



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**POTENCIAL DE TOLERÂNCIA À SECA DE GENÓTIPOS DE
TRIGO E SOJA EM CONDIÇÃO DE CERRADO**

FÁBIO PEDRO DA SILVA BATISTA

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF
JUNHO/2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**POTENCIAL DE TOLERÂNCIA À SECA DE GENÓTIPOS DE TRIGO
E SOJA EM CONDIÇÃO DE CERRADO**

FÁBIO PEDRO DA SILVA BATISTA

ORIENTADORA: MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS
CO-ORIENTADOR: WALTER QUADROS RIBEIRO JÚNIOR

TESE DE DOUTORADO
EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 060D/2017

BRASÍLIA/DF
JUNHO/2017



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**POTENCIAL DE TOLERÂNCIA À SECA DE GENÓTIPOS DE TRIGO
E SOJA EM CONDIÇÃO DE CERRADO**

FÁBIO PEDRO DA SILVA BATISTA

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA.**

APROVADA POR:

**MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS, Ph.D. (ORIENTADORA)/Faculdade de
Agronomia e Medicina Veterinária (FAV – UnB)/CPF: 002.094.438-12. e-mail:
lucrecia@unb.br**

**MARCELO FAGIOLI, Dr. (MEMBRO INTERNO)/Faculdade de Agronomia e
Medicina Veterinária (FAV – UnB)/CPF: 729.409.306-78. e-mail: www.mfagioli@unb.br**

**CRISTIANE ANDRÉA DE LIMA, Dra. (MEMBRO EXTERNO)/Pesquisadora PNPB
(Embrapa – Cerrados/UnB)/ CPF: 007.117.611-08. e-mail: agro.cristiane@gmail.com**

**ANDRÉ FERREIRA PEREIRA, Dr. (MEMBRO EXTERNO)/Pesquisador. (Embrapa –
Cerrados)/CPF: 898.027.301-06. e-mail: andre.ferreira@embrapa.br**

**OMAR CRUZ ROCHA, Dr. (MEMBRO EXTERNO)/Pesquisador (Embrapa –
Cerrados)/CPF 579.134.475-91. e-mail: omar.rocha@embrapa.br**

BRASÍLIA/DF, 09 de JUNHO de 2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

Batista, Fábio Pedro da Silva.

Potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo e soja em condição de Cerrado. /

Fábio Pedro da Silva Batista; Orientação de Maria Lucrecia Gerosa Ramos e

Co-orientação de Walter Quadros Ribeiro Júnior. – Brasília, 2017.

180 p.

Tese de Doutorado (D) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2017.

1. *Triticum aestivum*. 2. *Glycine max*. 3. Trinexapac-ethyl. 4. Potássio. 5. Cerrado. 6. Estresse hídrico. I. Ramos, M. L. G. II Ph.D.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BATISTA, F. P. S. **Potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo e soja em condição de cerrado**. Brasília: faculdade de agronomia e medicina veterinária, universidade de Brasília, 2017, 180 p. Tese de Doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Fábio Pedro da Silva Batista.

TÍTULO DA TESE: Potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo e soja em condição de cerrado.

GRAU: Doutor ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Fábio Pedro da Silva Batista

CPF: 010.729.694 – 24

Quadra 09, Casa 04, Etapa “D”, Valparaíso I.

72876 – 445 – Valparaíso/GO – Brasil.

Tel. (061) 98129 – 2932

e-mail: pedro.fabio@gmail.com

Dedico este trabalho aos meus amados pais:

Maria Antônia da Silva Batista e José Pedro Batista Sobrinho

***In memoriam:** Cassimiro P. Batista; Maria B. Fidelis de Moura; Jocelina Freitas;
Severina Faustina (vovó); Alexandre Silveira e Kelly de França.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus e ao Meu Senhor Salvador Jesus Cristo que mediante ação do Espírito Santo tem sido autor e consumidor da minha fé e cujas mãos abençoaram esse projeto.

Em segundo lugar agradeço a todos que contribuíram intelectualmente para a realização desse projeto:

Aos meus orientadores, Dra. Maria Lucrécia Gerosa Ramos e o Dr. Walter Quadros Ribeiro Júnior, os quais me conduziram com excelência e sabedoria.

A Dra. Cristiane por sua ilustre contribuição intelectual e parceria nos trabalhos em campo e no laboratório.

Ao pesquisador Joaci por dispor de seu valioso tempo e me ensinar às estatísticas encontradas presentes nesse trabalho.

Ao pesquisador André por sua disponibilidade em ajudar na interpretação dos resultados bem como ao demais integrantes da equipe da soja pela oportunidade e por depositarem em mim confiança na condução do experimento.

À toda equipe técnica de estagiários e de funcionários da Embrapa Cerrados que investiram seu tempo e empenho nesse projeto.

À Universidade de Brasília (UnB) e a Embrapa Cerrados, instituições que apoiaram e financiaram o presente trabalho.

Agradeço aqueles que contribuíram imensamente para o meu desenvolvimento pessoal e profissional:

À Dra. Vivian Loges (UFRPE), Dra. Izabel Galdino (UFRPE), Mary e Jandelson Gouveia.

Agradeço àqueles os quais tenho orgulho de chamar de família e cujas palavras, ações ou lembranças me fortaleceram dia após dia para encarar os desafios desse projeto:

À minhas tias-mães: Maria José (Mezé), Severina Batista (Naza) e Ladjane (Di).

À minhas tias Socorro (de tio Marinho), Beronice (Teteia), Beronete (Tetinha) e Jozinete (Zinete); aos meus tios Amaro Pedro (Marinho) e Antônio (Tonho).

Aos meus irmãos: Beroaldo Jr., Verdiana Freitas, João Neto, Beronete (Neta), Poliana, Hellen, Roberta e Marcos; ao Elisson, Rômulo César e Werdiana Batista; à Maria Anunciada (Nanci), Francisco (Chico), Flávio, Gustavo e Antônio Batista; ao Givaldo, Eduardo e Pedro; ao Wesley, Eduardo (Husky), Maurício, Loraine, Martha (martinha).

Agradeço aos meus amados Tatiana e Júlio Cezar pelos momentos que passamos juntos e pelos que ainda passaremos; vocês são o raio de luz, de esperança e de alegria que cruzou o meu caminho.

Finalmente, agradeço aos meus amigos (irmãos), aqueles sem os quais a vida não teria sentido algum, e cujos valiosos momentos vivenciados me proporcionaram ânimo para vencer a rotina:

Ao Sr. Benjamin Soares, Rafael Phedhues, Wallison e Dyorgge; ao Bruno Rafael, Orlando de Andrade, Bárbara Passos, Adja Maria, Fábio Henrique, Félix Iroshi (Júnior) e Wilks Henrique; à irmã Vera, Wilks e Wilka; ao Báu Cícero e Mariquinha; à Geovana, Martha (Nina), Moisés (Bosa), Josias (Doda), Marcos e Marcelo.

“Olhem de novo para o ponto. É ali. É a nossa casa. Somos nós. Nesse ponto, todos aqueles que amamos, que conhecemos, de quem já ouvimos falar, todos os seres humanos que já existiram, vivem ou viveram as suas vidas. Toda a nossa mistura de alegria e sofrimento, todas as inúmeras religiões, ideologias e doutrinas econômicas, todos os caçadores e saqueadores, heróis e covardes, criadores e destruidores de civilizações, reis e camponeses, jovens casais apaixonados, pais e mães, todas



as crianças, todos os inventores e exploradores, professores de moral, políticos corruptos, “superastros”, “líderes supremos”, todos os santos e pecadores da história da nossa espécie, ali – num grão de poeira suspenso num raio de sol. A Terra é um palco muito pequeno em uma imensa arena cósmica. Pensem nos rios de sangue derramados por todos os generais e imperadores para que, na glória do triunfo, pudessem ser os senhores momentâneos de uma fração desse ponto. Pensem nas crueldades infinitas cometidas pelos habitantes de um canto desse *pixel* contra os habitantes mal distinguíveis de algum outro canto, em seus frequentes conflitos, em sua ânsia de recíproca destruição, em seus ódios ardentes. Nossas atitudes, nossa pretensa importância, a ilusão de que temos uma posição privilegiada no Universo, tudo é posto em dúvida por esse ponto de luz pálida. O nosso planeta é um pontinho solitário na grande escuridão cósmica circundante. Em nossa obscuridade, em meio a toda essa imensidão, não há nenhum indício de que, de algum outro mundo, virá socorro que nos salve de nós mesmos. A Terra é, até agora, o único mundo conhecido que abriga a vida. Não há nenhum outro lugar, ao menos no futuro próximo, para onde nossa espécie possa migrar. Visitar, sim. Goste-se ou não, no momento a Terra é o nosso posto [...] o pálido ponto azul, o único lar que conhecemos”.

Carl Sagan

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1	A CULTURA DO TRIGO	1
1.2	A CULTURA DA SOJA	2
1.3	O ESTRESSE HÍDRICO NO TRIGO E NA SOJA	4
2	OBJETIVOS	6
2.1	GERAL	6
2.2	ESPECÍFICOS	6
3	HIPÓTESES	6
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1	HISTÓRICO E ECONOMIA DA CULTURA DO TRIGO	7
4.2	HISTÓRICO E ECONOMIA DA CULTURA DA SOJA	9
4.3	IMPACTO DA SECA NA ECONOMIA MUNDIAL	10
4.3.1	Demanda de água pela cultura do trigo	10
4.3.2	Demanda de água pela cultura da soja	14
4.4	ASPECTOS MORFOFISIOLÓGICOS DE PLANTAS SOB ESTRESSE HÍDRICO	18
4.4.1	Conceito de estresse hídrico	18
4.4.2	Mecanismos de defesa das plantas contra o estresse hídrico	20
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
1	CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE TRIGO SUBMETIDOS A ESTRESSE HÍDRICO	48
1.1	RESUMO	48
1.2	INTRODUÇÃO	50
1.3	MATERIAL E MÉTODOS	52
1.3.1	Caracterização edafoclimáticas	52
1.3.2	Área e delineamento experimental	54
1.3.3	Características dos genótipos	54
1.3.4	Adubação e plantio	55
1.3.5	Regime hídrico	56
1.3.6	Avaliações morfofisiológicas e laboratoriais	57
1.3.7	Análise estatística	61
1.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
1.4.1	Análise de variância	62
1.4.2	Produtividade e eficiência do uso de água aplicada (EUAA)	62
1.4.3	Peso de mil grãos (PMG) e peso por hectolitro (PH)	65
1.4.4	Número de espigas	67
1.4.5	Comprimento da espiga e da arista	68
1.4.6	Comprimento do pedúnculo floral	70
1.4.7	Perfilhamento e diâmetro dos perfilhos	71
1.4.8	Medidas da altura das plantas	73
1.4.9	Teores de clorofila	74
1.4.10	Concentração de prolina na folha bandeira	78
1.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS	79
1.6	CONCLUSÕES	80
1.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
2	CAPÍTULO II: MORFOFISIOLOGIA E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE SOJA EM FUNÇÃO DO REGIME HÍDRICO E DA APLICAÇÃO DE REGULADOR DE CRESCIMENTO NA REGIÃO DO CERRADO	89

2.1	RESUMO	89
2.2	INTRODUÇÃO.....	91
2.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	94
2.3.1	Caracterização edafoclimáticas	94
2.3.2	Área e delineamento experimental.....	96
2.3.3	Características dos genótipos	96
2.3.4	Adubação e plantio.....	97
2.3.5	Regime hídrico	98
2.3.6	Avaliações morfofisiológicas e laboratoriais	99
2.3.7	Análise estatística.....	102
2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	103
2.4.1	Análise de variância	103
2.4.2	Produtividade e peso de mil grãos (PMG)	104
2.4.3	Eficiência do uso de água aplicada (EUAA)	106
2.4.4	Determinação das alturas das plantas.....	107
2.4.5	Teores de clorofila	111
2.4.6	Concentração de prolina nas folhas	119
2.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS	122
2.6	CONCLUSÕES.....	123
2.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
3	CAPÍTULO III: MORFOFISIOLOGIA E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE SOJA EM FUNÇÃO DO REGIME HÍDRICO E DA SUPLEMENTAÇÃO FOLIAR COM POTÁSSIO NA REGIÃO DO CERRADO.	133
3.1	RESUMO	133
3.2	INTRODUÇÃO.....	135
3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	138
3.3.1	Caracterização edafoclimáticas	138
3.3.2	Área e delineamento experimental.....	140
3.3.3	Características dos genótipos	140
3.3.4	Adubação e plantio.....	141
3.3.5	Regime hídrico	142
3.3.6	Avaliações morfofisiológicas e laboratoriais	143
3.3.7	Análise estatística.....	146
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	147
3.4.1	Análise de variância	147
3.4.2	Produtividade e peso de mil grãos (PMG)	148
3.4.3	Eficiência do uso de água aplicada (EUAA)	150
3.4.4	Medidas das alturas das plantas	151
3.4.5	Teores de clorofilas	153
3.4.6	Concentração de prolina nas folhas	161
3.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS	163
3.6	CONCLUSÕES.....	164
3.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
4	CONCLUSÕES GERAIS	172
5	ANEXOS.....	173

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 Caracterização química do solo da área experimental de cultivo do trigo testados em diferentes lâminas de irrigação.....	56
Tabela 1.2 Percentuais de umidade (U%) em função das profundidades e das lâminas aplicadas na área experimental de cultivo do trigo.....	58
Tabela 1.3 Valores de testes de hipóteses ($F < Pr$) para cada parâmetro avaliado em genótipos de trigo tratados com lâminas decrescentes de irrigação..	62
Tabela 1.4 Peso por hectolitro(PH) dos genótipos de trigo testados em diferentes lâminas de água aplicadas..	66
Tabela 1.5 Número de espigas por metro quadrado dos genótipos de trigo testados em diferentes lâminas de água aplicadas..	67
Tabela 1.6 Comprimento das aristas (cm) dos genótipos de trigo testados em diferentes lâminas de água aplicadas.....	69
Tabela 1.7 Comprimento do pedúnculo floral (cm) dos genótipos de trigo testados em diferentes lâminas de água aplicadas..	70
Tabela 2.1 Caracterização química do solo da área experimental de cultivo da soja testados em diferentes lâminas de irrigação.....	98
Tabela 2.2 Percentuais de umidade (U%) em função das profundidades e das lâminas aplicadas na área experimental de cultivo da soja..	100
Tabela 2.3 Valores de testes de hipóteses ($F < Pr$) para cada parâmetro avaliado em função dos genótipos de soja, dos tratamentos com aplicação foliar de regulador de crescimento Trinexapac-ethyl, das lâminas de água aplicada e de suas interações.	103
Tabela 2.4 Produtividade (kg ha^{-1}) dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas.....	104
Tabela 2.5 Peso de mil grãos (g) dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas.....	105
Tabela 2.6 Peso de mil grãos (g) dos genótipos de soja em função da aplicação foliar do regulador de crescimento Trinexapac-ethyl em diferentes doses..	106
Tabela 2.7 Eficiência do uso de água aplicada ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas.....	107
Tabela 2.8 Altura de plantas (cm) dos genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de florescimento em função das lâminas de água aplicadas.....	108
Tabela 2.9 Altura (cm) dos genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas.....	108
Tabela 2.10 Altura (cm) dos genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função da aplicação foliar do regulador de crescimento Trinexapac-ethyl em diferentes doses.....	109
Tabela 2.11 Teores de clorofilas totais (a+b) dos genótipos de soja medidos no estágio fenológico de florescimento em função das lâminas de água aplicadas.....	111

Tabela 2.12 Teores de clorofilas totais (a+b) dos genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas.	112
Tabela 2.13 Teores de clorofila <i>a</i> dos genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas.	114
Tabela 2.14 Teores de clorofila <i>b</i> em genótipos de soja medidos no estágio fenológico de florescimento em função das lâminas de água aplicadas.	115
Tabela 2.15 Teores de clorofila <i>b</i> em genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas.	116
Tabela 2.16 Razão clorofila <i>a/b</i> em genótipos de soja avaliada no estágio fenológico do florescimento em função das lâminas de água aplicadas.	117
Tabela 2.17 Razão clorofila <i>a/b</i> em genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas.	118
Tabela 2.18 Razão clorofila <i>a/b</i> em genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas aplicadas e da aplicação foliar de regulador de crescimento Trinexapac-ethyl em diferentes doses.	119
Tabela 2.19 Concentração de prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$) nas folhas dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas.	120
Tabela 2.20 Concentração de prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$) nas folhas dos genótipos de soja em função da aplicação foliar de regulador de crescimento Trinexapac-ethyl em diferentes doses.	121
Tabela 3.1 Caracterização química do solo da área experimental de cultivo da soja testados em diferentes lâminas de irrigação.	141
Tabela 3.2 Percentuais de umidade (U%) em função das profundidades e das lâminas aplicadas na área experimental de cultivo da soja.	144
Tabela 3.3 Valores de testes de hipóteses ($F < P$) para cada parâmetro avaliado em função dos genótipos de soja, dos tratamentos com suplementação foliar de K_2CO_3 , das lâminas de água aplicada e de suas interações.	147
Tabela 3.4 Produtividade (kg ha^{-1}) dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas.	148
Tabela 3.5 Peso de mil grãos (g) dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas.	149
Tabela 3.6 Eficiência do uso de água aplicada ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) dos genótipos de soja em função lâminas de água aplicadas.	150
Tabela 3.7 Altura (cm) dos genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de florescimento em função das lâminas de água aplicadas.	151
Tabela 3.8 Altura (cm) dos genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas.	152
Tabela 3.9 Teores de clorofilas totais medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas.	154
Tabela 3.10 Teores de clorofila <i>a</i> dos genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas.	156

