo de germinação das sementes. Altos níveis de salinidade podem inibir a absorção de água pelas sementes, tornando a germinação impossível, enquanto o nível mais baixo de salinidade resulta no atraso do processo de germinação (IBRAHIM, 2016).

A germinação das sementes é uma fase crítica para o estabelecimento do estande das plantas, e os estresses hídrico e salino são os principais fatores ambientais que restringem o adequado estabelecimento das culturas (PETROVIC *et al.*, 2016). A restrição hídrica e a salinidade desempenham importante papel na determinação da taxa de germinação das sementes e no crescimento inicial das plantas (PATANÈ *et al.*, 2013; STEINER *et al.*, 2017). Esses dois fatores abióticos afetam as plantas de maneira semelhante, principalmente devido à redução do potencial hídrico do solo. Portanto, os ensaios que visam avaliar e identificar cultivares de soja com maior tolerância à seca e à salinidade durante os estádios iniciais de crescimento das plantas são importantes para a pesquisa agropecuária. Uma cultivar com germinação mais rápida sob condições de restrição hídrica ou de salinidade pode alcançar um rápido estabelecimento de plantas no campo, resultando maior rendimento de grãos.

Diversos fatores podem afetar as respostas das plantas aos estresses hídrico e salino, como genótipo e espécies de planta, estágio de crescimento, intensidade e duração do estresse, dentre outros fatores ambientais (PATANÈ *et al.*, 2013; NAGHAVI *et al.*, 2013; PETROVIC *et al.*, 2016). Diferenças genéticas na tolerância aos estresses abióticos têm sido reportadas em cultivares de soja (ZOZ *et al.*, 2013), o que pode ser útil na identificação de genótipos mais adaptados a sementeiras sob condições ambientais adversas. Alguns estudos reportaram os efeitos dos estresses hídrico e salino no processo de germinação das sementes de soja (SOARES *et al.*, 2015). No entanto, são incipientes os estudos que avaliaram os efeitos adversos desses estresses abióticos através dos métodos de análises multivariadas utilizando diferentes índices de tolerância aos estresses para um número representativo de cultivares de soja.

Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a tolerância aos estresses hídrico e salino de 25 cultivares de soja da região Centro-Oeste do Brasil, durante as fases de germinação e de crescimento inicial das plântulas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois ensaios foram realizados em condições de laboratório para testar os efeitos dos estresses hídrico e salino na germinação e no crescimento inicial das plântulas em 25 cultivares de soja. Antes do início dos ensaios, foram determinados o teor de água, a massa de mil sementes e a taxa de germinação das sementes, como descrito nas Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009). As principais características agronômicas e intrínsecas das sementes de soja são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Características agronômicas, teor de água, massa de mil sementes e germinação das 25 cultivares de soja utilizadas no estudo da identificação de cultivares de soja para tolerância aos estresses hídrico e salino durante a fase de estabelecimento da plântula

Cultivar	Características Agronômicas			Teor de água (%)	Massa de 1000 sementes (g)	Germinação (%)
	Ciclo médio ¹	GMRT	Tipo de crescimento			
TMG 2383 IPRO	120	8,3	Semideterminado	9,51	175	87
TMG 2381 IPRO	120	8,1	Indeterminado	9,77	160	100
TMG 2378 IPRO	125	7,8	Semideterminado	8,96	165	96
TMG 7067 IPRO	112	7,2	Semideterminado	9,87	170	100
TMG 7063 IPRO	110	7,0	Indeterminado	9,75	175	86
TMG 2165 IPRO	112	6,5	Indeterminado	9,14	180	98
TMG 7061 IPRO	110	6,1	Indeterminado	10,17	185	98
97R50 IPRO	115	7,5	Indeterminado	8,15	190	100
98R31 IPRO	130	8,3	Indeterminado	9,89	175	97
98R35 IPRO	130	8,3	Indeterminado	9,57	180	98
HO Cristalino IPRO	125	8,3	Indeterminado	8,93	160	100
HO Maracaí IPRO	120	7,7	Indeterminado	9,60	170	87
HO Paranaíba IPRO	115	7,4	Indeterminado	9,75	210	93
BMX Foco IPRO	110	7,2	Indeterminado	9,11	175	83
BMX Bônus IPRO	120	7,9	Indeterminado	9,42	185	100
ST 777 IPRO	108	7,7	Indeterminado	9,41	155	100
ST 797 IPRO	110	7,9	Indeterminado	9,45	150	100
RK 8115 IPRO	120	8,1	Indeterminado	9,02	200	96
RK 6719 IPRO	105	6,7	Indeterminado	9,57	190	100
RK 7518 IPRO	112	7,5	Indeterminado	10,08	180	100
RK 8317 IPRO	125	8,3	Indeterminado	10,46	185	88
M 5917 IPRO	95	5,9	Indeterminado	9,42	170	93
NS 8399 IPRO	120	8,3	Indeterminado	9,02	185	89
NS 7007 IPRO	98	7,1	Indeterminado	9,77	210	99
NS 7505 IPRO	118	7,5	Indeterminado	8,97	200	84

¹ Ciclo médio, em dias, da emergência ao ponto de colheita. GMR: Grupo de maturidade relativa.

As sementes foram previamente desinfestadas, por imersão durante 10 minutos, em solução de hipoclorito de sódio 1% (v/v). Em seguida procedeu-se à lavagem em água corrente e posteriormente foram colocadas para germinar sob condições de estresse hídrico (Ensaio 1) e estresse salino (Ensaio 2), induzidos por soluções com potencial osmótico de -0,30 MPa preparadas com polietilenoglicol (PEG-6000) e cloreto de sódio (NaCl). A quantidade de PEG-6000 adicionada para obter a solução com potencial osmótico de -0,30 MPa foi determinada pela equação de Michel & Kaufmann (1973): $\Psi_s = [-(1,18 \times 10^{-2}) C - (1,18 \times 10^{-4}) C^2 + (2,67 \times 10^{-4}) CT + (8,39 \times 10^{-7}) C^2 T]/10$, em que Ψ_s é o potencial osmótico (MPa); C é a concentração (g L⁻¹ de PEG-6000) e T é a temperatura (°C). A quantidade de NaCl adicionada para obter a solução com potencial osmótico de -0,30 MPa foi calculada pela equação de van't Hoff (HILLEL, 1971): $\Psi_s = -RTC_i$, onde R é a constante universal dos gases nobres (0,008314 MPa mol⁻¹ K⁻¹); T é a temperatura absoluta (273,15 + °C); C é a concentração molar do soluto (mol L⁻¹); e i é o fator de van't Hoff, ou seja, a razão entre a quantidade de partículas na solução e a quantidade de íons dissolvidos [isto é, para NaCl este valor é 2,0 (Na⁺ e Cl⁻)]. Como controle foi utilizada água destilada com potencial osmótico $\Psi_s = 0,00$ MPa.

Ambos os ensaios foram instalados utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela exposição ou não das sementes, das 25 cultivares de soja, ao estresse hídrico (Ensaio 1) ou salino (Ensaio 2). Cada unidade experimental foi representada por uma amostra de 50 sementes.