Tabela 3.11 Teores de clorofila <i>b</i> em genótipos de soja medidos no estágio fenológico de florescimento em função da suplementação foliar com K ₂ CO ₃ em diferentes doses e das lâminas de água aplicadas..	157
Tabela 3.12 Teores de clorofila <i>b</i> em genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas..	158
Tabela 3.13 Razão clorofila <i>a/b</i> genótipos de soja avaliada estágio fenológico do florescimento em função da suplementação foliar de K ₂ CO ₃ em diferentes doses e da lâminas de água aplicada..	159
Tabela 3.14 Razão clorofila <i>a/b</i> em genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas..	160
Tabela 3.15 Concentração de prolina (μmol g ⁻¹) nas folhas dos genótipos de soja em função das lâminas água aplicadas..	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Dados climatológicos e dados relacionados à necessidade hídrica no ciclo da cultura do trigo observados no ano de 2014..	53
Figura 1.2 Regressões da produtividade de 10 genótipos e uma mistura de genótipos de trigo.	63
Figura 1.3 Eficiência do uso de água aplicada (EUAA) em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b)..	64
Figura 1.4 Peso de mil grãos em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b).	65
Figura 1.5 Comprimento da espiga (cm) em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b).	68
Figura 1.6 Número de perfilhos por metro linear em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b).	71
Figura 1.7 Diâmetro de perfilhos por metro linear em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b).	72
Figura 1.8 Medidas das alturas em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b).	74
Figura 1.9 Teores de clorofila totais em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b).	75
Figura 1.10 Teores de clorofila <i>a</i> em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b).	76
Figura 1.11 Teores de clorofila <i>b</i> em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b).	76
Figura 1.12 Teores de clorofila <i>a/b</i> em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b).	77
Figura 1.13 Concentração de prolina em função da lâmina de água fornecida aos genótipos de trigo.	78
Figura 2.1 Dados climatológicos e dados relacionados à necessidade hídrica no ciclo da cultura da soja observados no ano de 2014.	95
Figura 2.2 Teores de clorofilas totais em genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das doses regulador de crescimento Trinexapac-ethyl.	112
Figura 2.3 Teores de clorofila <i>a</i> medidos no estágio fenológico de florescimento em função dos genótipos de soja (a) e das lâminas de água aplicadas (b).	113
Figura 2.4 Teores de clorofila <i>a</i> nos genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das doses de regulador de crescimento Trinexapac-ethyl.	115
Figura 3.1 Dados climatológicos e dados relacionados à necessidade hídrica no ciclo da cultura da soja observados no ano de 2014.	139

Figura 3.2 Teores de clorofilas totais medidos no estágio fenológico de florescimento em função dos genótipos de soja (a) e das lâminas de água aplicada (b).	153
Figura 3.3 Teores de clorofilas <i>a</i> medidos no estágio fenológico de florescimento em função dos genótipos de soja (a) e das lâminas de água aplicada (b)..	155
Figura 5.1A Distribuição geográfica dos grupos de maturidade relativa de soja no Brasil em função da latitude.	173
Figura 5.2A Movimentos estomáticos.	173
Figura 5.3A Rota biossintética, conversões e inativação de giberelinas.	174
Figura 5.4A Síntese de prolina.....	175
Figura 5.5A Geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) em condições do estresse hídrico.	175
Figura 5.6A O ciclo de Calvin e as espécies reativas de oxigênio (ROS).	175
Figura 5.7A Mecanismo de degradação das clorofilas.	176
Figura 5.8A Imagem de satélite do campo experimental dos projetos de trigo e soja na Embrapa Cerrados.....	176
Figura 5.9A Croqui da área de plantio de trigo do projeto de tolerância à seca.	177
Figura 5.10A Croqui da área de plantio de soja do projeto de tolerância à seca com aplicação de regulador de crescimento (Trinexapac-ethyl).	177
Figura 5.11A Croqui da área de plantio de soja do projeto de tolerância à seca com suplementação foliar com carbonato de potássio (K ₂ CO ₃).	178
Figura 5.12A Sistema de irrigação.	178
Figura 5.13 A Fases fenológicas e avaliações realizadas na cultura do trigo.	179
Figura 5.14A Fases fenológicas e avaliações realizadas na cultura da soja.	179
Figura 5.15A Manejos e análises em geral.	179
Figura 5.16A Análise de prolina.	180
Figura 5.17A Efeito do regulador de crescimento na cultura da soja. O Trinexapac-ethyl promoveu alongamento na região apical na cultura da soja.	180

RESUMO GERAL

O trigo e soja são plantas com excelente constituição genética e adaptabilidade devido a sua elevada interação genótipo x ambiente, no entanto, o estresse hídrico é um dos fatores que mais limita o desenvolvimento e produtividade dessas plantas no Cerrado. O objetivo deste estudo é avaliar o potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo e soja em função do regime hídrico e o efeito do regime hídrico associado ao uso de reguladores de crescimento (Trinexapac-ethyl) e osmótico (K_2CO_2) na soja. Os três experimentos foram conduzidos na Embrapa Cerrados. No primeiro experimento, realizado com o trigo, o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, nas parcelas foram alocados os genótipos (Aliança, BR 18, BRS 254, BRS 264, Brilhante, CPAC 0544, PF 0100660, PF 080492, PF 37, PF 62 e a Mistura) e nas subparcelas as lâminas de irrigação (533, 438, 297, 202 e 184 mm). Na soja tratada com o regulador de crescimento (segundo experimento) o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas sub subdivididas, tendo por parcelas os genótipos de soja BRS 6980, BRS 7380RR e BRS 7580; as subparcelas, constituídas de aplicações foliares de Trinexapac-ethyl (1,02, 2,04 e 4,08 litros ha^{-1} e a testemunha) e as sub subparcelas constituídas das lâminas de irrigação (421, 400, 264, 207 e 174 mm). Na soja tratada com potássio via foliar (terceiro experimento) o delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas sub subdivididas, tendo por parcelas os genótipos BRS 6980, BRS 7380RR e BRS 7580; as subparcelas, constituídas de aplicações foliares de K_2CO_2 (0,98 litros ha^{-1} , 1,57 litros ha^{-1} e testemunha) e a sub subparcela constituída das lâminas de irrigação (421, 400, 264, 207 e 174 mm). O regime hídrico afetou o desempenho agrônomo e as características morfofisiológicas dos genótipos de trigo e de soja avaliados. O genótipo de trigo PF 080492 apresentou melhor desempenho agrônomo (elevada produtividade, peso por hectolitro – PH; e Eficiência do Uso de Água Aplicada – EUAA) em condições de lâminas de irrigação mais elevadas e sob déficit hídrico. O genótipo de soja BRS 6980 apresentou maior produtividade e EUAA em condições de déficit hídrico (no segundo e terceiro experimento). A aplicação do Trinexapac-ethyl na soja elevou o porte, o peso de mil grãos (PMG), os teores de prolina e estabilizou a razão clorofila *a/b* dos genótipos. A suplementação foliar com K_2CO_2 pode minimizar os efeitos do déficit hídrico em genótipos de soja dependendo da interação do genótipo com a dose do produto.

Palavras chave: *Triticum aestivum*, *Glycine max*, estresse hídrico, Trinexapac-ethyl, prolina, potássio, Cerrado.

ABSTRACT

Wheat and soybean are plants with excellent genetic constitution and adaptability due to their high interaction genotype x environment. However, water stress is one of the factors that most limits the development and productivity of these plants in the Cerrado region. The objective of this study was to evaluate the potential of drought tolerance of wheat and soybean genotypes as a function of the water regime and the effect of the water regime associated to the use of growth regulators (Trinexapac-ethyl) and osmotic (K_2CO_2) in soybean. The three experiments were conducted at Embrapa Cerrados. In the first experiment, with wheat, the experimental design was a randomized complete block with subdivided plots, in the plots the genotypes were allocated (Aliança, BR 18, BRS 254, BRS 264, Brilhante, CPAC 0544, PF 0100660, PF 080492, PF 37, PF 62 and Mixture) and in the subplots the irrigation regimes (533, 438, 297, 202 and 184 mm). In the second experiment, soybean genotypes BRS 6980, BRS 7380RR and BRS 7580 were plotted in the soybean treated with the growth regulator using a randomized complete block design with sub subdivided plots. The subplots consisted of foliar applications of Trinexapac-ethyl (1.02, 2.04 and 4.08 liters ha^{-1} and the control) and the sub-plots consisted of irrigation regimes (421, 400, 264, 207 and 174 mm). In the Third experiment, soybean was treated with potassium via leaf, the design was randomized blocks with sub subdivided plots, with the BRS 6980, BRS 7380RR and BRS 7580 genotypes; (0.91 liters ha^{-1} , 1.57 liters ha^{-1} and control) and the subplot constituted from the irrigation regimes (421, 400, 264, 207 and 174 mm). The water regime affected the agronomic performance and the morphophysiological characteristics of the wheat and soybean genotypes evaluated. The wheat genotype PF 080492 presented better agronomic performance (high productivity, weight per hectolitre - PH and Efficiency of Applied Water Use - USAA) under conditions of higher irrigation levels and under water deficit. The genotype of soybean BRS 6980 showed higher productivity and USAA under conditions of water deficit (in the second and third experiment). The application of Trinexapac-ethyl in soybean increased the size, the weight of a thousand grains (PMG), the contents of proline and stabilized the chlorophyll a/b ratio of the genotypes. Foliar supplementation with K_2CO_2 can minimize the effects of water deficit on soybean genotypes depending on the interaction of the genotype with the product dose.

Key words: *Triticum aestivum*, *Glycine max*, water stress, proline, Trinexapac-ethyl, potassium, Cerrado.

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 A CULTURA DO TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma planta herbácea pertencente à classe Liliopsida (Monocotiledônea), Família Poaceae (gramínea), tribo Triticeae (TRACE, 2017). A planta resultou do cruzamento de espécies silvestres de gramíneas existentes no crescente fértil na região dos rios Tigre e Eufrates (atual Iraque), por volta de 10.000 a 15.000 a.C (BOSCHINI, 2010).

Em razão do seu elevado poder adaptativo e dos muitos genes constitutivos, esta planta pôde ser cultivada em uma larga faixa de latitude (Hemisfério Norte e Sul até em regiões intertropicais) e de altitude (regiões litorâneas até 3000 m) (CASTRO, 1999).

O trigo é o segundo cereal mais consumido no mundo (logo após o milho) o terceiro e quarto são, respectivamente, o arroz e a soja. Esse cereal é a matéria prima utilizada na produção de farinhas que são empregadas para a produção de pão, bolo, biscoitos e massas em geral, além de também poder ser empregado na produção de ração animal (IGC, 2016; SCHEUER et al., 2011).

O Brasil possui aproximadamente 47 milhões de hectares destinados à agricultura, dos quais cerca de 4% são utilizados para o cultivo do trigo. Os principais centros econômicos no país são a Região Sul, Centro-Sul e o Brasil Central. Nessa última, a triticultura vem se expandindo devido a menor ocorrência de pragas e doenças e, também, em razão das diversas tecnologias empregadas (o melhoramento de cultivares e o cultivo irrigado durante as estações secas) que, não obstante, acaba elevando os custos de produção. O trigo de safrinha, cultivado após a safra principal (como a soja e em sistema plantio direto) tem sido limitado devido ao estresse hídrico decorrente dos veranicos e ao intenso ataque de brusone, além disso, o cereal também apresenta competição com o milho e sorgo nessa época (SOBER, 2010; BATISTA, 2011; EMBRAPA, 2011).

Assim, mesmo sendo uma planta de excelente constituição genética, o desempenho produtivo do trigo é altamente sensível às variações climáticas e ambientais, podendo ser acometido por uma ampla gama de estresses abióticos (seca, alta salinidade, e frio) que afetam significativamente o crescimento das plantas e a sua produtividade em todo o globo.

Estima-se que até 2050 a demanda global por trigo vai aumentar para 60%, contudo fatores relacionados a estresses abióticos e bióticos podem causar perdas de 29% em sua produção (PORTER; SEMENOV, 2005; LATA; PRASAD, 2011; MANICKAVELU et al., 2012).

Por essa razão há necessidade de desenvolvimento de pesquisa em programas de melhoramento genético visando desenvolvimento de genótipos que possuam mecanismos de tolerância à seca aliados a outras características como o rendimento dos grãos, o número de perfilhos férteis, número de grãos por espiga, peso de mil grãos, comprimento do pedúnculo, altura da planta, comprimento da espiga, número de grãos por espiga e peso de grãos por espiga (NOURI-GANBALANI et al., 2009).

1.2 A CULTURA DA SOJA

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma planta herbácea e pertence à classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae (TRACE, 2017). Originou-se na costa leste da Ásia de onde ocorreu a sua dispersão geográfica para o Norte da China, Coréia e Japão (século III d.C) e para o ocidente (entre os séculos XIV e XIX) (NEVES, 2011; CÂMARA, 2016).

No Brasil, a produção da soja em nível comercial teve início no Rio Grande do Sul e sua adaptação ao Brasil Central ocorreu devido à introdução do período juvenil mais longo nessa cultura, o que ampliou a sua adaptabilidade para condições fotoperiódicas mais abrangentes, possibilitando o plantio em regiões de baixas latitudes. Isso ocorre porque a soja floresce em dias curtos (fotoperíodo crítico médio fica em torno de 13,5 horas de luz), no entanto, cultivares com período juvenil longo são menos sensíveis ao fotoperíodo e permanecem na fase vegetativa por mais tempo que a maioria das cultivares tradicionais, com período juvenil curto (que florescem mais cedo), assim, a incorporação de tal característica viabilizou a exploração da cultura da soja (SEDIYAMA, 2009, MONTEIRO, 2009).

Atualmente as regiões mais produtoras de soja no Brasil são: Centro-Oeste (50,15 mil toneladas), Sul (40,02 mil toneladas), Nordeste (9,44 mil toneladas), Sudeste (8,08 mil toneladas) e Norte (5,33 mil toneladas) (CONAB, 2017).

Os grãos de soja proporcionam uma excelente fonte de proteína (40%), óleo (20%) e carboidrato (30%) que irão constituir uma grande variedade de alimentos, tais como tofu, leite

de soja, molho de soja, farinha de soja, cujas características tradicionais dependem principalmente das condições climáticas, das variedades e das condições de processamento (ESTEVEZ et al., 2010; SALDIVAR et al., 2011; YANG; JAMES 2013; YOSHIKAWA et al., 2014).

O aumento da demanda fez dessa cultura uma das grandes responsáveis pelo aproveitamento de áreas inexploradas no Brasil, principalmente nos Cerrados, contribuindo como um dos fatores de modernização da agricultura (NEVES, 2011). Assim, com o advento das chamadas culturas energéticas, mais especificamente a cana-de-açúcar, que está inicialmente deslocando as pastagens degradadas, o cultivo de grãos pode também ser deslocado para áreas marginais e com limitações abióticas.

A expansão da soja pode ser afetada por limitações decorrentes de fatores abióticos, haja vista que a adaptação de diferentes genótipos a determinadas regiões depende das exigências fotoperiódicas, térmicas e hídricas (MARQUES, 2010).

A disponibilidade de água para a cultura da soja é importante em todos os estádios de desenvolvimento da cultura (germinação, emergência, floração e enchimento de grãos) destacando-se o de desenvolvimento dos grãos, pois é o que mais impacta no seu rendimento. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto o déficit hídrico são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade do estande. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar boa germinação e o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total do máximo de água disponível e nem ser inferior a 50%. A necessidade de água da cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, decrescendo no período de maturação (FARIAS et al., 2007).

Mesmo quando cultivada em época chuvosa, pode ocorrer incidência de veranicos, por isso, há necessidade de se desenvolverem mais pesquisas relacionadas aos programas de melhoramento genético de soja que possibilitem a obtenção de maiores estabilidades e adaptabilidades da cultura, com caracteres agrônômicos desejáveis e alta produtividade de grãos para várias regiões produtoras brasileiras (MARQUES, 2010).

Basicamente existem duas estratégias para conviver com a seca, a primeira consiste no desenvolvimento de genótipos tolerantes, ou seja, plantas com fatores de transcrição gênica que regulem a expressão de vários genes relacionados com a resposta de defesa aos estresses

abióticos mitigando, assim, seus efeitos deletérios. A segunda estratégia está relacionada às boas práticas agrícolas como o plantio apenas de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas de cada região; semeadura em épocas recomendadas e de menor risco climático, adoção de práticas que favoreçam o armazenamento de água pelo solo e uso racional da irrigação (ROLLA et al., 2013; EMBRAPA, 2013).