As quatro subamostras de 50 sementes foram colocadas para germinar sobre três folhas de papel-toalha Germitest[®], previamente umedecidas com as diferentes soluções em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa seca do papel. Em seguida, foram confeccionados rolos, os quais foram mantidos em câmara de germinação sob temperatura constante de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas, durante 10 dias. Foram consideradas sementes germinadas aquelas que apresentaram protrusão da radícula, com no mínimo 10,0 mm de comprimento. Após a determinação da taxa de germinação, 10 plântulas foram escolhidas aleatoriamente para a mensuração do comprimento e da matéria seca da parte aérea e das raízes. O comprimento da parte aérea (CPA) e das raízes (CR) foi mensurado com auxílio de uma régua graduada em milímetros. A matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) foi determinada em balança analítica após secagem do material vegetal em estufa a 85 °C, por 48h.

Os índices de tolerância ao estresse (ITE) foram calculados a partir dos dados de germinação, comprimento de plântulas e matéria seca de plântulas em condições controle, ou expostas aos estresses hídricos e salino, utilizando-se as seguintes equações propostas por Partheeban *et al.* (2017):

$$ITE-G = (\text{Germinação de sementes sob estresse} / \text{Germinação de sementes do controle}) \times 100$$

$$ITE-CPA = (\text{Comprimento da parte aérea das plantas sob estresse} / \text{Comprimento da parte aérea das plantas do controle}) \times 100$$

$$ITE-CR = (\text{Comprimento da raiz das plantas sob estresse} / \text{Comprimento da raiz das plantas do controle}) \times 100$$

$$ITE-CT = (\text{Comprimento total das plantas sob estresse} / \text{Comprimento total das plantas do controle}) \times 100$$

$$ITE-MSPA = (\text{Matéria seca da parte aérea das plantas sob estresse} / \text{Matéria seca da parte aérea das plantas do controle}) \times 100$$

$$ITE-MSR = (\text{Matéria seca das raízes das plantas sob estresse} / \text{Matéria seca das raízes das plantas do controle}) \times 100$$

$$ITE-MST = (\text{Matéria seca total das plantas sob estresse} / \text{Matéria seca total das plantas do controle}) \times 100$$

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias das cultivares de soja foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o *software* Sisvar versão 5.6 para *Windows*.

A identificação das cultivares tolerantes e, ou, suscetíveis ao estresse hídrico ou salino foi realizada com base em todos os índices de tolerância de estresse (ITE), por meio de três métodos de análise multivariada (método do ranqueamento, método de agrupamento hierárquico e análise de componentes principais).

O método do ranqueamento foi utilizado como proposto por Farshadfar *et al.* (2012), com modificações. Nesse método, uma cultivar com o maior valor para cada um dos índices de tolerância de estresse recebeu uma pontuação de classificação igual a 1, ao passo que a cultivar com o menor valor para cada um dos índices de tolerância de estresse recebeu uma pontuação de classificação igual a 25. Foram calculados a pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) e o desvio padrão dos ranqueamentos (DP_R) para todos os índices de tolerância de estresse das 25 cultivares de soja em condições de estresse hídrico ou salino.

A discriminação das cultivares de soja quanto ao nível de tolerância ao estresse hídrico e salino foi realizada com base na pontuação média do ranqueamento de cada cultivar, considerando-se o valor do quartil que divide as 25 posições do ranqueamento em quatro partes iguais. Portanto, uma cultivar com pontuação média do ranqueamento abaixo do valor do primeiro quartil ($< 7,0$ pontos) é classificada como tolerante (T); uma cultivar com pontuação média entre o valor do primeiro e segundo quartil (7,0 a 13,0 pontos) é classificada como moderadamente tolerante (MT); uma cultivar com pontuação média do ranqueamento entre o valor do segundo e terceiro quartil (13,1 a 19,0 pontos) é classificada como moderadamente suscetível (MS); e, por sua vez, o grupo de cultivares suscetíveis (S) ao estresse abiótico é representado pelos genótipos com pontuação média do ranqueamento acima do valor do terceiro quartil ($> 19,0$ pontos).

Análise multivariada pelo método de agrupamento hierárquico foi realizada com base na distância euclidiana média padronizada (D) e no método de variância mínima de Ward para classificar as 25 cultivares de soja nos distintos níveis de tolerância aos estresses hídrico e salino (cultivar tolerante, moderadamente tolerante, moderadamente suscetível e cultivar suscetível). A análise de componentes principais (ACP) com base na matriz de covariância dos índices de tolerância de estresse e análise *Biplot* foram realizadas utilizando-se o *software* estatístico Action Stat Pro[®] versão 3.6 para *Windows* (Estatcamp - Consultoria Estatística e Qualidade, Campinas (SP), Brasil).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO

O índice de tolerância de estresse para a germinação (ITE-G) das sementes permitiu separar as cultivares de soja em dois grupos distintos. As cultivares TMG 7063 IPRO, TMG 2378 IPRO, 98R31 IPRO, TMG 2165 IPRO, HO Maracaí IPRO, HO Maracaí IPRO, TMG 7061 IPRO, TMG 2383 IPRO e NS 7505 IPRO representaram o grupo com maior índice de tolerância ao estresse hídrico (Tabela 2).

Tabela 2. Índices de tolerância de estresse para a germinação e o crescimento inicial das plântulas das 25 cultivares de soja expostas ao estresse hídrico

Cultivar	ITE-G	ITE-CPA	ITE-CR	ITE-CT	ITE-MSPA	ITE-MSR	ITE-MST
	(%)						
TMG 2383 IPRO	91 a	12 b	165 b	80 b	18 a	139 a	43 b
TMG 2381 IPRO	89 b	7 c	86 e	48 e	12 c	105 b	35 d
TMG 2378 IPRO	95 a	6 c	122 d	62 d	8 c	119 b	34 d
TMG 7067 IPRO	88 b	7 c	130 d	61 d	11 c	118 b	43 b
TMG 7063 IPRO	96 a	29 a	160 b	90 a	18 a	115 b	51 a
TMG 2165 IPRO	94 a	8 d	118 d	61 d	14 b	112 b	43 b
TMG 7061 IPRO	91 a	11 c	142 c	79 b	14 b	122 b	50 a
97R50 IPRO	87 b	10 c	115 d	59 d	10 c	110 b	40 c
98R31 IPRO	95 a	11 c	121 d	66 d	10 c	105 b	37 c
98R35 IPRO	90 b	27 a	111 d	70 c	15 b	112 b	40 c
HO Cristalino IPRO	85 b	10 c	102 e	55 e	13 c	89 c	37 c
HO Maracaí IPRO	91 a	9 d	106 d	56 d	14 b	101 b	39 c
HO Paranaíba IPRO	93 a	9 d	124 d	59 d	11 c	110 b	39 c
BMX Foco IPRO	90 b	16 b	120 d	68 d	15 b	92 c	36 c
BMX Bônus IPRO	87 b	7 d	110 d	52 e	10 c	120 b	37 c
ST 777 IPRO	91 a	17 b	113 d	64 d	16 a	160 a	48 a
ST 797 IPRO	85 b	15 b	100 e	60 d	11 c	87 c	31 b
RK 8115 IPRO	89 b	8 d	80 e	45 e	12 c	106 b	40 c
RK 6719 IPRO	88 b	6 d	113 d	59 d	10 c	103 b	37 c
RK 7518 IPRO	86 b	8 d	129 d	65 d	11 c	115 b	42 b
RK 8317 IPRO	95 a	11 c	193 a	81 b	15 b	153 a	46 a
M 5917 IPRO	86 b	8 d	127 d	62 d	14 b	101 b	38 c
NS 8399 IPRO	89 b	10 c	80 e	52 e	12 c	58 d	28 d
NS 7007 IPRO	86 b	7 d	84 e	45 e	12 c	79 c	31 d
NS 7505 IPRO	91 a	11 c	87 e	60 d	12 c	92 c	34 d
Média	90	11	117	62	13	109	39
CV (%)	5,29	17,48	12,41	9,79	16,44	13,24	8,47

Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. ITE-G: Índice de tolerância de estresse para germinação. ITE-CPA: Índice de tolerância de estresse para comprimento da parte aérea. ITE-CR: Índice de tolerância de estresse para comprimento da raiz. ITE-CT: Índice de tolerância de estresse para comprimento total das plantas. ITE-MSPA: Índice de tolerância de estresse para matéria seca da parte aérea. ITE-MSR: Índice de tolerância de estresse para matéria seca das raízes. ITE-MST: Índice de tolerância de estresse para matéria seca total das plantas.

O índice de tolerância de estresse para o comprimento da parte aérea (ITE-CPA) das plantas permitiu separar as cultivares de soja em quatro grupos, sendo que as cultivares TMG 7063 IPRO e 98R35 IPRO representaram o grupo com maior índice de tolerância ao estresse hídrico, e as cultivares HO Maracaí IPRO, HO Paranaíba IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8115 IPRO, M 5917 IPRO, TMG 2165 IPRO, BMX Bônus IPRO, NS 7007 IPRO, TMG 2381 IPRO, TMG 7067 IPRO, RK 6719 IPRO e TMG 2378 IPRO representaram o grupo com menor índice de tolerância ao estresse hídrico (Tabela 2). O índice de tolerância de estresse para o comprimento das raízes (ITE-CR) das plantas expostas ao estresse hídrico permitiu classificar as cultivares de soja em cinco grupos distintos, sendo que o grupo com maior índice de tolerância ao estresse hídrico foi representado pela cultivar RK 8317 IPRO, e as cultivares HO Cristalino IPRO, ST 797 IPRO, NS 7505 IPRO, TMG 2381 IPRO, NS 7007 IPRO, NS 8399 IPRO e RK 8115 IPRO foram classificadas no grupo com menor índice de tolerância ao estresse hídrico (Tabela 2).

O comprimento da parte aérea das plantas de soja expostas ao estresse hídrico representou, em média, apenas 11% do comprimento da parte aérea das plantas do tratamento controle, ao passo que o comprimento das raízes sob condições de estresse hídrico representou, em média, 117% do comprimento das raízes do tratamento controle (Tabela 2). Esses resultados indicam que o crescimento da parte aérea das plantas de soja foi mais afetado pelas condições de estresse hídrico quando comparado ao crescimento das raízes.

O índice de tolerância de estresse para o comprimento total (ITE-CT) das plantas permitiu classificar as cultivares de soja em cinco grupos; a cultivar TMG 7063 IPRO foi classificada no grupo com maior índice de tolerância ao estresse hídrico, ao passo que o grupo com menor índice de tolerância ao estresse hídrico foi representado pelas cultivares HO Cristalino IPRO, BMX Bônus IPRO, NS 8399 IPRO, TMG 2381 IPRO, NS 7007 IPRO e RK 8115 IPRO (Tabela 2).

O índice de tolerância de estresse para a matéria seca da parte aérea (ITE-MSPA) das plantas expostas ao estresse hídrico permitiu separar as cultivares de soja em três grupos; o grupo com maior índice de tolerância ao estresse hídrico foi representado pelas cultivares TMG 2383 IPRO, TMG 7063 IPRO e ST 777 IPRO, ao passo que o grupo com menor índice de tolerância ao estresse hídrico foi representado por 15 cultivares de soja (Tabela 2).

O índice de tolerância de estresse para a matéria seca das raízes (ITE-MSR) das plantas permitiu classificar as cultivares de soja em quatro grupos; o grupo com maior índice de tolerância ao estresse hídrico foi representado pelas cultivares ST 777 IPRO, RK 8317 IPRO e TMG 2383 IPRO, e a cultivar NS 8399 IPRO foi classificada no grupo com menor índice de tolerância ao estresse hídrico (Tabela 2). O índice de tolerância de estresse para a matéria seca total (ITE-MST) das plantas de soja expostas ao estresse hídrico permitiu classificar as cultivares em quatro grupos; as cultivares TMG 7063 IPRO, TMG 7061 IPRO, ST 777 IPRO e RK 8317 IPRO foram classificadas no grupo com maior índice de tolerância ao estresse hídrico, ao passo que o grupo com menor índice de tolerância ao estresse hídrico foi representado pelas cultivares TMG 2381 IPRO, TMG 2378 IPRO, NS 7505 IPRO, ST 797 IPRO, NS 7007 IPRO e NS 8399 IPRO (Tabela 2).

A identificação de cultivares de soja tolerantes ou suscetíveis aos estresses hídricos com base em apenas um único critério, ou índice de tolerância ao estresse, pode ser contraditória (Tabela 2). Por exemplo, de acordo com o ITE-CPA as cultivares de soja TMG 7063 IPRO e 98R35 IPRO foram consideradas tolerantes ao estresse hídrico, enquanto que pelo ITE-MSR, as cultivares TMG 2383 IPRO, ST 777 IPRO e RK 8317 IPRO foram consideradas as mais tolerantes ao estresse hídrico. Portanto, a diferenciação e a separação dos cultivares em diferentes níveis de tolerância aos estresses abióticos deve ser realizada levando-se em consideração todos os índices de tolerância de estresse (NAGHAVI *et al.*, 2013). Com base no exposto, este estudo propôs o aprimoramento do método do ranqueamento, inicialmente

utilizado por Farshadfar *et al.* (2012), ao separar as 25 cultivares de soja nos seus respectivos quartis com base no valor médio do ranqueamento de cada cultivar.

Considerando todos os índices de tolerância ao estresse hídrico, as cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 7061 IPRO, ST 777 IPRO e RK 8317 IPRO ocuparam a melhor classificação média pelo método do ranqueamento e, portanto, essas cultivares foram classificadas como tolerantes ao estresse hídrico. As cultivares NS 8399 IPRO e NS 7007 IPRO receberam as maiores pontuações no método do ranqueamento e, assim, foram classificadas como suscetíveis ao estresse hídrico (Tabela 3).

Tabela 3. Ranqueamento, pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) e desvio padrão do ranqueamento (DP_R) para os índices de tolerância ao estresse hídrico para as 25 cultivares de soja

Cultivar	Índice de Tolerância de Estresse (ITE)							\bar{R}	DP_R	Nível de Tolerância [†]
	G	CPA	CR	CT	MSPA	MSR	MST			
TMG 2383 IPRO	9	7	2	3	1	3	7	4,6	2,7	T
TMG 2381 IPRO	14	22	22	23	13	15	20	18,4	3,8	MS
TMG 2378 IPRO	3	25	9	10	25	6	21	14,1	8,2	MS
TMG 7067 IPRO	17	23	5	13	20	7	5	12,9	6,2	MT
TMG 7063 IPRO	1	1	3	1	2	9	1	2,6	2,0	T
TMG 2165 IPRO	5	19	12	12	7	11	6	10,3	3,7	MT
TMG 7061 IPRO	7	8	4	4	9	4	2	5,4	2,2	T
97R50 IPRO	19	12	13	18	23	13	11	15,6	3,8	MS
98R31 IPRO	2	9	10	7	22	16	15	11,6	5,2	MT
98R35 IPRO	12	2	16	5	6	10	9	8,6	3,6	MT
HO Cristalino IPRO	24	13	19	20	11	22	18	18,1	3,6	MS
HO Maracaí IPRO	8	14	18	19	10	19	12	14,3	3,8	MS
HO Paranaíba IPRO	6	15	8	17	19	12	13	12,9	3,6	MT
BMX Foco IPRO	13	4	11	6	4	20	19	11,0	5,4	MT
BMX Bônus IPRO	20	20	17	21	21	5	16	17,1	3,8	MS
ST 777 IPRO	11	3	14	9	3	1	3	6,3	4,3	T
ST 797 IPRO	25	5	20	14	18	23	23	18,3	5,1	MS
RK 8115 IPRO	16	17	25	24	16	14	10	17,4	4,0	MS
RK 6719 IPRO	18	24	15	16	24	17	17	18,7	3,0	MS
RK 7518 IPRO	23	16	6	8	17	8	8	12,3	5,5	MT
RK 8317 IPRO	4	10	1	2	5	2	4	4,0	2,0	T
M 5917 IPRO	21	18	7	11	8	18	14	13,9	4,4	MS
NS 8399 IPRO	15	11	24	22	14	25	25	19,4	5,2	S
NS 7007 IPRO	22	21	23	25	15	24	24	22,0	2,3	S
NS 7505 IPRO	10	6	21	15	12	21	22	15,3	5,2	MS