1.3 O ESTRESSE HÍDRICO NO TRIGO E NA SOJA

A seca é um dos estresses abióticos mais estudados atualmente em razão dos seus severos efeitos na restrição do desenvolvimento e produção das culturas (ZHANG et al., 2014). As espécies vegetais desenvolveram ao longo do seu processo evolutivo diversos mecanismos específicos de resposta (tolerância) a ambientes adversos, podendo ser citado a inibição do crescimento, a regulação osmótica e a desintoxicação, entre outros (HARB, 2010; ZHU, 2002).

Muitas destas características estão envolvidas em processos como a transdução de sinal, na qual os cátions desempenham um papel fundamental, ou diversos hormônios como o ácido abscísico (ABA) associado à eficiência do mecanismo de abertura e fechamento de estômatos que reduz as taxas de transpiração de plantas para que esta possa economizar água (REDDY et al., 2011; LEE, 2012).

Os mecanismos de tolerância estão vinculados à ativação de dois grupos de genes. O primeiro grupo é constituído por genes que codificam proteínas cuja função é proteger as células dos efeitos do estresse hídrico; o segundo são responsáveis pela produção de proteínas que regulam a transdução de sinal de estresse e modulam a expressão de genes (DOS REIS et al., 2012; REGUERA et al., 2012).

Outros grupos gênicos, como os DREBs (*dehydration responsive element binding protein*), vêm sendo amplamente estudados pela engenharia genética e sua atuação está amplamente relacionada com mecanismos de tolerância a estresses ambientais como à seca, a salinidade, o calor e o frio (TODAKA et al., 2012). Os DREBs são importantes fatores de transcrição que induzem um conjunto de genes responsivos ao estresse abiótico e contribuem para as respostas das plantas a esses estresses (LATA; PRASAD, 2011).

A deficiência hídrica provoca diversas desordens fisiológicas e morfológicas na planta, como murchamento de folhas e redução da área foliar, redução em sua estatura, queda de flores e frutos, fechamento de estômatos e ajustamento osmótico, que reduzem a fotossíntese e afetam negativamente seu crescimento, desenvolvimento e rendimento dos grãos (FARIAS, 2005).

Um dos grandes desafios na seleção de espécies tolerantes à seca está relacionado à natureza multigênica envolvida nos mecanismos de resposta ao estresse abiótico, à baixa herdabilidade e a elevada interação genótipo x ambiente (FLEURY et al., 2010).

O melhoramento de plantas tem sido bem sucedido em adequar continuamente as espécies vegetais ao estresse hídrico nas culturas de sequeiro há décadas. Por isso, a melhora do desempenho produtivo das culturas em condições de seca vem sendo um dos seus principais objetivos (TUBEROSA, 2012).

Nesse sentido, para aumentar a tolerância à seca deve-se explorar a questão genótipo mais ambiente, ou seja, identificar genótipos que tenham características morfofisiológicas de tolerância à seca e ao mesmo tempo identificar condições no manejo em que esta tolerância genética se expresse, fazendo-se uso, por exemplo, de reguladores de crescimento e de produtos que atuem como osmorreguladores, como é o caso da suplementação foliar com potássio.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar o potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo e soja respectivamente em função do regime hídrico e do regime hídrico associado ao uso de reguladores de em condições do Cerrado.

2.2 ESPECÍFICOS

Avaliar o efeito do regime hídrico no desempenho agrônômico e em características morfofisiológicas de genótipos de trigo.

Avaliar o efeito do regime hídrico associado ao regulador de crescimento Trinexapac-ethyl no desempenho agrônômico e em características morfofisiológicas de genótipos de soja.

Avaliar o efeito do regime hídrico associado à suplementação foliar com potássio no desempenho agrônômico e em características morfofisiológicas de genótipos de soja.

3 HIPÓTESES

1. O regime hídrico interfere nos genótipos de trigo de forma diferenciada destacando os mais tolerantes à seca.

2. O regime hídrico associado ao regulador de crescimento Trinexapac-ethyl interfere na resposta de genótipos de soja ao déficit hídrico.

3. O regime hídrico associado à suplementação foliar com potássio interfere na resposta de genótipos de soja ao déficit hídrico.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 HISTÓRICO E ECONOMIA DA CULTURA DO TRIGO

O trigo foi uma das primeiras plantas cultivadas pelo homem e constituiu a base alimentar de várias civilizações da Europa, Ásia e África por um período de 8.000 anos (VESOHOSKI et al., 2011).

Ao longo do tempo, essa espécie passou por diversos processos de hibridização que geraram materiais com características distintas e que foram selecionados pelo homem, de modo a dar origem ao trigo moderno (hexaplóide) por volta dos 9.000 a.C. na região onde se encontra o atual Irã e Turquia (WRIGLEY, 2009).

O cereal foi introduzido no Brasil no período colonial, estabelecendo-se na região Sul onde encontrou clima e solo mais adequados às suas exigências e de onde se iniciou a expansão da cultura para outras regiões brasileiras (BACALTCHUK; ALBUQUERQUE, 2008).

O declínio da produção brasileira de trigo ocorreu a partir de 1990 com a abertura econômica nacional para o Mercado Comum do Sul (MERCOSUL), esse fato contribuiu para a redução da área cultivada no país devido à baixa competitividade com produto importado (PEROSA, 2009; BATISTA, 2011).

A produção mundial deste cereal é de aproximadamente 739,53 milhões de toneladas e os maiores produtores, em milhões de toneladas, são a União Europeia (150,75), China (131,00), a Índia (96,00), Rússia (69,00), Estados Unidos da América (49,64) e o Canadá (28,35).

Na América do Sul os únicos países com destaque na produção desse cereal são a Argentina com 17,50 milhões de toneladas e o Brasil com 5,60 milhões de toneladas, ambos ocupando a 11ª e 17ª posição, respectivamente (USDA, 2017).

Os principais estados brasileiros produtores de trigo são o Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal e Bahia, destacando-se a região Sul com 90% da produção do país (DE MORI; IGNACSAK, 2011).

O consumo total de trigo no Brasil é de 11,70 milhões de toneladas sendo importados algo em torno de 7 milhões, principalmente da Argentina que, em razão de sua maior estabilidade edafoclimática, promove a redução do custo unitário na produção de trigo em 40% comparado aos custos obtidos no Brasil (USDA, 2017; SOBER, 2010). O trigo de origem Argentina, até julho de 2015, contribuiu com 65,3% do total importado para o Brasil; o paraguaio, com 17,1%; o uruguaio, com 8,9%; o estadunidense, com 7,9% e o canadense, com 0,5% (CONAB, 2016).

Do total de trigo produzido no Brasil 75% são destinados à produção de farinha de trigo utilizada na alimentação humana, e os 25% restantes são considerados resíduos, comumente vendidos como farelo de trigo (ABITRIGO, 2012).

No ano de 2017, a produção brasileira totalizou 5,22 milhões de toneladas em uma área de 1,95 milhões de ha. Sendo que a região Sul contribuiu com 88,81% da produção nacional (produção: 4,63 milhões de toneladas; área: 1,75 milhões de ha) seguida da região Sudeste (produção: 0,44 milhões de toneladas; área: 0,16 milhões de ha) e Centro-Oeste (produção: 0,12 milhões de toneladas; área: 0,03 milhões de ha). Por outro lado, a média da produtividade da triticultura no Centro-Oeste brasileiro (3450 kg ha^{-1}) vem superando a nacional (2672 kg ha^{-1}) e as demais regiões, como a região Sudeste (2642 kg ha^{-1}) e a Sul (2741 kg ha^{-1}) (CONAB, 2017).

O triticultor da região do Brasil Central tem a vantagem do trigo produzido no Cerrado ser o primeiro a ser colhido no país, o que favorece a sua comercialização. Além dos preços atrativos de mercado, favorece também o período de escassez do produto por ser a entressafra da produção nacional (CONAB, 2016).

Assim, a região Centro-Oeste, com inverno frio e seco, vem se destacando no cenário brasileiro pelo cultivo irrigado o que permitiu que a triticultura alcançasse elevados índices de produtividades, inclusive, às registradas no Sul (inverno frio e úmido). No Brasil Central, a área tritícola tem um potencial de expansão de 2 milhões de hectares para cultivares em condições de sequeiro ou “safrinha” (com produtividade de 2000 kg ha^{-1}), possuem 300 mil hectares de áreas cultivadas com irrigação (produzindo 5000 kg ha^{-1}), mas com potencial de expansão de 2 milhões de hectares no uso dessa tecnologia. Não obstante, o cultivo irrigado eleva os custos de produção tornando o cereal menos competitivo quando comparado com

outros também produzidos durante o inverno e o cultivo em safrinha é considerado de elevado risco devido aos veranicos (ALBRECHT, 2006; BATISTA, 2011).

4.2 HISTÓRICO E ECONOMIA DA CULTURA DA SOJA

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma planta herbácea e pertence à classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae (TRACE, 2017). Originou-se na Ásia, no século XI a.C, ao longo do rio Yang-Tsé; sendo, provavelmente, a região central da China o seu centro primário, e a Manchúria (região leste da China) o centro secundário de diversidade genética, de onde ocorreu a sua dispersão geográfica para o Norte desse país, Coréia e Japão (século III d.C) e para o ocidente (entre os séculos XIV e XIX) (NEVES, 2011; CÂMARA, 2016).

Foi introduzida nos Estados Unidos no final dos anos de 1700, sendo utilizada inicialmente como forrageira até os anos de 1920 e 1930. Com o desenvolvimento de cultivares resistentes à deiscência de vagens, a cultura passou a ser explorada como oleaginosa (VEIGA; QUEIRÓZ, 2015).

No Brasil, a soja foi introduzida a partir dos anos de 1960 e 1970, estabelecendo-se no Brasil Central de onde se estendeu para o polígono dos solos ácidos (Triângulo Mineiro, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Sul do Maranhão, Sul do Piauí e Oeste da Bahia) tornando a região dos Cerrados a principal responsável pelo sucesso de sua produção (CISOJA, 2012).

A produção mundial de soja fica em torno de 344,68 milhões de toneladas e os cinco maiores produtores mundiais são os EUA (115,80 milhões de toneladas; 33,60 %), Brasil (107,00 milhões de toneladas; 31,04 %), Argentina (56,8 milhões de toneladas; 16,54 %), China (13,80 milhões de toneladas; 4,00 %) e a Índia (11,500 milhões de toneladas; 3,34 %); esses países respondem juntos por 88,52 % da produção mundial. No Brasil, 63,5 milhões de toneladas de soja é destinada à exportação, sendo consumidos internamente 50,00 milhões de toneladas por ano (USDA, 2017).

Os maiores produtores brasileiros de soja são o Mato Grosso (produção: 30,51 milhões de toneladas; área plantada: 9,32 milhões de hectares; produtividade: 3273 kg ha⁻¹), o Paraná (produção: 19,52 milhões de toneladas área plantada: 5,25 milhões de hectares; produtividade: 3714 kg ha⁻¹), o Rio Grande do Sul (produção: 18,21 milhões de toneladas área plantada: 5,70

milhões de hectares; produtividade: 2970 kg ha⁻¹) e o Goiás (produção: 10,82 milhões de toneladas área plantada: 3,28 milhões de hectares; produtividade: 3300 kg ha⁻¹). Atualmente, a produção do Distrito Federal é de 241,5 mil toneladas numa área plantada de 70,00 mil hectares e a sua produtividade (3450 kg ha⁻¹) terceiro Estado brasileiro mais produtivo depois de Minas Gerais (3450 kg ha⁻¹) e Santa Catarina (3470 kg ha⁻¹) (CONAB, 2017).

O agronegócio é responsável por 24% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e a soja é a sua principal *commodity* (CONAB, 2015). O complexo soja (grãos, óleos e farelos) foi responsável nas últimas safras pela captação de divisas no mercado internacional da ordem de 25,0 a US\$ 30,0 bilhões (ABIOVE, 2015).

A soja é a principal proteoleaginosa cultivada no mundo e o setor faz parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial; os grãos são usados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química, de alimentos e na produção de biodiesel, resultado de um ascendente interesse mundial na produção e no consumo de energia renovável; em torno de 70% da composição das rações bovinas, suínas e de frango são constituídos de soja (VENCATO et al., 2010; EMBRAPA, 2011; EMBRAPA, 2013; GOMES, 2014).

A indústria nacional transforma, por ano, cerca de 30,7 milhões de toneladas de soja, produzindo 5,8 milhões de toneladas de óleo comestível e 23,5 milhões de toneladas de farelo proteico, contribuindo para a competitividade nacional na produção de carnes, ovos e leite. Além disso, o grão e o farelo de soja brasileiro possuem alto teor de proteína e padrão de qualidade Premium, o que permite sua entrada em mercados extremamente exigentes como os da União Europeia e do Japão. A soja também se constitui em alternativa para a fabricação do biodiesel, combustível capaz de reduzir em até 78% a emissão dos gases causadores do efeito estufa na atmosfera (GOMES et al., 2014).

4.3 IMPACTO DA SECA NA ECONOMIA MUNDIAL

4.3.1 Demanda de água pela cultura do trigo

O trigo é um dos cereais mais amplamente cultivados no mundo, entretanto, a sua produção é altamente sensível às variações climáticas e ambientais (WILCOX; MAKOWSKI, 2014; PORTER; SEMENOV, 2005).

Vários trabalhos que utilizam técnicas de modelagem para traçar cenários de produção agrícola de trigo em relação às mudanças climáticas concluíram que o rendimento do trigo poderá ser reduzido em escala global em razão da escassez de precipitações e das elevadas temperaturas (DERYNG et al., 2011; WILCOX; MAKOWSKI, 2014). Por isso, faz-se necessária à expansão do cultivo deste cereal para áreas em condições de estresse hídrico o que deve levar em consideração diversas linhas de pesquisas nos programas de melhoramento genético (COELHO et al., 2010).

No Cerrado, a principal época de plantio do trigo ocorre na estação seca, ou seja, no período do inverno, fazendo-se necessário o uso de irrigação que, em geral, eleva o potencial de produção da cultura para valores em torno de 6000 kg ha⁻¹ (COODETEC, 2010).

O plantio mais tardio da cultura pode incorrer em riscos devido à maior incidência de acamamento e outros fatores como as chuvas na colheita que afetam a qualidade dos grãos, podendo levar a germinação dos grãos na espiga. O cultivo safrinha, de janeiro ao final de fevereiro, também é possível, pois o início do ciclo ainda ocorre dentro da estação chuvosa, mas a produtividade nesta época é bem menor, em média 1200 kg ha⁻¹, tendo em vista que o sucesso do cultivo em sequeiro depende sobremaneira da qualidade e distribuição das chuvas neste período (COODETEC, 2010).

O cultivo safrinha, principalmente quando se faz uso do sistema plantio direto, tem melhorado a sustentabilidade do sistema agrícola regional, devido a maior retenção de água no solo e da elevação de sua fertilidade. A exigência de água pelo trigo está diretamente relacionada ao seu potencial de produção e em média são produzidos 8 kg de grãos para cada milímetro de lâmina de água aplicado, ou seja, considerando-se uma produtividade de 4800 kg ha⁻¹ de grãos seria necessário aplicar ao longo do ciclo cerca de 600 mm de lâmina total. Essas constatações de flexibilidade de cultivo viabilizaram a triticultura em vários ambientes brasileiros incluindo o Cerrado, que apresenta alta heterogeneidade de água disponível e flutuações bruscas de climas como, por exemplo, os veranicos (LUSTOSA, 2011).

Grande parte dessa elevada adaptabilidade da cultura deve-se à sua constituição genética, haja vista que o trigo, mesmo sendo uma espécie autógama com apenas 1% de alogamia, ao longo do seu processo evolutivo sofreu hibridações interespecíficas com posteriores duplicações cromossômicas por alopoliploidia (FERREIRA, 2006).

Com isso, a espécie adquiriu três níveis diferentes de ploidia, oriundo do cruzamento do *Triticum urartu* (genoma A) com o *Aegilops speltoides* (genoma B) que deu origem ao *Triticum turgidum* (genoma AB) que, por sua vez, cruzou com o *Aegilops tauschii* (genoma D) originando a espécie *Triticum aestivum* (genoma ABD, ou AABBDD com $2n = 6x = 42$ cromossomos) (PETERSEN et al., 2011).

Segundo a teoria sintética da evolução, essas aberrações cromossômicas (irregularidades caracterizadas pelo o aumento tanto no número dos cromossomos ou alterações em suas estruturas) juntamente com a recombinação e a hibridação são processos que ampliam a variabilidade genética, contribuindo para evolução que pode ser definida como qualquer alteração das frequências alélicas da população que condicione a uma maior adaptação das plantas (RAMALHO et al., 2012).

As espécies tetraplóides (*T. turgidum*) apresentavam boa adaptação a invernos amenos e verões secos, porém, a adição do genoma do *T. tauchii* aumentou a adaptação do trigo com essa nova espécie (*T. aestivum*) uma das mais disseminadas pelo mundo. Além disso, foi justamente no genoma D que foram encontrados genes importantes relacionados às características de panificação (cromossomo 1) e a tolerância à toxicidade do alumínio (cromossomo 4) (SILVA, 2011).