[†] T = refere-se a uma cultivar de soja tolerante ao estresse hídrico, recebendo pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 1 a 7,0; MT = cultivar moderadamente tolerante com pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 7,1 a 13,0; MS = cultivar moderadamente suscetível com pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 13,1 a 19,0; S = cultivar de soja suscetível ao estresse hídrico com a pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 19,1 a 25.

A análise multivariada de agrupamento hierárquico das 25 cultivares, com base em todos os índices de tolerância ao estresse hídrico, resultou no enquadramento das cultivares de soja em quatro grupos com 4, 3, 8 e 10 cultivares, respectivamente (Figura 1). O primeiro grupo foi representado pelas cultivares com os maiores índices de tolerância ao estresse e, portanto, foi considerado o grupo mais tolerante às condições de estresse hídrico. O segundo e o quarto grupo representaram as cultivares com valores intermediários de índices de tolerância e, por

isso, foram classificadas como moderadamente tolerantes e moderadamente suscetíveis ao estresse hídrico, respectivamente. Por sua vez, o terceiro grupo representou as cultivares com os menores índices de tolerância e, portanto, as cultivares pertencentes a este grupo são as mais suscetíveis aos efeitos negativos do estresse hídrico (grupo suscetível).

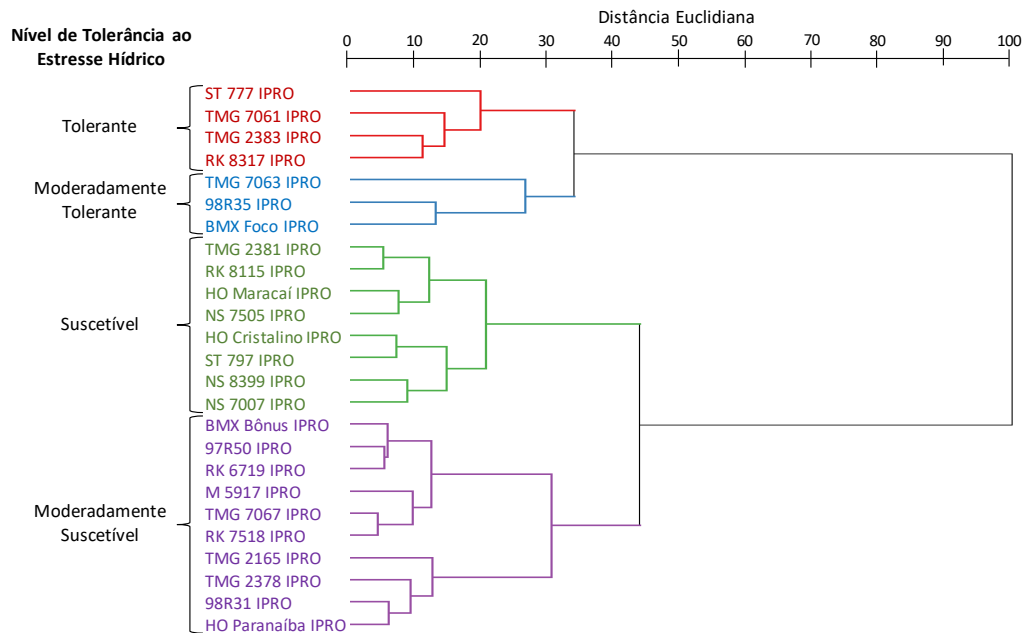


Figura 1. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico das 25 cultivares de soja com base na distância euclidiana e no método de variância mínima de Ward utilizando os índices de tolerância ao estresse hídrico (ITE-G, ITE-CPA, ITE-CR, ITE-CT, ITE-MSPA, ITE-MSR e ITE-MST)

Diante do exposto, as cultivares de soja ST 777 IPRO, TMG 7061 IPRO, TMG 2383 IPRO e RK 8317 IPRO foram identificadas como as mais tolerantes ao estresse hídrico, ao passo que as cultivares TMG 2381 IPRO, RK 8115 IPRO, HO Maracaí IPRO, NS 7505 IPRO, HO Cristalino IPRO, ST 797 IPRO, NS 8399 IPRO e NS 7007 IPRO foram classificadas como as mais suscetíveis ao estresse hídrico (Figura 1).

O primeiro componente principal explica 80,23% da variação total (Figura 2). Os índices de tolerância ao estresse hídrico para o comprimento da raiz (ITE-CR) e para a matéria seca das raízes (ITE-MSR) possuem pesos negativamente altos no primeiro componente principal, -0,775 e -0,544, respectivamente. Portanto, quanto maior a nota desses índices de tolerância, menor é o escore do primeiro componente principal, e, então, a cultivar pode ser considerada tolerante ao estresse hídrico. Por sua vez, os índices de tolerância ao estresse para a germinação (ITE-G), comprimento da parte aérea (ITE-CPA) e matéria seca da parte aérea (ITE-MSPA) praticamente não afetam o primeiro componente principal, em virtude do seu peso ser muito baixo, -0,049, -0,048 e -0,039, respectivamente.

cultivares mais indicadas para serem utilizadas em condições de baixa disponibilidade de água no solo no momento da semeadura.

Os métodos do ranqueamento, análise de agrupamento hierárquico e análise dos componentes principais agruparam, respectivamente, 2, 8 e 5 cultivares de soja como suscetíveis ao estresse hídrico (Tabela 3, Figuras 1 e 2). As cultivares de soja NS 8399 IPRO e NS 7007 IPRO foram classificadas como suscetíveis ao estresse hídrico pelos três métodos utilizados. Por sua vez, as cultivares NS 7505 IPRO, RK 8115 IPRO e TMG 2381 IPRO foram agrupadas como suscetíveis ao estresse hídrico pela análise de agrupamento hierárquico e análise de componentes principais (Figuras 1 e 2). Portanto, quando a semeadura da soja for realizada em condições de baixa disponibilidade de água no solo essas cultivares não devem ser recomendadas para a semeadura.

3.2 EFEITO DO ESTRESSE SALINO

O índice de tolerância de estresse para a germinação (ITE-G) permitiu separar as cultivares de soja em quatro grupos distintos, sendo que o grupo com maior índice de tolerância ao estresse salino foi representado pelas cultivares TMG 2383 IPRO, TMG 2378 IPRO, M 5917 IPRO, ST 777 IPRO, 98R31 IPRO e 98R35 IPRO. Por sua vez, as cultivares HO Cristalino IPRO, HO Maracaí IPRO e HO Paranaíba IPRO foram agrupadas no grupo de menor índice de tolerância ao estresse salino (Tabela 4).

Tabela 4. Índices de tolerância ao estresse para a germinação e o crescimento inicial das plântulas das 25 cultivares de soja expostas ao estresse salino

Cultivar	ITE-G	ITE-CPA	ITE-CR	ITE-CT	ITE-MSPA	ITE-MSR	ITE-MST
	----- (%) -----						
TMG 2383 IPRO	95 a	82 a	92 a	86 a	94 a	124 a	99 a
TMG 2381 IPRO	87 b	55 c	52 c	53 c	74 b	81 c	76 b
TMG 2378 IPRO	93 a	60 b	69 b	64 b	87 a	99 b	90 a
TMG 7067 IPRO	88 b	63 b	72 b	67 b	88 a	119 a	97 a
TMG 7063 IPRO	90 b	52 c	69 b	59 c	90 a	106 b	95 a
TMG 2165 IPRO	83 c	62 b	82 b	72 b	75 b	97 b	82 b
TMG 7061 IPRO	85 b	55 c	56 c	56 c	72 b	101 b	82 b
97R50 IPRO	91 b	63 b	83 b	72 b	82 a	116 a	92 a
98R31 IPRO	96 a	71 a	89 a	80 a	83 a	100 b	88 a
98R35 IPRO	94 a	66 b	77 b	72 b	84 a	121 a	94 a
HO Cristalino IPRO	74 d	42 d	51 c	46 d	61 c	74 c	65 c
HO Maracaí IPRO	76 d	38 d	66 b	52 c	86 a	106 b	91 a
HO Paranaíba IPRO	74 d	35 d	52 c	42 d	57 c	76 c	62 c
BMX Foco IPRO	89 b	46 d	47 c	46 d	63 c	77 c	67 c
BMX Bônus IPRO	87 b	48 c	72 b	58 c	76 b	96 b	81 b
ST 777 IPRO	95 a	63 b	74 b	68 b	86 a	121 a	93 a
ST 797 IPRO	89 b	66 b	95 a	82 a	78 b	95 b	83 b
RK 8115 IPRO	83 c	56 c	75 b	66 b	87 a	91 c	88 a
RK 6719 IPRO	90 b	52 c	73 b	62 b	78 b	100 b	85 b
RK 7518 IPRO	81 c	58 b	58 c	58 c	72 b	91 c	78 b
RK 8317 IPRO	86 b	66 b	84 b	73 b	86 a	69 c	82 b

M 5917 IPRO	94 a	68 b	107 a	85 a	96 a	94 b	95 a
NS 8399 IPRO	87 b	41 d	46 c	44 d	44 d	65 c	51 d
NS 7007 IPRO	90 b	54 c	75 b	64 b	90 a	87 c	89 a
NS 7505 IPRO	86 b	55 c	36 c	43 d	87 a	83 c	85 b
Média	87	57	70	63	79	96	83
CV (%)	5,59	12,51	16,75	10,99	10,98	15,25	8,81

Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. ITE-G: Índice de tolerância ao estresse para germinação. ITE-CPA: Índice de tolerância ao estresse para comprimento da parte aérea. ITE-CR: Índice de tolerância ao estresse para comprimento da raiz. ITE-CT: Índice de tolerância ao estresse para comprimento total das plantas. ITE-MSPA: Índice de tolerância ao estresse para matéria seca da parte aérea. ITE-MSR: Índice de tolerância ao estresse para matéria seca das raízes. ITE-MST: Índice de tolerância ao estresse para matéria seca total das plantas.

O índice de tolerância de estresse para a germinação em condições de estresse salino (Tabela 4) foi semelhante ao índice de tolerância ao estresse em condições de estresse hídrico (Tabela 2). Esses resultados sugerem que a salinidade e o estresse hídrico resultaram efeitos similares no processo de germinação das sementes de soja. Resultados contrários foram reportados por Soares *et al.* (2015), os quais mostraram que a germinação das sementes de soja é mais afetada pelo estresse salino induzido por NaCl do que pelo estresse hídrico induzido por manitol. Segundo os autores, isso ocorreu porque a salinidade, além de inibir a taxa de germinação das sementes pela redução do potencial hídrico, também pode causar efeitos fitotóxicos específicos devido à absorção dos íons Na^+ e Cl^- (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2017). No entanto, esse efeito não foi observado neste estudo com a utilização de soluções de PEG-600 e NaCl na concentração de -0,30 MPa.

O índice de tolerância de estresse para o comprimento da parte aérea (ITE-CPA) permitiu separar as cultivares de soja em quatro grupos distintos; as cultivares TMG 2383 IPRO e 98R31 IPRO representaram o grupo com maior índice de tolerância ao estresse salino, ao passo que as cultivares HO Cristalino IPRO, HO Maracaí IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO e NS 8399 IPRO representaram o grupo com menor índice de tolerância ao estresse salino (Tabela 4). O índice de tolerância de estresse para o comprimento radicular (ITE-CR) permitiu enquadrar as cultivares de soja em três grupos, sendo que as cultivares TMG 2383 IPRO, 98R31 IPRO, ST 797 IPRO e M 5917 IPRO foram classificadas no grupo de maior índice de tolerância ao estresse salino, ao passo que o grupo de menor índice de tolerância ao estresse salino foi representado pelas cultivares TMG 2381 IPRO, TMG 7061 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO, RK 7518 IPRO, NS 8399 IPRO e NS 7505 IPRO (Tabela 4).

O ITE-CPA em condições de estresse hídrico variou de 6 a 29% (Tabela 2), ao passo que em condições de estresse salino o ITE-CPA variou de 35 a 82% (Tabela 4). Por sua vez, o ITE-CR em condições de estresse hídrico variou de 80 a 193% (Tabela 3), e em condições de estresse salino variou de 36 a 107% (Tabela 4). Em condições de estresse hídrico e salino, o comprimento da parte aérea das plantas representou, em média, apenas 11% e 57% do comprimento da parte aérea das plantas do tratamento controle. Por sua vez, o comprimento

das raízes sob condições de estresse hídrico e salino representou, em média, 117% e 70% do comprimento das raízes do tratamento controle. Esses resultados indicam que o crescimento da parte aérea das plantas de soja foi mais afetado pelas condições de estresse hídrico, ao passo que o crescimento das raízes de soja foi mais afetado pelas condições de estresse salino.

Diversos estudos reportaram que os efeitos adversos do estresse hídrico são mais pronunciados no crescimento da parte aérea do que no crescimento das raízes das plantas (MUT; AKAY, 2010; SHAHI *et al.*, 2015; STEINER *et al.*, 2017). O maior crescimento das raízes das plantas de soja observado em condições de estresse hídrico deve ter ocorrido como uma resposta das plantas às condições de menor disponibilidade hídrica. Durante a exposição aos estresses abióticos, as plantas exibem uma ampla gama de respostas em níveis molecular, genético e celular, incluindo alterações fisiológicas, morfológicas e de desenvolvimento (inibição do crescimento da parte aérea e aumento do crescimento do sistema radicular), além de alterações nas vias metabólicas (síntese de osmólitos e de enzima antioxidante e degradação de proteínas) (ROYCHOUDHURY *et al.*, 2013). Portanto, o aumento do crescimento das raízes em condições de estresse hídrico pode melhorar a aquisição de água e nutrientes das plantas, e constitui um dos mecanismos típicos de tolerância ou resistência das plantas à restrição hídrica (LI *et al.*, 2011). Por sua vez, o menor crescimento das raízes em condições de salinidade pode estar relacionado à redução da expansão, e conseqüentemente do alongamento celular, tendo em vista que o estresse salino além de promover o estresse osmótico, simulando uma condição de restrição hídrica, também promove efeito fitotóxico causado pela presença dos íons Na^+ e Cl^- no protoplasma das células (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2017).