Outro fato que também influenciou na adaptabilidade do trigo foi a sua plasticidade fenotípica que pode ser definida como uma mudança progressiva e reversível nas características morfológicas de plantas individuais. Foi constatado que genótipos de trigo recomendados para a região do Cerrado apresentaram modificações morfológicas geradas em razão das diferentes densidades a que eram expostas (TRINDADE, 2006).

Entretanto, o estresse hídrico pode afetar várias fases do desenvolvimento do trigo e o conhecimento destes fenômenos é imprescindível para que haja uma maior previsibilidade de seus impactos ocasionados durante o ciclo da cultura. O desenvolvimento do trigo pode ser subdividido em cinco fases segundo (ZADOKS et al., 1972):

1) *Plântula* – Ocorre após a germinação ou emergência da planta na superfície (estádio 1.13 de Zadoks, 5 a 7 dias) com o aparecimento das 3 primeiras folhas verdadeiras (12 a 16 dias – estágio 1.13 de Zadoks), esta fase coincide com a fixação das raízes seminais;

2) *Perfilhamento* – Aos 15 a 17 dias surgem (7 a 8 unidades – estádios 2.27 a 2.28 de Zadoks) e coincide com a abertura das folhas;

3) *Alongamento* – Tem-se início com o aparecimento do segundo nó (estádio 3.32 de Zadoks) e dura de 15 a 18 dias. Nessa fase também ocorre o aparecimento da folha bandeira (estádio 3.37 de Zadoks);

4) *Emborrachamento* – Durante o estágio do emborrachamento (estádio 4.43 de Zadoks), a espiga do trigo se desenvolve e se torna visível através da bainha sobre a haste e encerra-se com o surgimento das aristas (estádio 4.49 de Zadoks);

5) *Espigamento* – Ocorre com a emergência da espiga (estádio 5.51 de Zadoks) dando início à floração (estádio 6.61 de Zadoks) e ao enchimento dos grãos (estádio 7.70 de Zadoks); esta fase dura de 12 a 16 dias;

6) *Maturação* – Começa após a fertilização e inclui a estágio leitoso (estádios 7.71 a 7.79 de Zadoks), o pastoso (estádios 8.80 a 8.89 de Zadoks) enchimento de grão (transferência de nutrientes do caule e das folhas para o grão), essa fase dura cerca de 35 dias.

A cultura do trigo exige algumas condições edafoclimáticas para o seu bom desempenho, que geralmente variam conforme as fases supracitadas; na emergência, o solo deve apresentar temperatura em torno de 15°C e precipitação de 120 a 200 mm; no perfilhamento e início do espigamento, o solo deve apresentar temperaturas entre 8 a 18 °C e chuvas mensais de 40 mm; no espigamento, o solo deve apresentar temperaturas por volta de 18 °C e níveis de chuvas sempre inferiores de 60 mm/mês e sempre em condições sem ventos fortes e/ou geadas (WHITE, 2006).

É importante salientar que existem variações, dentre os cultivares de trigo, entre os estádios fenológicos de espiguetas terminal, emborrachamento, antese e maturação fisiológica (RODRIGUES et al., 2011). Não obstante, o trigo tem alta resistência a flutuações na disponibilidade de água durante o seu ciclo, mas é especialmente suscetível ao estresse hídrico no estágio de enchimento de grão (MOREIRA et al., 1999).

O número de grãos por área é o componente que mais incrementou o rendimento de grãos na evolução genética dos cultivares de trigo, pois, com a translocação dos

fotoassimilados para o grão não há mais estruturas que possam compor seu rendimento (RODRIGUES et al., 2007; SLAFER, 2012).

É importante salientar que a produtividade da cultura depende não só da quantidade de água disponível, mas também da eficiência do seu uso (SALAMONI, 2008). Em geral, o déficit hídrico afeta, em grau variado, todos os estágios fenológicos das plantas, induzindo modificações morfológicas, fisiológicas e metabólicas em todos os órgãos (FARIA, 2010).

Esta é uma das razões pelas quais a busca por genótipos de trigo que apresentem bom desempenho em condições de estresse hídrico tem sido um dos trunfos do melhoramento genético da cultura e um dos seus principais objetivos (MIR et al., 2012).

4.3.2 Demanda de água pela cultura da soja

A soja é essencialmente uma espécie autógama com taxa de fecundação cruzada de 1% realizadas por insetos, principalmente abelhas (BORÉM, 2005). Essa cultura se adapta melhor a temperaturas entre 20 e 30 °C; possuindo temperaturas ideais para emergência (25 °C), crescimento e desenvolvimento (30 °C) e para floração (acima de 13 °C). Temperaturas acima de 40 °C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocam distúrbios na floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens; abaixo de 10 °C o crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo. Esses problemas são acentuados com a ocorrência de déficits hídricos (EMBRAPA, 2013).

A classificação dos estádios fenológicos da soja descrito por Fehr e Caviness (1977) e adotados no Brasil apresenta uma terminologia única precisa e universal, capaz de descrever um único indivíduo, ou uma lavoura inteira, de qualquer cultivar (EMBRAPA, 2011): *Estádio 1 (VE)* – Estádio vegetativo de emergência dos cotilédones, estes se encontram acima da superfície do solo e formam um ângulo 90° com seus respectivos hipocótilos; *Estádio 2 (VC)* – Os cotilédones encontram-se completamente abertos e expandidos (as bordas de suas folhas unifolioladas não mais se tocam).

A partir do VC, as subdivisões dos estádios vegetativos são numeradas sequencialmente (V₁, V₂, V₃, V₄, V₅, V₆, ... V_n), em que n é o número de nós acima do nó cotiledonar com folha completamente expandida). Assim, uma plântula está em V₁ quando as folhas unifolioladas (opostas, no primeiro nó foliar) estiverem completamente desenvolvidas,

isto é, quando os bordos dos folíolos da primeira folha trifoliolada não mais se tocarem, e assim, sucessivamente. Os estádios reprodutivos abrangem quatro distintas fases do desenvolvimento reprodutivo da planta, ou seja, florescimento (R_1 e R_2), desenvolvimento da vagem (R_3 e R_4), enchimento dos grãos (R_5 e R_6) e maturação (R_7 e R_8) (EMBRAPA, 2011).

A soja é uma planta sensível à mudanças do fotoperíodo, nas cultivares com período juvenil curto a percepção fotoperiódica ocorre durante estágio fenológico V_1 (surgimento da folha unifoliolada), a partir desse estágio, se o fotoperíodo for menor ou igual ao fotoperíodo crítico da cultivar, o florescimento poderá ocorrer entre 15 a 20 dias após a indução (Estádios V_3 e V_4). Nas cultivares com período juvenil longo, a indução ao florescimento ocorre a partir da 5ª e da 7ª folha trifoliolada e independentemente das condições de fotoperíodo crítico, as plantas não são induzidas a florescer, possibilitando que tenham período vegetativo suficiente para atingir seu potencial produtivo (SEDIYAMA, 2009).

As cultivares que apresentam período juvenil reduzido florescem sob condições de dias curtos, aspecto que pode ser desfavorável do ponto de vista prático, principalmente nas cultivares de hábito de crescimento determinado, pois estas podem apresentar porte muito baixo, dificultando a colheita e contribuindo para aumentar as perdas de grãos nesse processo (OLIVEIRA, 2010).

O rendimento da cultura também pode ser reduzido haja vista que o processo de indução floral – transformação dos meristemas vegetativos (que dão origem a hastes e folhas) em reprodutivos (primórdios florais) – determina o tamanho final das plantas (número de nós) e, portanto, seu potencial de produção (CARVALHO, 2017).

A sensibilização das folhas das plantas ao fotoperíodo ocorre com dois dias curtos que estimulam fitocromo, um pigmento que reflete a luz azul e absorve luz vermelha (650 nm). Durante esse processo esse pigmento é ativado e inativado durante o dia. Em condições de dias curtos mediante uma provável combinação de hormônios endógenos ocorrem modificações bioquímicas nas células meristemáticas dos nós vegetativos da planta que passam a se multiplicar e a se diferenciar em primórdios florais. Quando este processo atinge as gemas vegetativas apicais elas são convertidas em reprodutivas finalizando, assim, a geração de estruturas vegetativas (CÂMARA; HEIFFIG, 2000; DESTRO et al., 2001; RODRIGUES et al., 2001).

Devido à sensibilidade da soja ao fotoperíodo a adaptabilidade das cultivares é limitada a sua própria faixa de latitude. Assim, a classificação do ciclo total das cultivares em superprecoce, precoce, semiprecoce e médio é válida dentro de cada grupo de maturidade relativa (EMBRAPA, 2010).

Por essa razão o sistema de classificação de soja pode ser feito por grupos de maturidade relativa que variam de 0 a 10 (no Brasil os grupos indicados variam de 5.5 a 10), ou seja, quanto maior é o seu número, mais próximo ao Equador será sua região de adaptação e mais longo o ciclo da cultivar (por exemplo, uma variedade 8.9 tem um ciclo mais longo que uma 8.7). Em geral, para cada aumento de número depois do ponto teremos de 1,5 a 2 dias a mais de ciclo. Então, ao localizarmos uma cultivar de grupo de maturação 9.0 no sul do Brasil, este material alongará seu ciclo de forma a comprometer totalmente sua produtividade (PENARIOL, 2000) ([Figura 5.1A](#)).

A soja requer grandes quantidades de água para viabilizar uma boa produção, sendo que para cada quilograma de matéria seca produzida através da fotossíntese, a planta necessita transpirar cerca de 580 kg de água (CÂMARA, 2009). A necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm ciclo⁻¹ dependendo das condições climáticas e do manejo da cultura (EMBRAPA, 2010).

A disponibilidade hídrica é considerada o fator climático de maior efeito sobre a distribuição das espécies nas diferentes zonas climáticas e tem efeito direto na produtividade agrícola da soja, todavia, os prejuízos podem ser minimizados por características das plantas que permitem uma manutenção da água em suas estruturas durante a redução da umidade do solo, é nesse âmbito que ocorre a caracterização da resistência da cultura à seca (MORANDO et al., 2014).

A disponibilidade de água é importante, particularmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência (4 a 5 dias) e floração-enchimento de grãos. No primeiro, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo de água disponível e nem ser inferior a 50%. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar boa germinação. No segundo período, déficits hídricos expressivos, durante a floração e o enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta (fechamento estomático e o enrolamento de folhas) causando a queda prematura das folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando, por fim, em redução do

rendimento de grãos e comprometendo a produtividade da cultura (EMBRAPA, 2010; EMBRAPA, 2013).

O estresse hídrico minimiza a disponibilidade de nutrientes essenciais, reduzir a produtividade pela redução da fixação biológica do nitrogênio (FBN) essencial para a formação de proteínas que irão compor o grão e, quando associado à elevadas temperaturas, pode acarretar o florescimento precoce estimulando a redução do ciclo vegetativo (GONÇALVES JÚNIOR et al., 2010; SINCLAIR et al., 2007; EMBRAPA, 2008).

Para minimizar os efeitos do déficit hídrico, deve-se semear cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas de cada região; semear em época recomendada, de menor risco climático e com adequada umidade em todo o perfil do solo; bem como, adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água pelo solo (como o sistema plantio direto) (EMBRAPA, 2010).

Em geral, os programas de melhoramento de soja têm como principal objetivo o aumento da produtividade, para que o sojicultor possa obter maiores lucros, sem a necessidade de investimentos adicionais. Não obstante, busca-se também a resistência às pragas e doenças, à melhora da qualidade do óleo e da proteína dos grãos, bem como o aumento a capacidade adaptativa dos genótipos em relação às condições edafoclimáticas (GULLUOGLU et al., 2011).

Em relação à capacidade adaptativa, vale ressaltar que a soja pode ser cultivada numa grande diversidade de ambientes, e isso afeta expressivamente a produtividade de grãos dos diferentes materiais genéticos existentes, devido a sua forte interação genótipos x ambiente (G x A). Espera-se que essa interação assuma papel fundamental na manifestação fenotípica, devendo ser estimada e considerada na indicação de cultivares no programa de melhoramento genético (COLOMBARI-FILHO et al., 2013).

Além disso, genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso apresentam comportamento diferenciado entre si em relação às respostas morfofisiológicas. Portanto, a produtividade da soja dependerá tanto das condições climáticas anuais quanto do desenvolvimento de novos genótipos resistentes à seca (FIOREZE et al., 2011; MORANDO et al., 2014).

4.4 ASPECTOS MORFOFISIOLÓGICOS DE PLANTAS SOB ESTRESSE HÍDRICO

4.4.1 Conceito de estresse hídrico

A água constitui aproximadamente 90% do peso das plantas e atua em seus processos fisiológicos e bioquímicos com a função de solvente de gases, minerais e outros solutos que entram nas células e são transportados por toda planta influenciando na estrutura de proteínas, ácidos nucleicos, polissacarídeos e outros constituintes da membrana celular. Cerca de 97% da água absorvida é perdida para atmosfera (via transpiração, principalmente), em torno, 2% é utilizada no aumento do volume ou expansão celular e, apenas 1% é usado em processos metabólicos, predominantemente na fotossíntese (VIVAN, 2010).

Os efeitos primários nas plantas decorrentes do déficit hídrico, como a redução do potencial hídrico e a desidratação celular, alteram as propriedades físico-químicas das células, desencadeando em efeitos secundários, como alterações da atividade metabólica, citotoxicidade iônica e produção de Espécies Reativas de Oxigênio (ou ROS, do inglês *reactive oxygen species*) que iniciam e aceleram o rompimento da integridade celular podendo provocar a morte da célula (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em linhas gerais o “*estresse*” pode ser definido como qualquer fator externo que exerce influência desvantajosa sobre a planta, enquanto que “*déficit hídrico*” representa todo conteúdo de água de um tecido (ou célula) situado abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação, enquanto que a “*tolerância*” é a aptidão da planta para enfrentar o ambiente desfavorável principalmente ao acúmulo de solutos compatíveis ou osmólitos, proteínas osmoprotetoras e à capacidade antioxidante (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os mecanismos de adaptação ao déficit hídrico utilizado pelas plantas podem ser classificados em quatro grupos distintos o evitamento, a tolerância, o escape e a recuperação à seca, sendo os dois primeiros os mais importantes. O *evitamento à seca* é a estratégia de manter níveis altos de água, nos tecidos vegetais (através de maior eficiência na absorção de água ou pela redução da evapotranspiração). Na *tolerância à seca* a planta sintetiza osmólitos, osmoprotetores ou solutos compatíveis que mantem seu turgor permitindo, assim, a continuidade do metabolismo mesmo em condições de baixo potencial hídrico. O *escape à seca* refere-se à capacidade (natural ou induzida) da planta de encurtar o seu ciclo a fim de

evitar a estação ou os períodos de seca prolongada (esse mecanismo pode acarretar a diminuição do número de sementes). A *recuperação à seca* refere-se à capacidade da planta de retomar rapidamente seu crescimento e enchimento de grãos após completa paralisação do crescimento, perda do turgor celular e desidratação foliar decorrentes de períodos severos de déficit hídrico (LUO, 2010; FANG; XIONG, 2015; WITCOMBE et al., 2008; HONNA, 2015).

A resposta das plantas ao estresse está relacionada a uma variedade de escalas temporais que vai da “*resposta de curto período*” (de segundos a dias – declínio no desempenho da planta) passando pelo “*ajustamento morfofisiológico*” (para compensar o declínio do desempenho) e pela “*aclimação*” (requer dias ou semanas do ciclo da planta – ajustamentos mais prolongados) até alcançar a “*resposta evolucionária*” (requer algumas gerações – mudanças genéticas em populações que conduzem a compensações morfológicas e fisiológicas) (LAMBERS et al., 1998)

Os principais efeitos do estresse hídrico que podem ser detectados nos atributos fisiológicos estão correlacionados com potencial hídrico da folha, que leva à redução do seu turgor e a alterações na condutância estomática e na taxa fotossintética, no CO₂ interno da folha, entre outros indicadores (GARCIA DEL MORAL et al., 2003; SAYAR et al., 2005).

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento dos cultivos agrícolas e é a principal causa da redução da produtividade (PIMENTEL, 2004). A deficiência hídrica também causa acentuada senescência foliar e restrição ao surgimento de novas folhas, e o grau dessas alterações é decorrente da intensidade do estresse hídrico e depende de cada genótipo (SMIT; SINGELS, 2006).

Todos esses fatores desencadeiam efeitos em outros atributos que estão intimamente relacionados, no caso do trigo, com o rendimento do grão, o número de perfilhos, o número de grãos por espiga, o número de perfilhos férteis por planta, o peso de mil grãos, o comprimento do pedúnculo, a altura da planta, o comprimento da espiga, o número de grãos por espiga e o peso de grãos por espiga (BLUM, 2005; AMINZADEH, 2010).

Na soja o déficit hídrico provoca a redução na área foliar total, senescência das folhas, redução na produção de flores, abortamento floral, redução no número de vagens, decréscimo

na produtividade, diminuição da eficiência do uso da água entre outros fatores (FIRMANO et al., 2009; LEPORT et al., 2006; FANG et al., 2010; FIOREZE et al. 2011).

4.4.2 Mecanismos de defesa das plantas contra o estresse hídrico

4.4.2.1 Potássio como regulador estomático

Para que ocorra a fotossíntese, o CO₂ necessita difundir-se da atmosfera para o interior da folha até o sítio de carboxilase da rubisco (no ciclo de Benson-Calvin). A principal porta de entrada desse gás é a fenda estomática, que é o mesmo caminho percorrido pela água, porém, em sentido inverso; em seguida esse gás segue para câmara subestomática e daí para os espaços intercelulares das células do mesófilo, onde começa a absorver umidade dessas células, percorrendo o restante do trajeto em sua forma líquida (HCO₂) por difusão. A absorção do CO₂ é sempre acompanhada por uma inevitável e substancial perda de água, mesmo com a umidade relativa do ar elevada, o gradiente que impulsiona a perda de água pela planta é 50 vezes maior do que o que impulsiona a absorção do CO₂ (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A capacidade das plantas para atender a sua demanda hídrica e evitar o déficit hídrico depende da eficiência de sua maquinaria hidráulica em transportar água do solo para a atmosfera através do estômato. A força inicial que direciona a água contra as resistências vegetais (raízes, caule, folhas, estômatos e cutícula hidráulica) é o gradiente do potencial hídrico existente entre o solo e as folhas (BLUM, 2011).

O fechamento estomático pode ser considerado um mecanismo de tolerância à seca uma vez que reduz a transpiração, mas pode promover aquecimento excessivo das folhas devido à redução do esfriamento evaporativo. Essa proteção contra a dessecação também afeta à difusão do dióxido de carbono atmosférico, provocando reduções na fotossíntese (SMIT; SINGELS, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013; FERRARI et al, 2015).

O estômato consiste de um par de células-guarda, o poro estomático, e células subsidiárias, que circundam as células-guarda auxiliando no controle dos poros estomáticos (PINCELLI, 2010). A abertura ou fechamento dos estômatos são determinados pelo turgor das células guardas que está relacionado à concentração de potássio (K⁺) e seus íons de

contrabalanço, o cloro (Cl⁻) e o malato (TAIZ; ZEIGER, 2013). Embora não seja um componente estrutural ou funcional dentro das moléculas orgânicas das plantas, o K⁺ atua como principal osmorregulador inorgânico usado no estabelecimento de gradientes osmóticos nos vegetais (Figura 5.2A) (JÁKLI et al., 2017).

Os efeitos benéficos do potássio no ajuste osmótico podem ser correlacionados com a elevada eficiência do uso de água (EUA) e com o ganho de carbono pela planta (WANG et al., 2013; GRZEBISZ et al., 2013). Quando as plantas são cultivadas sob baixa disponibilidade de K⁺, a produção de radicais livres pode ser aumentada, isso porque, a carência deste nutriente provoca distúrbio no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, gerando uma redução da fotossíntese e consequente sobra de elétrons que são desviados para a produção de espécies reativas de oxigênio. Assim, em condições de estresse hídrico a planta tem sua demanda por potássio aumentada para manter a fotossíntese e proteger os cloroplastos de danos oxidativos (CAKMAK, 2005).

A inconsistência das pesquisas gera dúvidas entre técnicos e produtores sobre a necessidade de suplementação foliar de com macronutrientes N, P e K (MURARO et al., 2017). Não obstante, o potássio utilizado como osmorregulador pode ser uma alternativa para minimizar os efeitos deletérios do estresse hídrico ou mesmo aumentar a eficiência do uso de água nas plantas em tais condições, uma vez que atua no adequado funcionamento dos estômatos que é essencial à fotossíntese, ao transporte de água e nutrientes e regulação térmica da planta (SANTOS; VARGAS, 2012).

4.4.2.2 *Fitormônios e fitorreguladores sintéticos*

Como mencionado anteriormente, as plantas apresentam fechamento estomático para prevenir a perda de água e essa percepção ocorre devido a sinais químicos detectados pelas raízes. Em condições de estresse hídrico, as raízes acumulam o fitormônio ácido abscísico (ABA) em suas células, que é redistribuído nos tecidos da planta via xilema, agindo como um sinalizador químico para o fechamento dos estômatos e induzindo a expressão de genes relacionados ao estresse (OHASHI et al., 2006; SEKI et al., 2007).

Os fitormônios são moléculas produzidas em baixas concentrações que agem como mensageiros químicos nas atividades celulares de plantas superiores, podendo atuar em seu

local de síntese ou podem ser transportados para outra parte das plantas (VOB et al., 2014; PELEG; BLUMWALD, 2011).

Assim, os vários fitormônios entre eles, auxinas, giberelinas, citocininas, etileno ácido salicílico, jamonatos (dentre outros) são considerados moléculas-chave na regulação de vias de sinalização de crescimento e desenvolvimento das plantas, e também podem atuar como mediadores da resposta ao estresse ambiental, inclusive em rede (Crosstalk) para ajustar as defesas da planta contra modificações ambientais desfavoráveis (DAVIES, 2007; WANI et al., 2016; SINGH; JWA, 2013; SREENIVASULU et al., 2012).

O ácido giberélico (GA), por exemplo, atua na germinação das sementes, no alongamento do caule, na expansão da folha, na redução da deiscência das anteras, na germinação, no desenvolvimento do pólen, no crescimento do tubo polínico e no desenvolvimento dos frutos; havendo cada vez evidências de sua contribuição na resposta adaptativa ao estresse abiótico (COLEBROOK et al., 2014; THAKUR et al., 2010; KUMAR et al., 2011; YAMAGUCHI, 2008).

O termo regulador de crescimento é a denominação utilizada para se referir a reguladores sintéticos de crescimento de plantas, aplicados exogenamente, de modo que diferencia dos reguladores de crescimento endógenos (fitormônios) (DAVIES, 2007). Esses compostos sintéticos podem reduzir o crescimento longitudinal indesejável da parte aérea das plantas, sem diminuição da produtividade de grãos (RADEMACHER, 2000; RAJALA, 2003).

O regulador de crescimento à base de Trinexapac-ethyl, por exemplo, inibe a enzima GA 3 β -hidroxilase, que atua na transformação da giberelina inativa (GA20) em giberelina ativa (GA1) que é a responsável pelo alongamento do caule (Figura 5.3A) promovendo, assim, a redução do porte vegetal (RADEMACHER, 2016; NAKAYAMA et al., 1990).

No trigo, o Trinexapac-ethyl pode promover redução da altura das plantas e da área da folha bandeira sem afetar a produtividade de grãos, nas condições de cultivo sem restrição hídrica, e interferir no encurtamento entre a fonte e o dreno (respectivamente, folha bandeira e espiga) (FIOREZE, 2011). Na soja, os efeitos desse regulador podem variar, sendo possível a redução do porte das plantas, a modificação de sua arquitetura (ficando mais ereta) e serem

obtidos rendimentos de grãos mais elevados, mas existem registros de efeitos contraditórios (BUZZELLO, 2010; SOUZA et al., 2013).

4.4.2.3 Prolina como osmorregulador compatível

A restrição hídrica é responsável por sérias disfunções morfológicas, fisiológicas e bioquímicas nos vegetais causando diversas mudanças no seu metabolismo celular (MUNNS, 2011; FILIPPOU et al., 2014). Essas mudanças podem estar relacionadas ao ajustamento osmótico decorrentes do aumento eficaz e rápido da concentração de solutos compatíveis como prolina, glicina, betaína, trealose, sacarose, poliaminas, manitol, pinitol no vacúolo ou citosol das células vegetais (ASHRAF et al., 2011; MARIJUAN; BOSCH, 2013).

O aumento líquido na concentração das moléculas compatíveis não é nocivo ao metabolismo celular e auxilia na manutenção de sua turgescência tendo em vista que a elevação da pressão osmótica no interior das células mantém o fluxo de água na planta, permitindo continuidade dos processos fisiológicos nos vegetais (ainda que em níveis menores) em condições de baixo potencial hídrico do solo (MARIJUAN; BOSCH, 2013).

Esses solutos orgânicos também atuam como osmoprotetores preservando a integridade de proteínas, enzimas e membranas celulares contra subprodutos tóxicos do metabolismo resultantes do estresse hídrico (ASHRAF et al., 2011; MARIJUAN; BOSCH, 2013). Outra vantagem desse mecanismo de ajuste é que o aumento dos solutos osmoticamente ativos às células é mais eficaz em promover a diminuição do potencial hídrico do que a própria perda de água fazendo com que as plantas percebam e respondam rapidamente a alterações hídricas (CHAVES et.al, 2009).

Os solutos orgânicos compartilham de propriedades semelhantes como a de permanecerem estáveis em pH neutro, serem altamente solúveis em água, mesmo em altas concentrações, e exercerem pouco ou nenhum efeito sobre a interação de macromoléculas solventes. Os carboidratos, por exemplo, podem ser armazenados tanto na forma de polissacarídeos com baixa atividade osmótica (como o amido), quanto na forma de açúcares altamente solúveis e higroscópicos (como a sacarose e hexoses) (BALLANTYNE; CHAMBERLIN, 1994; WHITTAKER et al., 2007; BUCKERIDGE et al., 2000).

A acumulação de aminoácidos, mais especificamente, da prolina está relacionada a uma das respostas mais comuns ao estresse hídrico em plantas, pois desempenha um papel de osmoprotetor (protegem a integridade de proteínas e enzimas e membranas) e de soluto compatível (não prejudica enzimas ou outras macromoléculas do citoplasma), contribuindo para a estabilização das membranas e estruturas subcelulares além de atuar, juntamente com flavonóides e carotenóides, como antioxidante não enzimático que protege as funções celulares da intoxicação por espécies reativas de oxigênio (SHARMA et al., 2012; KAUR; ASTHIR, 2015; AHMAD et al., 2010).

Assim, o aumento do nível de aminoácidos livres reduz os efeitos do déficit hídrico por aumentar a capacidade de retenção de água (MORANDO et al., 2014). Em parte, isso ocorre devido a algumas propriedades intrínsecas dessas moléculas que contêm ambas as porções amino (-NH₂) e um grupo funcional carboxil (-COOH); a prolina contém uma porção imino (C=NH), ou seja, um grupo funcional carboxil e um grupo imino secundário que confere as características de neutralidade à molécula e é reportada como um importante osmoprotetor atuante na integridade e proteção da membrana plasmática (MOLINARI, 2006).

A prolina é o soluto compatível mais estudado devido à sua elevada sensibilidade de resposta a condições de estresse (ASHRAF et al., 2011). Assim, a medição de seu conteúdo fornece um importante parâmetro para a seleção de plantas tolerantes, sendo constatado que o aumento em suas concentrações atenua os efeitos do estresse hídrico (CVIKROVÁ et al., 2013; FILIPPOU et al., 2014).

A concentração deste aminoácido pode aumentar até 100 vezes em comparação ao que é observado em condições normais, sem estresse hídrico (VERBRUGGEN; HERMANS, 2008). Existe abundante literatura com relação ao acúmulo de prolina em plantas condicionadas a vários tipos de estresse, no entanto, não se sabe ao certo se esse acúmulo sempre ocorre (SZÁBADOS et al., 2011).

A prolina pode funcionar como uma chaperona que é um tipo de molécula capaz de interagir com determinadas proteínas (protegendo a sua integridade) e com enzimas (aumentando a sua atividade). Ao mesmo tempo, pode agir como uma molécula de sinalização para modular as funções mitocondriais, proliferação e/ou morte celular; nesse sentido, funciona como gatilho na expressão de genes específicos que podem ser essenciais para a recuperação da planta após o estresse (SZABADOS; SAVOURÉ, 2010).

O metabolismo da prolina envolve as fases de síntese e de degradação. Em condições de estresse, a prolina é sintetizada a partir do glutamato (em condições normais também pode ser produzida a partir da arginina) nos cloroplastos e no citosol. Essa síntese ocorre em duas etapas; na primeira, o glutamato é convertido a glutamyl-5-semialdeído (GSA) (com catálise feita pela enzima pirrolina-5-carboxilato sintetase – P5CS) que é espontaneamente convertida a pirrolina-5-carboxilato (P5C); na segunda fase, a P5C é convertida a prolina por ação da pirrolina-5-carboxilato redutase (P5CR) (Figura 5.4A). Existe ainda uma via alternativa de síntese de prolina através de ornitina, que aparentemente pode ocorrer tanto no citosol quanto na mitocôndria, mas ainda não foi elucidada completamente. Finalmente, a via de degradação da prolina ocorre na mitocôndria através da ação sequencial da prolina desidrogenase (PRODH) e P5C desidrogenase formando, assim, o processo inverso das duas primeiras vias supracitadas (SANCHES, 2012; REJEB et al., 2014; VERSLUES 2010).

A principal causa da queda da fotossíntese sob condições de limitação hídrica leve a moderada, sobretudo em planta C3 como o trigo e a soja, deve-se a redução da relação CO_2/O_2 (PINHEIRO; CHAVES, 2011). Isso ocorre porque as plantas, em restrições bióticas e abióticas ambientais, acumulam espécies reativas de oxigênio (ROS) que, a logo prazo, afetam negativamente os ácidos nucléicos, as proteínas e os lipídios podendo levar à lesão e morte celular (ATKINSON; URWIN, 2012; GILL; TUTEJA, 2010). Não obstante, em curto prazo, as ROS podem desempenhar um papel-chave na comunicação intracelular que provoca a capacidade de aclimação das plantas a condições ambientais desfavoráveis, pois funcionam como mecanismos de transdução de sinais externos que desencadeiam respostas adaptativas importantes ao estresse (REJEB et al., 2014; MILLER et al., 2011).

Durante as condições de estresse, a taxa de fixação de CO_2 do ciclo de Calvin é diminuída devido ao fechamento dos estômatos o que impede a oxidação do NADPH e a restauração de $NADP^+$ e de ATP a ADP. A baixa concentração do acceptor final ($NADP^+$) induz à fase cíclica do fluxo de elétrons na cadeia transportadora, levando a produção de oxigênio singlete (uma das ROS mais reativas) no centro de reação do fotossistema I (PSI) e, conseqüentemente, ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio no lume dos tilacóides dos cloroplastos que pode levar a Fotoinibição (Figura 5.5A) (CHAVES et al., 2009). A elevação de concentrações das ROS no estroma dos cloroplastos de plantas C₃, devido ao caráter anfótero da Rubisco pode levar a Fotorrespiração (Figura 5.6A) (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A biossíntese de prolina funciona como um tampão, pois consome NADPH para a redução de glutamato à prolina, o que gera NADP⁺ que pode ser usado posteriormente como aceptor de elétrons na cadeia transportadora minimizando o transporte dos elétrons na fase cíclica e, conseqüentemente, reduzindo a geração de espécies reativas de oxigênio. Além disso, o glutamato também é fosforilado liberando ADP (a partir do ATP), esse ADP é utilizado na fotossíntese para produção de ATP (SANCHES, 2012; REJEB et al., 2014; VERSLUES 2010).

As moléculas antioxidantes permitem que as plantas evitem ou tolerem o estresse oxidativo desencadeado por adversidades ambientais, incluindo o estresse hídrico (FAROOQ et al., 2009; SILVA et al., 2016). De modo geral, o estresse oxidativo afeta a divisão, alongamento e diferenciação celular, resultando em danos no crescimento e desenvolvimento das estruturas vegetativas e reprodutivas dos vegetais (SHAO et al., 2008; DEMIRTAS et al., 2010).

O acúmulo de prolina na planta pode ser importante na estabilização do DNA, das membranas e complexos proteicos; além de fornecer uma fonte de carbono e nitrogênio para o crescimento vegetal após o estresse (SZABADOS; SAVOURÉ 2010; SHARMA et al., 2011; GIBERTI et al., 2014).

Na mitocôndria, a prolina tem distintas funções de proteção. Após o estresse, o pool de prolina fornece um potencial redutor para a mitocôndria, onde, através de sua oxidação, é fornecido elétrons para a cadeia transpiratória e, portanto, contribuindo para o fornecimento de energia para a retomada de crescimento (KAVI KISHOR et al., 2005; HARE; CRESS, 1997).

Assim, as alterações no metabolismo de prolina podem ser mais benéfica para a tolerância das plantas ao estresse ambiental do que as propriedades intrínsecas do próprio aminoácido que fazem dele um dos osmorreguladores mais eficientes (REJEB et al., 2014).

4.4.2.4 Efeito do estresse nas clorofilas

As clorofilas são moléculas formadas por complexos derivados da porfirina, tendo como átomo central o magnésio (Mg) (SCHOEFS, 2002). Normalmente, as proporções entre as clorofilas *a* e *b* na natureza são de 3:1, respectivamente. Essas moléculas diferenciam-se

entre si em razão dos substituintes ligados ao carbono C-3 no anel de porfirina que na clorofila *a*, é constituída de um grupo metil (-CH₃) e na clorofila *b* é um grupo aldeído (-CHO), este último tem efeito atrativo nos elétrons do carbono C-3 o que confere maior estabilidade a esta molécula (VON ELBE, 2000).