O índice de tolerância de estresse para o comprimento total (ITE-CT) das plântulas de soja permitiu classificar as cultivares em quatro grupos de tolerância; as cultivares TMG 2383 IPRO, 98R31 IPRO, ST 797 IPRO e M 5917 IPRO foram enquadradas no grupo com maior índice de tolerância ao estresse salino, e as cultivares HO Cristalino IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO, NS 8399 IPRO e NS 7505 IPRO ficaram restritas ao grupo de menor índice de tolerância ao estresse salino (Tabela 4). O comprimento total das plântulas de todas as cultivares de soja foi inibido pelas condições de estresse hídrico e salino, o que foi evidenciado pelos valores de ITE-CT, menores que 100% (Tabelas 2 e 4). O menor crescimento das plantas de soja provocado pelos estresses abióticos é causado pela redução da expansão celular (TAIZ *et al.*, 2017). Ao reduzir a pressão de turgor, o estresse osmótico suprime a expansão e o crescimento celular, afetando o metabolismo, crescimento e estabelecimento das plântulas (JALEEL *et al.*, 2009).

O ITE-MSPA permitiu separar as cultivares de soja em quatro grupos, sendo que o grupo com maior índice de tolerância ao estresse salino foi representado por 14 cultivares de soja, e a cultivar NS 8399 IPRO ficou restrita ao grupo com menor índice de tolerância ao estresse hídrico (Tabela 4). O ITE-MSR permitiu agrupar as cultivares de soja em três grupos; as cultivares TMG 2383 IPRO, TMG 7067 IPRO, 97R50 IPRO, 98R35 IPRO e ST 777 IPRO

foram enquadradas no grupo de maior índice de tolerância ao estresse salino, ao passo que o grupo com menor índice de tolerância ao estresse salino foi representado por 10 cultivares de soja (Tabela 4). O ITE-MST permitiu classificar as cultivares de soja em quatro grupos de tolerância; o grupo com maior índice de tolerância ao estresse salino foi representado por 12 cultivares de soja, e a cultivar NS 8399 IPRO foi enquadrada no grupo com menor índice de tolerância ao estresse salino (Tabela 4).

Considerando todos os índices de tolerância ao estresse salino, o método do ranqueamento agrupou, respectivamente, 5, 9, 7 e 4 cultivares de soja como tolerantes, moderadamente tolerantes, moderadamente suscetíveis e suscetíveis ao estresse salino (Tabela 5). Para as cultivares de soja TMG 2383 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, ST 777 IPRO e M 5917 IPRO se registrou pontuação média inferior a 7,0, sendo por isso classificadas como tolerantes ao estresse salino. Por sua vez, as cultivares HO Cristalino IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO e NS 8399 IPRO foram classificadas como suscetíveis ao estresse salino, em virtude do registro quanto à pontuação média do ranqueamento (\bar{R}), maior que 19,1 (Tabela 5).

Tabela 5. Ranqueamento, pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) e desvio padrão do ranqueamento (DP_R) para os índices de tolerância ao estresse salino para as 25 cultivares de soja. UEMS/Cassilândia, 2019

Cultivar	Índice de Tolerância de Estresse (ITE)							\bar{R}	DP_R	Nível de Tolerância [†]
	G	CPA	CR	CT	MSPA	MSR	MST			
TMG 2383 IPRO	2	1	3	1	2	1	1	1,6	0,7	T
TMG 2381 IPRO	14	16	20	19	19	20	21	18,4	2,0	MS
TMG 2378 IPRO	6	11	16	13	7	11	9	10,4	2,7	MT
TMG 7067 IPRO	13	9	13	10	5	4	2	8,0	3,7	MT
TMG 7063 IPRO	9	18	15	15	3	7	4	10,1	5,0	MT
TMG 2165 IPRO	21	10	7	6	18	12	16	12,9	4,7	MT
TMG 7061 IPRO	19	14	19	18	21	8	18	16,7	3,3	MS
97R50 IPRO	7	8	6	7	14	5	8	7,9	1,8	MT
98R31 IPRO	1	2	4	4	13	9	12	6,4	4,2	T
98R35 IPRO	5	6	8	8	12	2	5	6,6	2,4	T
HO Cristalino IPRO	25	22	21	22	22	23	23	22,6	0,9	S
HO Maracaí IPRO	23	24	17	20	11	6	7	15,4	6,4	MS
HO Paranaíba IPRO	24	25	20	25	24	22	24	23,4	1,4	S
BMX Foco IPRO	11	21	22	21	22	21	22	20,0	2,6	S
BMX Bônus IPRO	15	20	14	16	17	13	19	16,3	2,0	MS
ST 777 IPRO	3	7	11	9	9	3	6	6,9	2,4	T
ST 797 IPRO	12	4	2	3	16	14	15	9,4	5,5	MT
RK 8115 IPRO	20	13	9	11	8	17	11	12,7	3,4	MT
RK 6719 IPRO	10	19	12	14	15	10	14	13,4	2,4	MS
RK 7518 IPRO	22	12	18	17	20	16	20	17,9	2,4	MS
RK 8317 IPRO	17	5	5	5	10	24	17	11,9	6,4	MT
M 5917 IPRO	4	3	1	2	1	15	3	4,1	3,1	T
NS 8399 IPRO	16	23	23	23	25	25	25	22,9	2,0	S
NS 7007 IPRO	8	17	10	12	4	18	10	11,3	3,8	MT
NS 7505 IPRO	18	15	24	24	6	19	13	17,0	4,9	MS

[†] T = refere-se a uma cultivar de soja tolerante ao estresse salino, recebendo pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 1 a 7,0; MT = cultivar moderadamente tolerante com pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 7,1 a 13,0; MS = cultivar moderadamente suscetível com pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 13,1 a 19,0; S = cultivar de soja suscetível ao estresse salino com a pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 19,1 a 25.

A análise multivariada de agrupamento hierárquico das 25 cultivares, com base em todos os índices de tolerância de estresse salino, agrupou as cultivares de soja em quatro grupos contendo 4, 8, 8 e 5 cultivares (Figura 3). O primeiro grupo representou as cultivares com os menores índices de tolerância de estresse e, portanto, foi considerado o grupo das cultivares suscetível ao estresse salino. O segundo grupo representou as cultivares com os maiores índices de tolerância ao estresse e, assim, foram classificadas como as cultivares tolerantes ao estresse salino. Por sua vez, o terceiro e quarto grupo representaram as cultivares com valores intermediários dos índices de tolerância ao estresse e, portanto, as cultivares pertencentes a esses grupos foram classificadas como moderadamente tolerante e moderadamente suscetível à salinidade.

Diante do exposto, as cultivares de soja TMG 7067 IPRO, 98R50 IPRO, 98R35 IPRO, ST 777 IPRO, TMG 2383 IPRO, M 5917 IPRO, 98R31 IPRO e ST 797 IPRO foram classificadas como as mais tolerantes ao estresse salino, ao passo que as cultivares HO Cristalino IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO e NS 8399 IPRO foram classificadas como as mais suscetíveis ao estresse salino (Figura 3).

O primeiro componente principal explica 72,59% da variação total, e de acordo com a tabela dos autos vetores, os pesos das variáveis ITE-CR (-0,513), ITE-MSR (-0,441), ITE-CT (-0,412), ITE-MST (-0,361), ITE-MSPA (-0,350) e ITE-CPA (-0,317) são negativamente altos para esse componente. Isso indica que quanto maior o valor desses índices de tolerância, menor é o escore do primeiro componente principal. Portanto, o primeiro componente principal pode ser entendido como um índice global da tolerância das cultivares de soja.

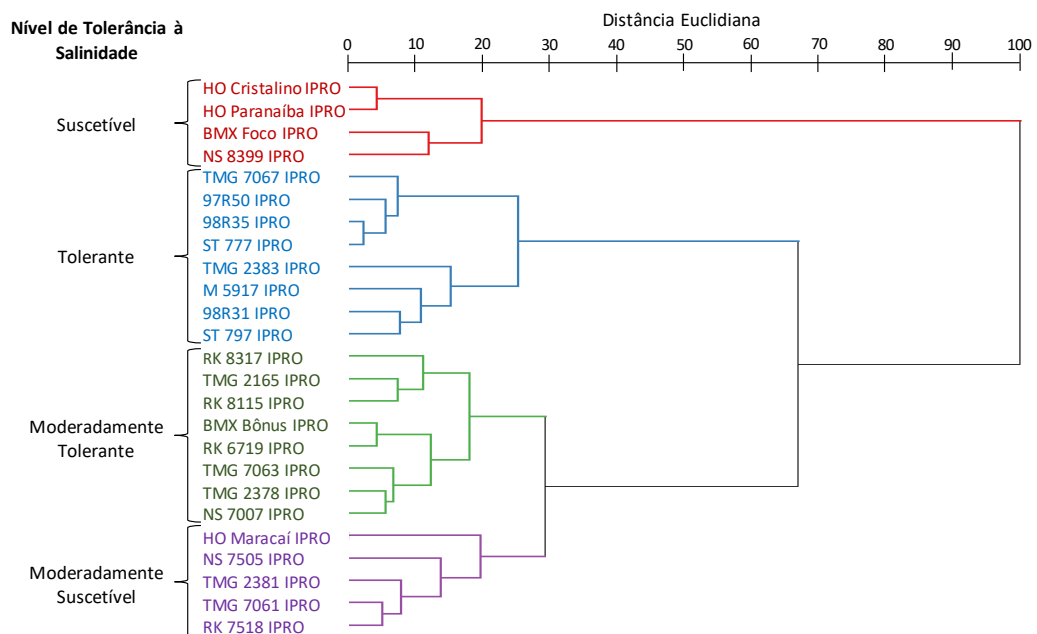


Figura 3. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico das 25 cultivares de soja com base na distância euclidiana e no método de variância mínima de Ward utilizando os índices de tolerância ao estresse salino (ITE-G, ITE-CPA, ITE-CR, ITE-CT, ITE-MSPA, ITE-MSR e ITE-MST)

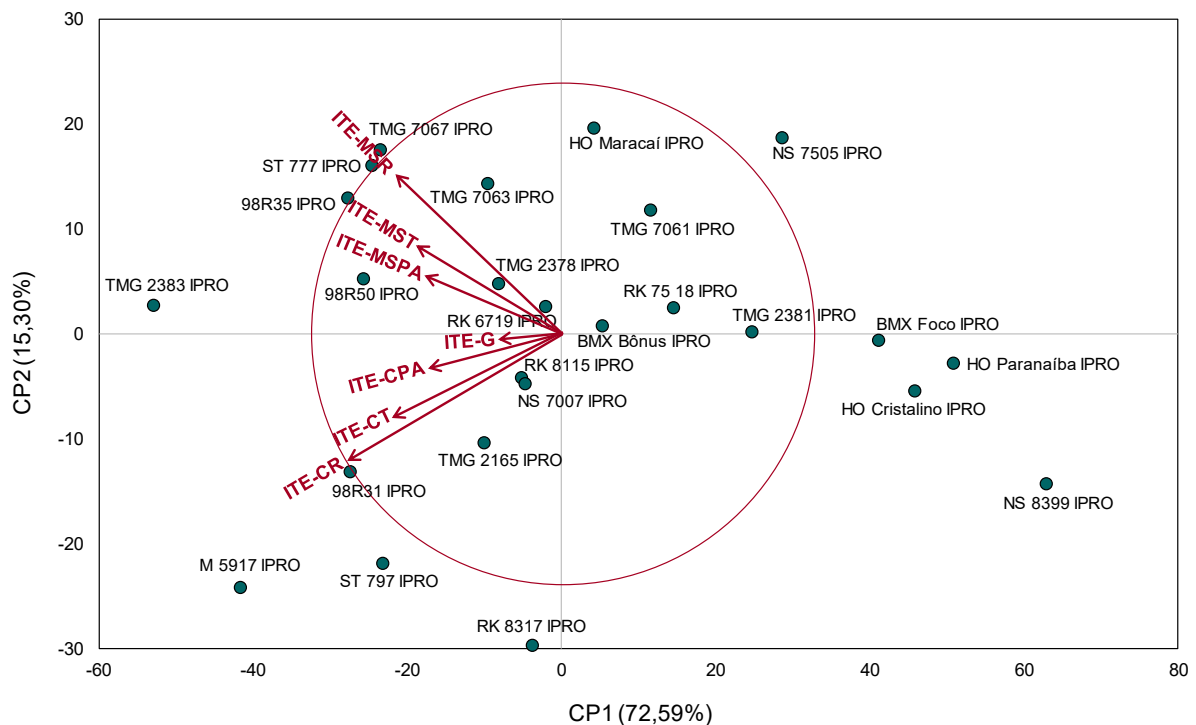


Figura 4. Diagrama biplot com base no primeiro e segundo componente principal dos índices de tolerância ao estresse salino (ITE-G, ITE-CPA, ITE-CR, ITE-CT, ITE-MSPA, ITE-MSR e ITE-MST)

O escore mais baixo no primeiro componente indica a maior tolerância das cultivares de soja à salinidade. Para as cultivares de soja TMG 2383 IPRO, M 5917 IPRO, 98R35 IPRO, 98R31 IPRO, ST 777 IPRO, TMG 7067 IPRO e ST 797 IPRO se registraram os menores escores, respectivamente, e, portanto, essas cultivares foram classificadas como tolerantes ao estresse salino. Por sua vez, os maiores escores registrados nas cultivares de soja NS 8399 IPRO, HO Paranaíba IPRO, HO Cristalino IPRO, BMX Foco IPRO e NS 7505 IPRO classificam essas cultivares de soja como suscetíveis ao estresse salino.

Em síntese, os três métodos de agrupamento utilizados (método do ranqueamento, análise de agrupamento hierárquico e análise de componente principal) classificaram as cultivares TMG 2383 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, ST 777 IPRO e M5917 IPRO como tolerantes ao estresse salino (Tabela 5, Figuras 3 e 4). Além dessas, as cultivares ST 797 IPRO e TMG 7067 IPRO também foram classificadas como tolerantes ao estresse salino pelos métodos da análise de agrupamento hierárquico e análise dos componentes principais (Figuras 3 e 4). Portanto, são as cultivares mais indicadas para serem utilizadas em condições de baixa disponibilidade de água no solo no momento da semeadura. Por outro lado, as cultivares de soja NS 8399 IPRO, HO Paranaíba IPRO, HO Cristalino IPRO e BMX Foco IPRO foram classificadas como suscetíveis ao estresse salino pelos três métodos utilizados e, portanto, essas cultivares não devem ser recomendadas para a semeadura em condições de solos salinos.