A clorofila é o pigmento mais abundante no planeta e é um componente essencial para a fotossíntese, pois absorve a energia da luz e a direciona para os fotossistemas por ressonância (processo físico). A absorção de luz ocorre, principalmente, nas regiões do vermelho e azul do espectro luminoso; assim, o aumento na concentração desse pigmento pode aumentar a eficiência fotossintética das plantas (HÖRTENSTEINER; KRÄUTLER, 2011).

A clorofila *a* é a responsável pela maior parte da absorção de luz, entretanto, nas plantas superiores 15 a 25% da clorofila total é composta pela clorofila *b* que, apesar, de esta não ser essencial para a fotossíntese (considerada um pigmento acessório), contribui para o processo, absorvendo luz de comprimento de onda entre 425 e 475 nm e transferindo sua energia para a clorofila *a*, a qual absorve pouco nesses comprimentos (TANAKA; TANAKA, 2007).

Durante a senescência foliar ou o amadurecimento dos frutos ocorre intensa degradação dessa molécula, todavia ocorre degradação, também, em resposta a muitos estresses bióticos e abióticos (HÖRTENSTEINER; KRÄUTLER, 2011).

A deficiência hídrica atua na degradação de pigmentos nas folhas e esse processo tem início no cloroplasto e envolve uma complexa rota metabólica catalisada sequencialmente por uma série de enzimas e pelo fitormônio ABA (GAO et al., 2016). A degradação de clorofila durante a senescência foliar envolve conversão da clorofila *b* em clorofila *a*, abertura oxigenolítica do anel tetrapirólico da clorofila *a* (com remoção do átomo de Mg) e a formação de ficobilinas (pigmento acessório), cujo mecanismo regulador transcricional global não está esclarecido (MEGURO et al., 2011; SCHELBERT et al., 2009 e REN et al., 2010; CHRIST et ai., 2012 , CHRIST et ai., 2013; KRAUTLER de 2014).

A degradação constitui um mecanismo de defesa da planta isso porque a clorofila *a* tem um poder antioxidante maior do que a clorofila *b* e consome espécies reativas de oxigênio

(ROS), produzido em condições de estresse e que são fitotóxicas às plantas (Figura 5.7A) (HÖRTENSTEINER; KRÄUTLER, 2011; STREIT et al., 2005).

Assim, a análise do teor de clorofila é importante para avaliar a integridade do aparelho interno durante o processo fotossintético dentro de uma folha e fornece uma técnica rápida e precisa de se detectar e quantificar a tolerância das plantas ao estresse hídrico (PERCIVAL; XERIFES, 2002; LI et al., 2006).

O presente trabalho foi estruturado em três capítulos relacionado aos experimentos realizados na Embrapa Cerrados. No primeiro capítulo procurou-se caracterizar o efeito do regime hídrico no desempenho agrônomo e em características morfofisiológicas de genótipos de trigo. No segundo foi analisada a morfofisiologia e o desempenho agrônomo de genótipos de soja, em função do regime hídrico e da aplicação de regulador de crescimento (Trinexapac-ethyl). No terceiro capítulo foi analisada a morfofisiologia e o desempenho agrônomo de genótipos de soja, em função do regime hídrico e da aplicação foliar com potássio (K_2CO_2).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABITRIGO – Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Comparativo da estimativa aparente de moagem industrial de trigo**. São Paulo: Abitrigo, 2012. 5 p. (Boletim informativo, 63) Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/boletins/BO_63.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2015.

AHMAD, P.; JALEEL, C. A.; SHARMA, S. Antioxidant defense system, lipid peroxidation, proline-metabolizing enzymes, and biochemical activities in two *Morus alba* genotypes subjected to NaCl stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 57, n. 4, p. 509-517, 2010.

ALBRECHT, J. C.; SILVA, M.S.; ANDRADE, J. M. V. de; SCHEEREN, P. L.; TRINDADE, M. da G.; SOARES SOBRINHO, J.; SOUSA, C. N. A. de; BRAZ, A. J. B. P.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; SOUSA, M. A. de; FRONZA, V.; YAMANAKA, C. H. **Trigo BRS 264**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 18 p. 2006.

AMINZADEH, G. Evaluation of seed yield stability of wheat advanced genotypes in Ardabil, Iran. **Research Journal Environmental Sciences**, v. 4, p. 478–482, 2010.

ASHRAF, M.; AKRAM, N. A.; ALQURAINY, F.; FOOLAD, M. R. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. **Advances in Agronomy**, v. 111, p. 249-296, 2011.

ATKINSON, N. J.; URWIN, P. E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. **Journal of experimental botany**, v. 63, 2012.

BACALTCHUK, B. Trigo no Brasil: os desafios de um país tropical. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, ALOMAR, G. da. **Agricultura Tropical**. Brasília-DF. Embrapa Informações tecnológicas. 2008. cap. 2, p. 163.

BALLANTYNE, J. S.; CHAMBERLIN, M. E. Regulation of cellular amino acid levels. In: STRANGE, K. Cellular and molecular physiology of cell volume regulation. **Boca Raton: CRC Press**, p. 111-122, 1994.

BATISTA, F. P. S. **Viabilidade da implantação do trigo duplo propósito na Região do Distrito Federal**. 2011. 168 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UnB, Brasília, 2011.

BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? **Aust. J. Agric. Res.**, v. 56, p. 1159–1168, 2005.

BLUM, A. Plant water relations, plant stress and plant production. **In Plant Breeding for Water-Limited Environments**. Springer New York, pp 11-52, 2011.

BORÉM, A. **Melhoramento de Espécies Cultivadas**. 2ª ed. Viçosa. Ed. UFV, 2005, 969 p.

BOSCHINI, A. P. M. **Produtividade e qualidade de grãos de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água no Distrito Federal, 2010**. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BUCKERIDGE, M. S.; TINÉ, M. A. S.; SANTOS, H. P. dos; LIMA, D. U. de. Polissacarídeos de reserva de parede celular em sementes. Estrutura, metabolismo, funções e aspectos ecológicos. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 12, p. 137-162, 2000.

BUZZELLO, G. L. **Uso de reguladores no controle do crescimento e no desempenho agrônomo da cultura da soja cultivar CD 214 RR**. 2010. 157 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFP, 2010.

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Turquia, v. 168, p. 521-530, 2005.

CÂMARA, G. M. de S; HEIFIGG, L. S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G. M. de S. **Soja: tecnologia de produção II**. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000. p. 81-117.

CÂMARA, G. M. DE SOUSA. **Introdução ao agronegócio soja**. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/sites/default/files/LPV%200584%202015%20-%20Soja%20Apostila%20Agronegocio.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2016.

CÂMARA, G. M. S. Fisiologia da produção de soja. **Soja & Cia**, Piracicaba: EdUSP, 2009. p. 150-177.

CARVALHO, J. P. S. **Classificação de cultivares de soja adotando abordagem univariada e multivariada**. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Lavras– UFL, Lavras, 2017.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R.A.; EDS. **Ecofisiologia de cultivos anuais**. São Paulo: Ed. Nobel, 1999, p. 128.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

CHRIST, B.; SCHELBERT, S.; AUBRY, S.; SUSSENBACHER, I.; MULLER, T.; KRAUTLER, B.; HÖRTENSTEINER, S. MES16, a member of the methylesterase protein family, specifically demethylates fluorescent chlorophyll catabolites during chlorophyll breakdown in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 158, pp 628–641, 2012.

CHRIST, B.; SUSSENBACHER, I.; MOSER, S.; BICHSEL, N.; EGERT, A.; MULLER, T.; KRAUTLER, B.; HÖRTENSTEINER, S. Cytochrome P450 CYP89A9 is involved in the formation of major chlorophyll catabolites during leaf senescence in Arabidopsis. **The Plant Cell**, v. 25, pp 1868–1880, 2013.

CISOJA – Centro De Inteligência da Soja. Sobre soja. **A soja no Brasil, 2012**. Disponível em: <<http://www.cisoja.com.br/index.php?p=artigo&idA=269>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

COELHO, M. A. O.; CONDÉ, A. B. T.; YAMANAKA, C. H.;CORTE, H. R. Evaluated oh wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity in rainfed conditions in Minas Gerais state. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 717-723, 2010.

COLEBROOK, E. H.; THOMAS, S. G.; PHILLIPS, A. L.; HEDDEN P. The role of gibberellin signaling in plant responses to abiotic stress, **Journal of Experimental Biology**, v. 217, 67–75, 2014.

COLOMBARI FILHO, J. M.; RESENDE, M. D. V. de; MORAIS, O. P. de; CASTRO, A. P. de; GUIMARÃES, E. P.; PEREIRA, J. A.; UTUMI, M. M.; BRESEGHELLO, F. Uplandrice breeding in Brazil: a simultaneous genotypic evaluation of stability, adaptability and grain yield. **Euphytica**, v. 192, n. 1, p. 117-129, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **1º Levantamento de intenção de plantio da safra de grãos 2015/16.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_29_14_19_34_relatorio_levantamento_setembro_29-09-15.pdf>. Acesso em: 07 out. 2016.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos.** v. 3, n.12, Safra 2015/16 – Décimo Segundo levantamento, Brasília, p. 1-182, setembro 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_setembro.pdf>. Acesso em: 03 out. 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos: terceiro levantamento, dezembro. 2015.** Brasília: Conab, 2015. vol. 3, 152 p. Publicação mensal. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php>>. Acesso em: 04 jan. 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos: Oitavo levantamento, maio. 2017.** Brasília: Conab, 2017. vol. 4, n. 7, 144p. Publicação mensal. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_12_10_37_57_boletim_graos_maio_2017.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2017.

COODETEC – Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2010. 170p. **Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale** (4.: 2010 jul., 26-29, Cascavel, PR) Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2011/ Organizadores: Volmir Sergio Marchioro; Francisco de Assis Franco.- Cascavel.

CVIKROVÁ, M.; GEMPERLOVÁ, L.; MARTINCOVÁ, O.; VANKOVÁ, R. Effect of drought and combined drought and heat stress on polyamine metabolism in

prolineoverproducing tobacco plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.73, p.7-15, 2013.

DAVIES, P. J. Introduction: The Plant Hormones: Their Nature, Occurrence, and Functions. In.: DAVIES, P. J. (Ed.) **Plant hormones: biosynthesis, signal transduction**, Action. 3. ed. Dordrecht: Springer, 2007. p. 1-6.

DE MORI, C.; IGNACSAK, J. C. Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. (Eds.). **Trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p.41-76, 2011.

DEMIRTAS, Ç.; YAZGAN, S.; CANDOGAN, B. N.; SINCIK, M.; BÜYÜKCANGAZ, H.; GÖKSOY, A. T. Quality and yield response of soybean (*Glycine max* L. Merrill) to drought stress in sub-humid environment. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 41, p. 6873-6881, 2010.

DERYNG, D.; SACKS, W. J.; BARFORD, C. C.; RAMANKUTTY, N. Simulating the effects of climate and agricultural management practices on global crop yield. **Global biogeochemical cycles**, p. 25, 2011.

DESTRO, D.; CARPENTIERI-PIPOLO, V.; KIIHL, R. A. de S.; ALMEIDA, L. A. de. Photoperiodism and genetic control of the long juvenile period in soybean: a review. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1. p. 72-92, 2001.

DOS REIS, S. P.; LIMA, A. M.; SOUZA, C. R. Recent molecular advances on downstream plant responses to abiotic stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 13, n. 7, p. 8628–8647, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Evolução e perspectiva de desempenho econômico associados com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. 3. ed., **Londrina: Embrapa Soja**, p. 46, 2010.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **O Trigo no Brasil, 2011**. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/aunidade/trigo_brasil.htm>. Acesso em: 13 nov. 2016.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil, 2009 e 2010. Londrina, 2008. 262 p. (Embrapa Soja, Sistemas de Produção, 13).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil**. Brasília, 2013. 266 p. (Sistema de Produção, 16).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010.

ESTEVES, E. A.; MARTINO, H. S. D.; OLIVEIRA, F. C. E.; BRESSAN, J.; COSTA, N. M. B. Chemical composition of a soybean cultivar lacking lipoxygenases (LOX2 and LOX3), **Food Chemistry**, v. 122, p. 238–242, 2010.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 72, n. 4, p. 673–689, 2015.

FANG, Y.; XU, B. C.; TURNER, N. C.; LI, F. M. Grain yield, dry matter accumulation and remobilization, and root respiration in winter wheat as affected by seeding rate and root pruning. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 257-266, 2010.

FARIA, A. P. **Avaliação ex vivo da tolerância de cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.) ao déficit hídrico**. 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FARIAS, J. R. B. Dinâmica da água no sistema solo-água-atmosfera: déficit hídrico em culturas. **ITEM**. n. 68, p. 32-37, 2005.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: EMBRAPA, n. 48, 9 p., 2007. Circular Técnica.

FAROOQ, M.; WAHID A.; KOBAYASHI N.; FUJITA D.; BASRA S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, p. 153-188. v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no Mato Grosso. **Nativa**, v.3, n.1, p.67-77, 2015.

FERREIRA, P. R. **Melhoramento de plantas**. Maceió: EDUFAL, 2006.

FIGUEIREDO, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACHADO, F. R.; GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**. Viçosa, v.58, n.3, p.342-349, 2011.

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

FLEURY, D.; JEFFERIES, S.; KUCHEL, H.; LANGRIDGE P. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. **Journal of experimental botany**, v. 6, p. 3211–3222, 2010.

GAO, S.; GAO, J.; ZHU1, X.; SONG, Y.; LI, Z.; REN, G.; ZHOU, X.; KUAI, B. ABF2, ABF3, and ABF4 promote ABA-mediated chlorophyll degradation and leaf senescence by transcriptional activation of chlorophyll catabolic genes and senescence-associated genes In *Arabidopsis*. **Molecular Plant**, v. 9, 1272–1285, 2016.

GARCIA DEL MORAL, L. F.; RHARRABTI, Y.; VILLEGAS, D.; ROYO, C. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: an ontogenic approach. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 266–274, 2003.

GIBERTI, S., FUNCK, D., FORLANI, G. D1-pyrroline-5-carboxylate reductase from *Arabidopsis thaliana*: stimulation or inhibition by chloride ions and feedback regulation by proline depend on whether NADPH or NADH acts as co-substrate. **New Phytologist**, v. 202, p. 911-919, 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.12701>.

GOMES, A. C. L. A. C.; GUIMARÃES, L. A.; PONTES, P. L.; JÚNIOR, G. N. Exigências para o transporte de soja no Brasil e para importação e exportação. 3ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC, Botucatu, p. 5. 2014.

GOMES, C. G. **Determinantes das vendas de fertilizantes para a soja no Brasil de 1988 a 2012**. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Economia e Gestão do Agronegócio) – Fundação Getúlio Vargas, FGV, São Paulo, 2014.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; NACKE, H.; MARENGONI, N. G.; DE CARVALHO, E. A.; COELHO, G. F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras**, v. 34, n. 3, p. 660-667, 2010.

GRZEBISZ, W.; GRANSEE, A.; SZCZEPANIAK, W.; DIATTA, J. The effects of potassium fertilization on water-use efficiency in crop plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 176, 355–374, 2013.

GULLUOGLU, L.; ARIOGLU, H., KURT, C. Adaptability and stability of new soybean cultivars under double cropped conditions of Turkey, **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 6, n. 14, p. 3320-3325, 2011.

HARB, A.; KRISHNAN, A.; AMBAVARAM, M. M.; PEREIRA, A. Molecular and physiological analysis of drought stress in Arabidopsis reveals early responses leading to acclimation in plant growth. **Plant Physiology**, 154, p. 1254–1271, 2010.

HARE, P. D.; CRESS, W. A. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants, **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 21, n. 2, p. 79-102, 1997.

HONNA, P. T. **Obtenção e caracterização molecular e fisiológica de plantas de soja contendo o gene AtGolS2 sob déficit hídrico**. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2015.

HÖRTENSTEINER, S.; KRÄUTLER, B. Chlorophyll breakdown in higher plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics**, v. 1807, p. 977-988, 2011.

JÁKLI, B.; TAVAKOL, E.; TRÄNKNER, M.; SENBAYRAM, M.; DITTERT, K. Quantitative limitations to photosynthesis in K deficient sunflower and their implications on water-use efficiency, **Journal of Plant Physiology**, n 209, pp 20–30, 2017.

KAUR, G.; ASTHIR, B. Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. **Biologia Plantarum**, v. 59, n. 4, p. 609-619, 2015.

KAVI KISHOR, P. B.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; SRI LAXMI, R. N.; NAIDU, K. R.; RAO, K. R. S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Ist implication in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, Bangalore, v. 88, n. 3, p. 424-438, 2005.

KRAUTLER, B. Phyllobilins—the abundant bilin-type tetrapyrrolic catabolites of the green plant pigment chlorophyll. **Chemical Society Reviews**, v. 43, pp 6227–6238, 2014.

KUMAR, S.; MALIK, J.; THAKUR, P.; KAISTHA, S.; SHARMA, K. D.; UPADHYAYA, H. D.; BERGER, J. D.; NAYYAR, H. Growth and metabolic responses of contrasting chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to chilling stress at reproductive phase, **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, 779–787, 2011.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS, T. **Plant physiological ecology**. New York: Springer-Verlag, 1998.

LATA, C.; PRASAD, M. Role of DREBs in regulation of abiotic stress responses in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 14, p. 4731-4748, 2011.

LEE, S. C.; LUAN, S. ABA signal transduction at the crossroad of biotic and abiotic stress responses. **Plant Cell Environ**, v. 35, p. 53–60, 2012.

LEPORT, L.; TURNER, N.C.; DAVIES, S.L.; SIDDIQUE, K.H.M. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought, **European Journal of Agronomy**, v. 24, p. 236–246, 2006.

LI, R. H.; GUO, P. G.; BAUM, M.; GRANDO, S.; CECCARELLI, S. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. **Agricultural Sciences in China**, v. 10, p. 751–757, 2006.

LUO, L. J. Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 13, p. 3509–17, 2010.

LUSTOSA, A. F. **Respostas biométricas ao manejo do solo e da água, em dois genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) no Brasil Central**. 2011, 30f. Trabalho de Graduação (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UnB, Brasília, 2011.

MANICKAVELU, A.; KAWAURA, K.; OISHI, K.; SHIN, I.T.; KOHARA, Y.; YAHIAOUI, N.; KELLER, B.; ABE, R.; SUZUKI, A.; NAGAYAMA, T.; YANO, K.; OGIHARA, Y. Comprehensive functional analyses of expressed sequence tags in common wheat (*Triticum aestivum*). **DNA Research**, n. 19, v. 2, 165–177, 2012.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v.18, p.660-666, 2013.

MARQUES, M. C. **Adaptabilidade, estabilidade e diversidade genética de cultivares de soja em três épocas de semeadura, em Uberlândia MG**. 2010. 97 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MEGURO, M.; ITO, H.; TAKABAYASHI, A.; TANAKA, R.; TANAKA, A. Identification of the 7-hydroxymethyl chlorophyll a reductase of the chlorophyll cycle in *Arabidopsis*. **The Plant Cell**, v. 23, pp 3442–3453, 2011.

MILLER, G., SUZUKI, N., CIFTCI-YILMAZ, S., MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, cell & environment**, v. 33, p. 453-467, 2011.

MIR, R. R.; ZAMAN-ALLAH, M.; SREENIVASULU, N.; TRETOWAN, R.; VARSHNEY, R. K. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 125, p. 625–645, 2012.

MOLINARI, H. B. C. **Expressão estresse-induzida do gene P5CS em plantas transgênicas de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico**. 2006. 124 f. Tese (Doutorado em Agronomia na área de Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. **In: _____ Soja**. Brasília: INMET, 2009. Cap. 15, p. 261-277.

MORANDO, R.; SILVA, A. O. S.; CARVALHO, L. C., PINHEIRO, M. P. M. A. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.3, n. especial, p.114-129, 2014.

MOREIRA, M. A.; FILHO, R. A.; RUDORFF, B. F. T. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 3. Piracicaba, 1999.

MUNNS, R. Plant adaptations to salt and water stress: differences and commonalities. In: TURKAN, I. **Plant responses to drought and salinity stress: developments in a postgenomic Era**. London: Elsevier, v. 57, 2011. p. 132.

MURARO, D. S.; BASSO, C. J.; AGUIAR, A. C. M. Efeito de adubações foliares na qualidade fisiológica e rendimento da soja. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 14, n. 25, p. 226, 2017.

NAKAYAMA, I.; MIYAZAWA, T.; KOBAYASHI, M.; KAMIYA, Y.; ABE, H.; SAKURAI, A. Effects of a new plant growth regulator prohexadione calcium (BX-112) on shoot elongation caused by exogenously applied gibberellins in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. **Plant Cell Physiology**, v. 31, pp 195–200, 1990.

NEVES, J. A. **Desempenho agrônômico de genótipos de soja sob condições de baixa latitude em Teresina-PI**. 2011. 94f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

NOURI-GANBALANI, A.; NOURI-GANBALANI, G.; HASSANPANAHI, D. Effects of drought stress condition on the yield and yield components of advanced wheat genotypes in Ardabil, Iran. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 7, p. 228–234, 2009.

OHASHI, Y.; NAKAYAMA, N.; SANEOKA, H.; FUJITA, K. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. **Biologia Plantarum**, v. 50, n. 1, p. 138-141, 2006.

OLIVEIRA, A. B. **Fenologia, desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em função de épocas de semeadura e densidades de plantas**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado

em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2010.

PELEG, Z.; BLUMWALD, E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. **Current opinion in plant biology**, n. 14, pp 290–295, 2011.

PENARIOL, A. **Soja, cultivares no lugar certo. Informações Agronômicas número 90.** Pelotas, nº 16, p.31-32, 2000.

PERCIVAL, G. C., SHERIFFS, C. N. Identification of drought-tolerant woody perennials using chlorophyll fluorescence. **Journal of Arboriculture**, v. 28, p. 215–223, 2002.

PEROSA, B. B.; PAULILLO, L. F. Novas formas de coordenação setorial em cadeias agroindustriais após 1990: o caso dos elos tritícola e moageiro brasileiros. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 85-98, 2009.

PETERSEN, G.; SEBERG, O.; YDE, M.; BERTHELSEN, K. Phylogenetic relationships of *Triticum* and *Aegilops* and evidence for the origin of A, B, and D genomes of common wheat (*Triticum aestivum*). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 39, p. 70-82, 2011.

PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. **Seropédica: Edur**, 2004.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas.** 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu-SP, 2010.

PINHEIRO, C., CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of experimental botany**, v. 62, 869–882, 2011.

PORTER, J. R.; SEMENOV, M. A. Crop responses to climatic variation. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, pp 2021–2035, 2005.

RADEMACHER, W. Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. **Annual plant reviews**, v. 49, p. 359-404, 2016.

RADEMACHER, W. Growth Retardants: Effects on Gibberellin Biosynthesis and Other Metabolic Pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, p. 501-531, 2000.

RAJALA, A. Plant growth regulators to manipulate cereal growth in Northern growing conditions. 53f. 2003. Dissertation (Academic) – Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, Helsinki, 2003. Disponível em: <<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/sbiol/vk/rajala/plantgro.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2006.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. **Genética na agropecuária**. 5. ed. Lavras: UFLA, 2012.

REDDY, A. S.; ALI, G. S.; CELESNIK, H.; DAY, I. S. Coping with stresses: roles of calcium- and calcium/calmodulin-regulated gene expression. **The Plant Cell**, v. 23, p. 2010–2032, 2011.

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**, 1819, p. 186–194, 2012.

REJEB, K. B.; ABDELLEY, C.; SAVOURÉ, A. How reactive oxygen species and proline face stress together. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 278-284, 2014.

REN, G.; ZHOU, Q.; WU, S.; ZHANG, Y.; ZHANG, L.; HUANG, J.; SUN, Z.; KUAI, B. Reverse genetic identification of CRN1 and its distinctive role in chlorophyll degradation in Arabidopsis. **Journal of integrative plant biology**, v. 52, pp 496–504, 2010.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.

RODRIGUES, O.; HAAS, J. C.; COSTENARO, E. R. Manejo de trigo para alta produtividade II: caracterização ontogenética. **Revista Plantio Direto**, v. 125, 2011.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J. C. B.; DIDONET, A. D.; MARCHESE, J. A. Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 817-825, 2007.

ROLLA, A. A. P.; CARVALHO, J. F. C.; FUGANTI, R. P.; ENGELS, C.; RIO, A.; MARIN, S. R. R.; OLIVEIRA, M. C. N.; BENEVENTI, M. A.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NAKASHIMA, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; NEPOMUCENO, A. L. **Phenotyping soybean plants transformed with rd29A:AtDREB1A for drought tolerance in the greenhouse and field. Transgenic Research**, London, v. 1, p. 1-13, 2013.

SALAMONI, A. T. **Apostila de aulas teóricas de fisiologia vegetal**. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria. sem. 2, 2008.

SALDIVAR, X.; WANG, Y.; CHEN, P.; HOU, A. Changes in chemical composition during soybean seed development. **Food Chemistry**, v. 124, p. 1369–1375, 2011.

SANTOS, R.; VARGAS, G. R. Efeito da adubação potássica na produtividade da soja. **Agr. Sci. Eng.**, Ponta Grossa, v. 18, n. 2., pp 79-84, 2012.

SAYAR, R., KHEMIRA, H., BENSALÉM, M., KAMELI, A. Drought tolerance evaluation tests for durum wheat (*Triticum Durum* Desf). **Poster in International Conference on Integrated Approaches to Sustain and Improve Plant Production under Drought Stress/Inter Drought-II**, p. 3–61, 2005.

SCHELBERT, S.; AUBRY, S.; BURLA, B.; AGNE, B.; KESSLER, F.; KRUPINSKA, K.; HÖRTENSTEINER, S. Pheophytin pheophorbide hydrolase (pheophytinase) is involved in chlorophyll breakdown during leaf senescence in *Arabidopsis*. **The Plant Cell**, v. 21, pp 767–785, 2009.

SCHEUER, P. M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M. Z.; LIMBERGER, V. M. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande. v.13, n. 2, p. 211-222, 2011.

SCHOEFS, B. Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. **Trends in Food Science; Technology**, v. 13, p.361-371, 2002.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecnas, 2009, 314 p.

SEKI, M.; UMEZAWA, T.; URANO, K.; SHINOZAKI, K. Regulatory metabolic networks in drought stress responses. **Current Opinion in Plant Biology**, Washington, v.10, p.296-302, 2007.

SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; SHAO, M. A.; JALEEL, C. A.; HONG-MEI, M. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 6, p. 433-441, 2008.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, n. 1, p. 1-26, 2012.

SHARMA, S., VILLAMOR, J. G., VERSLUES, P. E. Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential. **Plant Physiology**, v. 157, p. 292-304, 2011.

SILVA, F. M. da. **Desempenho de genótipos de trigo em condições edafoclimáticas distintas do estado de São Paulo**. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado Agricultura Tropical e Subtropical) – Curso de Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo, Campinas, 2011.

SILVA, P. A.; OLIVEIRA, I. V.; RODRIGUES, K. C. B.; COSME, V. S.; BASTOS, A. J. R.; DETMANN, K. S. C.; CUNHA, R. L.; FESTUCCI-BUSELLI, R. A.; DAMATTA, F. M.; PINHEIRO, H. A. Leaf gas exchange and multiple enzymatic and non-enzymatic antioxidant strategies related to drought tolerance in two oil palm hybrids. **Trees**, v. 30, n. 1, p. 203-214, 2016.

SINCLAIR, T. R., PURCELL, L. C., KING, C. A., SNELLER, C. H., CHEN, P., VADEZ, V. Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N₂ fixation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 101, p. 68-71, 2007.

SINGH, R.; JWA, N. S. Understanding the responses of rice to environmental stress using proteomics. **Journal of proteome research**, n. 12, pp 4652–4669, 2013.

SLAFER, G. A. Wheat development: its role in phenotyping and improving crop adaptation. **In WHEAT Physiological Breeding I: Interdisciplinary Approaches to Improve Crop Adaptation** (M. Reynolds, A. Pask; D. Mullan), p. 107–121, 2012.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, **South Africa**, v. 98, p. 91-97, 2006.

SOBER – Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2010, Piracicaba-PR - Políticas governamentais e a coordenação da cadeia do trigo no Brasil. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/15/952.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2016.

SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COELHO, C. M. M.; CASA, R. C.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, v.29, p.634-643, 2013.

SREENIVASULU, N.; HARSHAVARDHAN, V. T.; GOVIND, G.; SEILER, C.; KOHLI, A. Contrapuntal role of ABA: does it mediate stress tolerance or plant growth retardation under long-term drought stress? **Gene**, n. 506, pp 265–273, 2012.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. The Chlorophylls. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.748-755, 2005.

SZÁBADOS, L.; KOVACS, H.; ZILBERSTEIN, A.; BOUCHEREAU, A. Plants in extreme environments: importance of protective compounds in stress tolerance. TURKAN, I. Plant responses to drought and salinity stress: developments in a postgenomic Era. London: Elsevier, **Advances in Botanical Research**, v. 57, p. 105-150, 2011.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed. 2013. p. 243-269.

TANAKA, R.; TANAKA, A. Tetrapyrrole biosynthesis in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 321-46, 2007.

THAKUR, P.; KUMAR, S.; MALIK, J. A.; BERGER, J. D.; NAYYAR, H. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, 429–443, 2010.

TODAKA, D.; NAKASHIMA, K.; SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Toward understanding transcriptional regulatory networks in abiotic stress responses and tolerance in rice. **Rice**, v. 5, p. 6, 2012.

TRACE – Traicing origins of food. **Molecular Biology Database**. Disponível em: <http://www.bats.ch/trace/?file5=coreforms/taxonomy.php&record_number=3>. Acesso em: 11 jul. 2017.

TRACE – Traicing origins of food. **Molecular Biology Database**. Disponível em: <http://www.bats.ch/trace/?file5=coreforms/taxonomy.php&record_number=21>. Acesso em: 11 jul. 2017.

TRINDADE, M. G. Produção de Trigo Irrigado no Cerrado em Diferentes Densidades de Semeadura. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Montes Belos, v. 1, p. 99-115, 2006.

TUBEROSA, R. Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomic era. **Frontiers in physiology**, v. 3, p. 1–26, 2012.

USDA – United States Department of Agriculture. **Foreign Agricultural Service**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/statsByCommodity>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

VEIGA, R. F. A.; QUEIRÓZ, M. A. **Recursos fitogenéticos: a base da agricultura sustentável no Brasil**. Viçosa: Ed. UFV, 496 p., 2015.

VENCATO, A. Z.; KIST, B. B.; SANTOS, C.; CARVALHO, C.; SILVEIRA, D.; REETZ, E. R.; BELING, R. R.; CORRÊA, S. **Anuário Brasileiro da Soja 2010**. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 75 p., 2010.

VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**, v. 35, p.753-759, 2008.

VERSLUES, P. E.; SHARMA, S. Proline Metabolism and Its Implications for Plant-Environment Interaction. **Institute of Plant and Microbial Biology**, Academia Sinica, n. 128, 2010.

VESOHOSKI, F.; MARCHIORO, V. S.; FRANCO, F. D. A. Componentes do rendimento de grãos em trigo e seus efeitos diretos e indiretos na produtividade. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 337-341, 2011.

VIVAN, G. A. **Resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo, RS**. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

VOB, U.; BISHOPP, A.; FARCOT, E.; BENNETT, M. J. Modelling hormonal response and development. **Trends in plant science**, p 311–319, 2014.

VON ELBE, J. H. Colorantes. In: FENNEMA, O. W. **Química de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Wisconsin – Madison, p.782-799, 2000.

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, pp 7370–7390, 2013.

WANI, SHABIR H.; KUMAR, VINAY; SHRIRAM, VARSHA; SAH, SAROJ KUMAR. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. **The Crop Journal**, v. 4, n. 3, p. 162-176, 2016.

WHITE, J. W. From genome to wheat: Emerging opportunities for modeling wheat growth and development. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 25, n. 2, p. 79-88, 2006.

WHITTAKER, A.; MARTINELLI, T.; FARRANT, J. M.; BOCHICCHIO, A.; VAZZANA, C. Sucrose phosphate synthase activity and the co-ordination of carbon partitioning during sucrose and amino acid accumulation in desiccation-tolerant leaf material of the C₄ resurrection plant *Sporobolus stapfianus* during dehydration. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 13, 3775-3787. 2007.

WILCOX, J.; MAKOWSKI, D. A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yields using simulation studies. **Field Crops Research**, v. 156, p. 180-190, 2014.

- WITCOMBE, J. R.; HOLLINGTON, J. P. A.; HOWARTH, C. J.; READER, S.; STEELE, K. A. Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biologicalsciences**, v. 363, n. 1492, p. 703–716, 2008.
- WRIGLEY, C. W. Wheat: a unique grain for the world. In: KHAN, K. SHEWRY, P.R. **Wheat: chemistry and technology**. 4. ed., St Paul: AACC, p. 1-17, 2009.
- YAMAGUCHI, S. Gibberellin metabolism and its regulation. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 59, 225–251, 2008.
- YANG, A.; JAMES, A.T. Effects of soybean protein composition and processing conditions on silken tofu properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, p. 3065–3071, 2013.
- YOSHIKAWA, Y.; CHEN, P.; ZHANG, B.; SCABOO, A.; ORAZALY, M. Evaluation of seed chemical quality traits and sensory properties of natto soybean. **Food Chemistry**, v. 153, p. 186–192, 2014.
- ZADOKS, J. C., CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, Oxford, v. 14, p. 415-421, 1974.
- ZHANG, M.; L.V., D.; GE, P.; BIAN, Y.; CHEN, G.; ZHU, G.; LI, X., YAN, Y. Phosphoproteome analysis reveals new drought response and defense mechanisms of seedling leaves in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Proteomics**, v. 109, n. 23, p. 290-308, 2014.
- ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 53, p. 247–273, 2002.