Além da restrição de água, a água salina usada na irrigação ou sais excessivos no solo podem exercer efeitos negativos sobre germinação de sementes em condições de campo,

expondo as sementes à água e tensões osmóticas (ALMODARES *et al.*, 2017). Quando o potencial de água do meio de embebição é reduzido, devido ao baixo índice de disponibilidade de água ou alta concentração de sal, a germinação pode ser atrasada ou evitada, dependendo da extensão da redução no potencial (TAIZ *et al.*, 2017). Tais alterações podem provocar reduções no crescimento e desenvolvimento das plântulas de soja, sendo que os seus efeitos dependem da cultivar (ZUFFO *et al.*, 2020a; ZUFFO *et al.*, 2020b; STEINER *et al.*, 2020).

4 CONCLUSÕES

As cultivares de soja RK 8317 IPRO, TMG 2383 IPRO, TMG 7061 IPRO, TMG 7063 IPRO e ST 777 IPRO possuem maior tolerância ao estresse hídrico, e são as mais indicadas para serem semeadas em condições de baixa disponibilidade de água no solo.

As cultivares de soja NS 8399 IPRO, NS 7007 IPRO, NS 7505 IPRO, RK 8115 IPRO e TMG 2381 IPRO possuem maior suscetibilidade ao estresse hídrico e não devem ser recomendadas para o cultivo em condições de reduzida disponibilidade de água no solo.

As cultivares TMG 2383 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, ST 777 IPRO, M5917 IPRO, ST 797 IPRO e TMG 7067 são as cultivares mais indicadas para serem semeadas em solos salinos por terem maior tolerância à salinidade, e as cultivares NS 8399 IPRO, HO Paranaíba IPRO, HO Cristalino IPRO e BMX Foco IPRO são classificadas como suscetíveis à salinidade e não devem ser recomendadas para o cultivo em solos salinos.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, v. 7, p. 1-18, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>. Acesso em: 10 dez. 2020.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R.; DOSTI, B. Effects of salt stress on germination percentage and seedling growth in sweet sorghum cultivars. *Journal of Biological Sciences*, v. 7, n. 8, p. 1492-1495, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.3923/jbs.2007.1492.1495>. Acesso em: 01 maio. 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009.
- DICKIE, A.; MAGNO, I.; GIAMPIETRO, J.; DOLGINOW, A. **Challenges and opportunities for conservation, agricultural production, and social inclusion in the Cerrado biome**. California Environmental Associates (CEA): San Francisco, CA-USA. 51p, 2016.
- FARSHADFAR, E.; POURSIHABIDI, M. M.; ABOOGHADAREH, A. R. P. Repeatability of drought tolerance indices in bread wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, v. 4, n. 13, p. 891-903, 2012. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/257208488_Repeatability_of_drought_tolerance_indices_in_bread_wheat_genotypes. Acesso em: 10 dez. 2020.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 472p, 2010.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and process**. New York: Academic Press, 1971.

IBRAHIM, E. A. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. **Journal of Plant Physiology**, v. 192, p. 38-46, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.011>. Acesso em: 10 dez. 2020.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture Biology**, v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/253008137_Drought_Stress_in_Plants_A_Review_on_Morphological_Characteristics_and_Pigments_Composition. Acesso em: 10 dez. 2020.

LI, F. L.; BAO, W. K.; WU, N. Morphological, anatomical and physiological responses of *Campylotropis polyantha* (Franch.) Schindl. seedlings to progressive water stress. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 4, p. 436-443, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.10.017>. Acesso em: 10 dez. 2020.

MUT, Z.; AKAY, H. Effect of seed size and drought stress on germination and seedling growth of naked oat (*Avena sativa* L.). **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 16, n. 4, p. 459-467, 2010. Disponível em: <http://www.agrojournal.org/16/04-08-10.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2020.

NAGHAVI, M. R.; POUR-ABOUGHADAREH, A.; KHALILI, M. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 5, n. 3, p. 388-393, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.15835/nsb539049>. Acesso em: 10 dez. 2020.

PARTHEEBAN, C.; CHANDRASEKHAR, C. N.; JEYAKUMAR, P.; RAVIKESAVAN, R.; GNANAM, R. Effect of PEG induced drought stress on seed germination and seedling characters of maize (*Zea mays* L.) genotypes. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 5, p. 1095-1104, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.119>. Acesso em: 10 dez. 2020.

PATANÈ, C.; SAITA, A.; SORTINO, O. Comparative effects of salt and water stress on seed germination and early embryo growth in two cultivars of sweet sorghum. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, p. 30-37, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2012.00531.x>. Acesso em: 10 dez. 2020.

PETROVIĆ, G.; JOVIČIĆ, D.; NIKOLIĆ, Z.; TAMINDŽIĆ, G.; IGNJATOV, M.; MILOŠEVIĆ, D.; MILOŠEVIĆ, B. Comparative study of drought and salt stress effects on

germination and seedling growth of pea. **Genetika**, v. 48, n. 1, p. 373-381, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2298/gensr1601373p>. Acesso em: 10 dez. 2020.

ROYCHOUDHURY, A.; PAUL, S.; BASU, S. Cross-talk between abscisic acid-dependent and abscisic acid-independent pathways during abiotic stress. **Plant Cell Reports**, v. 32, p. 7, p. 985-1006, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00299-013-1414-5>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SHAHI, C. V.; BARGALI, K.; BARGALI, S. S. How seed size and water stress affect the seed germination and seedling growth in wheat varieties? **Current Agriculture Research Journal**, v. 3, n. 1, p. 60-68, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.12944/carj.3.1.08>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SOARES, M. M.; SANTOS JUNIOR, HAMILTON C.; SIMÕES, M. G.; PAZZIN, D.; SILVA, L. J. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 370-378, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4535357>. Acesso em: 10 dez. 2020.

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; ZOZ, T.; ZOZ, A.; ZOZ, J. Drought tolerance of wheat and black oat crops at early stages of seedling growth. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 576-586, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/rca16118>. Acesso em: 10 dez. 2020.

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; TEODORO, P. E.; AGUILERA, J. G.; TEODORO, L. P. R. Multivariate adaptability and stability of soya bean genotypes for abiotic stresses. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 00, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jac.12446>. Acesso em: 01 maio. 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

ZOZ, T.; STEINER, F.; GUIMARÃES, V. F.; CASTAGNARA, D. D.; MEINERZ, C. C.; FEY, R. Peroxidase activity as an indicator of water deficit tolerance in soybean cultivars. **Bioscience Journal**, 29, Supplement 1, p. 1664-1671, 2013.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; SOUSA, T. de O.; AGUILERA, J. G.; TEODORO, P. E.; ALCÂNTARA NETO, F. de.; RATKE, R. F. How does water and salt stress affect the germination and initial growth of Brazilian soya bean cultivars? **Journal of Agronomy and Crop Science**, n. 206, p. 837-850, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jac.12434>. Acesso em: 01 maio. 2021.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; AGUILERA, J. G.; TEODORO, P. E.; TEODORO, L. P. R.; BUSCH, A. (2020). Multi-trait stability index: A tool for simultaneous selection of soya bean genotypes in drought and saline stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, n. 206, p. 1-8, 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jac.12409>. Acesso em: 01 maio. 2021.