1 CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE TRIGO SUBMETIDOS A ESTRESSE HÍDRICO

1.1 RESUMO

O trigo é uma espécie autógama que sofreu hibridações interespecíficas por aloploidia; fenômeno que contribuiu para elevada diversidade e poder adaptativo da espécie. Entretanto, a produção desta planta é altamente sensível às variações climáticas e ambientais, principalmente o estresse hídrico. A seleção de genótipos mais adaptados à seca pode diminuir os custos em razão da menor demanda de água exigida pela planta além de viabilizar seu uso em outras estações como o verão (safrinha). Este trabalho objetiva a caracterização morfofisiológica de cultivares de trigo submetidos a lâminas decrescentes de irrigação. O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, em que as parcelas foram destinadas aos genótipos (Aliança, BR 18, BRS 254, BRS 264, Brilhante, CPAC 0544, PF 0100660, PF 080492, PF 37, PF 62 e tratamento Mistura), as subparcelas às lâminas de irrigação (533, 438, 297, 202 e 184 mm). O PF 080492 (de cultivo irrigado) apresentou melhor desempenho agrônômico (elevada produtividade, peso por hectolitro e eficiência do uso de água aplicada) em condições de lâminas de irrigação mais elevadas e sob déficit hídrico. No PF 080492, os atributos agrônômicos estiveram associados com morfofisiológicos: elevados comprimento da espiga e da arista, porte baixo, elevados números de perfilhos e razão clorofila a/b e elevada concentrações de prolina em condições de estresse hídrico.

Palavras chave: *Triticum aestivum*, estresse hídrico, tolerância à seca, morfofisiologia, Cerrado.

ABSTRACT

Wheat is an autogamous species that has undergone interspecific hybridizations for allopolyploidy; a phenomenon that contributed to the high diversity and adaptive power of the species. However, the production of this plant is highly sensitive to climatic and environmental variations, especially water stress. The selection of genotypes more adapted to the drought can reduce the costs due to the lower demand of water demanded by the plant besides making possible its use in other seasons as the summer (off-season). This work aims to study the morphophysiological characterization of wheat cultivars submitted to decreasing irrigation levels. The experiment was conducted at Embrapa Cerrados and the experimental design was a randomized complete block with subdivided plots. The plots were assigned to the genotypes (Aliança, BR 18, BRS 254, BRS 264, Brilhante, CPAC 0544, PF 0100660, PF 080492, PF 37, PF 62 and Blend treatment) and the subplots to the irrigation levels (533, 438, 297, 202 and 184 mm). PF 080492 (irrigated crop) showed better agronomic performance (high productivity, weight per hectoliter and efficiency of the use of applied water) under conditions of higher and lower irrigation levels. For PF 080492, the agronomic attributes were associated with morphophysiological traits: high ear length and edge, low size, high tiller numbers and chlorophyll a/b ratio and high proline concentrations under water stress conditions.

Key words: *Triticum aestivum*, water stress, drought tolerance, morphology, Cerrado.

1.2 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum*) é um dos cereais mais produzidos no mundo, principalmente devido à grande demanda de seus derivados. Esta cultura pode adaptar-se a regiões de climas desérticos, no entanto, seu rendimento é frequentemente afetado pelo déficit hídrico (PINNOW et al., 2013; MOHAMMADI et al., 2012; ZHANG et. al, 2014).

A seca representa um dos mais graves fatores ambientais limitantes do crescimento e da produtividade das plantas e, com o aumento de frequência dos eventos climáticos extremos, as pesquisas relacionadas ao déficit hídrico tornaram-se cada vez mais importantes, principalmente considerando-se a necessidade de aumento da produtividade das culturas para alimentar uma população mundial em grau elevado de crescimento (FEDOROFF et. al, 2010). Por isso, o aumento do desempenho produtivo das culturas em condições de seca vem sendo um dos principais objetivos do melhoramento genético (TUBEROSA, 2012). No entanto, a seleção de genótipos para tolerância à seca em várias culturas como o trigo é muito complexa uma vez que envolve múltiplos fatores poligênicos e, ainda, interações entre os genótipos e as condições ambientais (SZÚCS et al., 2010).

Essa é razão pela qual novos avanços no melhoramento procuram reduzir a distância entre o potencial de rendimento e o rendimento real das culturas em ambientes propensos à seca (ABDOLSHAHI et. al, 2015). Apesar de existir uma correlação positiva entre o rendimento de grãos do trigo sob estresse hídrico e o rendimento em condições ambientais não-estressadas, a seleção com base unicamente no rendimento potencial em condições estressadas pode não promover os melhores resultados para a seleção de genótipos tolerantes à seca (MOHAMMADI et al., 2011; ABDOLSHAHI et al., 2013).

Por essa razão, uma análise mais integrada em genótipos de trigo, envolvendo vários parâmetros morfofisiológicos combinados com métodos de melhoramento genético, possui maior potencial para incrementar a produtividade e proporcionar maior estabilidade de produção, do que quando a utilização apenas de melhoramento genético baseado em potenciais produtivos, os atributos morfofisiológicos – número de perfilhos, número de grãos por espiga, número de perfilhos férteis por planta, peso de mil grãos, comprimento do pedúnculo, altura da planta, comprimento da espiga, número de grãos por espiga e peso de grãos por espiga – estão intimamente relacionados com o rendimento de grãos do trigo (AMINZADEH, 2010).

O impacto do estresse hídrico na planta geralmente é caracterizado pela perda de teor de água, redução do potencial hídrico, perda de turgor, fechamento dos estômatos, além da redução do alongamento celular e do crescimento (JALEEL, 2009). No trigo, perdas severas de água resultam na cessação dos processos de fotossíntese e produção de energia, perturbação do metabolismo e, finalmente, a morte celular (FAGHANI, 2015). Este processo é rápido, visto que desencadeia uma cascata de alterações metabólicas que vão das raízes às folhas (FINKELSTEIN et al., 2011).

A perda de água do tecido da planta produz efeitos diretos, como a redução do potencial químico ou atividade da água, além de aumentar a concentração de macromoléculas e de solutos de baixo peso molecular. Pode, também, interferir nas relações espaciais em membranas e organelas, devido à redução do seu volume, reduzindo a pressão hidrostática dentro das células em genótipos de trigo (CARVALHO et al., 2011).

Ao longo do processo evolutivo, as plantas desenvolveram mecanismos fisiológicos e moleculares sofisticados para mitigar os efeitos nocivos do estresse hídrico, como o controle do teor relativo de água, o controle estomático, aumento da absorção de água através do desenvolvimento de sistemas radiculares profundos e acúmulo de osmorreguladores, como a prolina e a glicina betaína (YOO, 2009; GOWDA, 2011; RAMPINO, 2006). Além disso, as plantas desenvolveram uma série de sistemas enzimáticos e não enzimáticos para lidar com as tensões impostas pelo estresse oxidativo atuantes em condições de seca prolongada, incluindo a produção de compostos antioxidantes, como a glutatona e ascorbato, peroxidases e superóxido dismutase que são enzimas atuantes na redução de espécies reativas de oxigênio (ROS) (CRUZ de CARVALHO, 2008).

Assim, o desenvolvimento de novas variedades de trigo e técnicas de manejo da irrigação na triticultura associados à expansão da fronteira agrícola, pode consolidar a sua expansão para varias regiões, como o Cerrados do Brasil Central (BOSCHINI et al., 2011).

Esse trabalho tem por objetivo avaliar o efeito do regime hídrico no desempenho agrônômico e em características morfofisiológicas de genótipos de trigo, com biótipos desenvolvidos para os sistemas de cultivo de sequeiro e irrigado.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1.3.1 Caracterização edafoclimáticas

O estudo foi realizado no ano de 2014 no campo experimental da Embrapa Cerrados localizado nas coordenadas geográficas de 15° 35' 30'' S e 47° 42' 00'' W (Figura 5.8A), localizado a 1,50 Km da BR 020 (Km 18), região administrativa de Planaltina-DF.

O solo é classificado como Latossolo-Vermelho distrófico e de textura argilosa (teor de argila de 570 g kg⁻¹) a moderada (SANTOS et al., 2013). A altitude da área é de aproximadamente 1014 m com temperatura média anual de 22°C e pluviosidade média de 1202 mm (SILVA et al., 2016).

Segundo Köppen (1918) a classificação do clima do Distrito Federal é Aw, caracterizada por clima tropical, concentrando-se no verão as precipitações.

O período chuvoso corresponde aos meses de outubro a abril (primavera e verão), e o período seco ocorre nos meses de maio a setembro (outono e inverno) (CONAB, 2017).

Os dados climatológicos aferidos na época do experimento encontram-se na Figura 1.1.

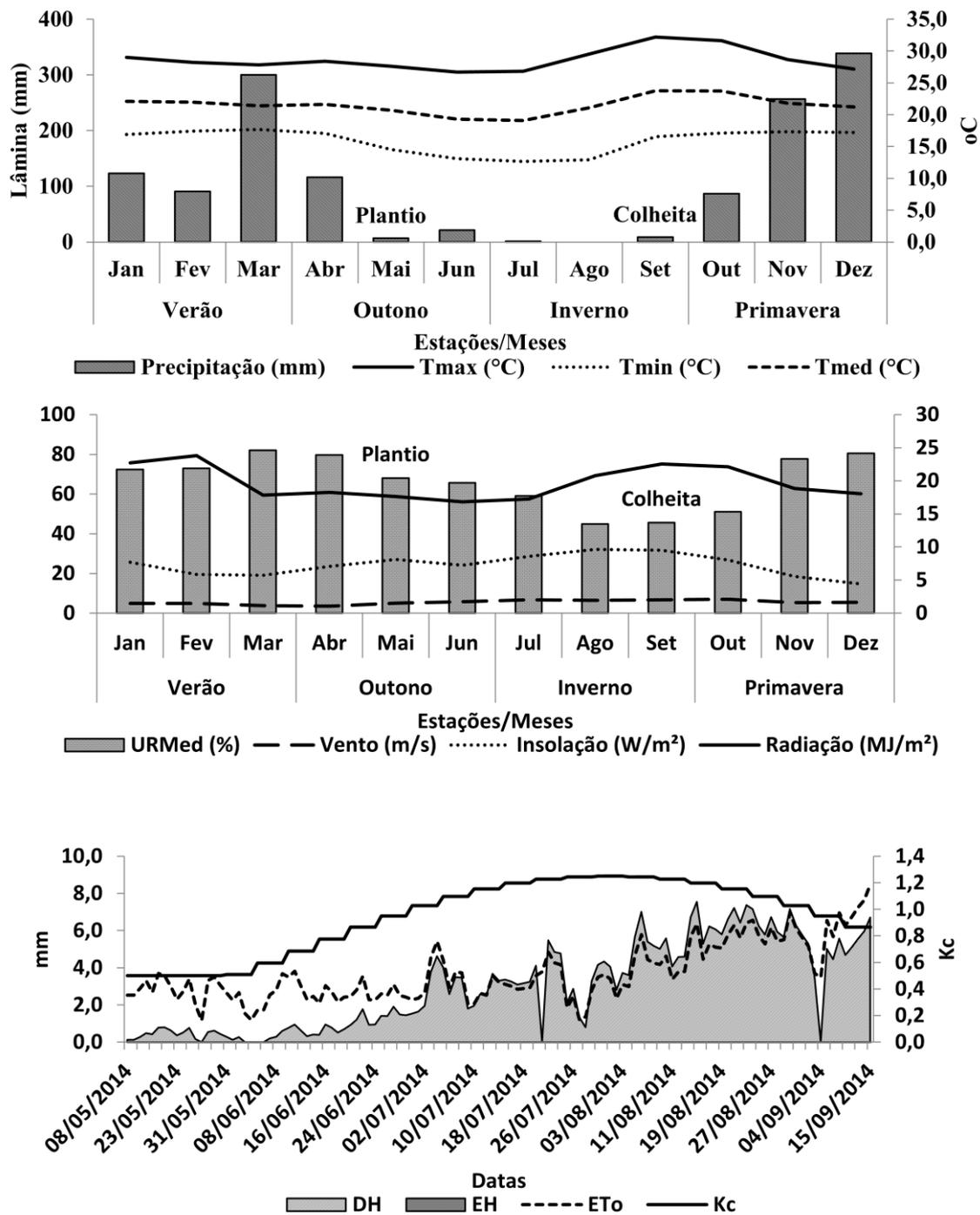


Figura 1.1 Dados climatológicos e dados relacionados à necessidade hídrica no ciclo da cultura do trigo observados no ano de 2014. Precipitação pluviométrica, temperatura média (Tmed), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), umidade relativa média (URMed), radiação solar (MJ/m^2), insolação (W/m^2); velocidade do vento (m/s). Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Cerrados (2017) (<http://hidro.cpac.embrapa.br>). Evapotranspiração de referência (ET_0); coeficiente de cultura (Kc); excedente hídrico (EH) e déficit hídrico (DH) calculados a partir da data de emergência da cultura. Instituto Fonte: Nacional de Meteorologia – INMET (2017) (<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhc>).

1.3.2 Área e delineamento experimental

A área experimental possuía 1836 m² (18 m x 102 m), as linhas de cultivo foram espaçadas em 20 cm, tendo cada parcela 5 linhas com dimensões de 18 m comprimento por 1,00 m de largura. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas. As parcelas foram compostas pelos genótipos: Aliança, BR18, Brilhante, BRS 254, BRS 264, CPAC 0544, PF 0100660, PF 080492, PF 020037 (PF 37), PF 0220062 (PF 62). Também foi avaliada uma parcela denominada “Mistura” composta pelas sementes de todos os genótipos utilizados sendo resguardada as suas respectivas densidades de plantio. As subparcelas foram compostas pelas lâminas de irrigação: 533, 438, 297, 202, 184 mm.

No intuito de se evitar acamamento foi aplicado nos primeiros 6 m da lâmina mais elevada (533 mm) 500 mL ha⁻¹ do regulador Trinexapac-ethyl (250 g L⁻¹, 25% m/v). O Trinexapac-ethyl age em uma enzima importante na biossíntese de geberilina, a Giberelina 3β-hidroxilase, responsável pela transformação de GA20, uma giberelina inativa na célula, em GA1 (que é a giberelina ativa). Tal transformação é responsável pela promoção do alongamento do caule (RADEMACHER, 2016; NAKAYAMA et al., 1990).

1.3.3 Características dos genótipos

Ribeiro Junior et al. (2006) estudaram as características morfofisiológicas desejáveis para a fenotipagem de tolerância à seca nos seguintes genótipos: Aliança – material de sequeiro obtido pelo cruzamento entre a PF 858 e a OCEPAR 11, possui classe comercial para trigo pão e tem excelente estabilidade produtiva; Brilhante – material de sequeiro, obtido pelo cruzamento entre a linhagem PF 8640 e a cultivar BR 24, possui classe comercial para trigo pão, não possui aristas (espigas múticas) e apresenta, visualmente, um sistema radicular abundante que é uma característica desejável na eficiência no uso da água em condições de baixa disponibilidade hídrica no solo, considerado tolerante à seca; PF 020037 – material de sequeiro tradicional e tem como característica relevante a presença de cerosidade intensa nas folhas e os colmos, mecanismo natural de tolerância à seca; PF 020062 – material de sequeiro, linhagem muito próxima geneticamente (linha irmã) ao PF 020037, não possui serosidade, sendo um material mais susceptível ao estresse hídrico; PF 18 – material de sequeiro tradicional, caracterizado por sua rusticidade e porte baixo; BRS 254 – material de cultivo irrigado caracterizado por excelente qualidade e força de glúten (classe comercial melhorador

– W = 341 x 10⁻⁴ J), BRS 264 – material de cultivo irrigado de elevada precocidade e classe comercial tipo pão (W = 265 x 10⁻⁴ J).

O genótipo CPAC 0544 é um material de cultivo irrigado e que tem apresentado 30% de tolerância a Brusone (*Magnaporthe grisea*) (ANDRADE, 2015); O PF 080492 é classificado como material de cultivo em sequeiro no Sul, mas na região Centro-Oeste tem demonstrado aptidão para sequeiro; o PF 0100660 (cruzamento do Aliança x WT99172) é um lançamento de Passo Fundo de cultivo sequeiro.

Os genótipos de sequeiro foram conduzidos durante o inverno com o intuito de obter características de tolerância à seca mediante a simulação do seu cultivo em safrinha. Nesse período (inverno) tem-se maior facilidade em implantar os níveis de estresse hídrico, pois, em qualquer outra época do ano, essas condições seriam muito mais difíceis devido à interferência das chuvas.

Os genótipos de cultivo irrigado foram conduzidos com o intuito de obter, características de tolerância à seca, mas principalmente maior eficiência do uso de água.

O tratamento “Mistura” composto por todos os genótipos de trigo avaliados no experimento, por possuir plantas com diferentes arquiteturas de parte aérea (estratos) e, possivelmente, de raízes, em hipótese, pode promover maior produtividade e tolerância à seca em razão do uso mais intensivo da área e maior eficiência na exploração da energia luminosa incidente na parte aéreas da água e nutrientes no perfil do solo.

1.3.4 Adubação e plantio

Antes da implantação do experimento as plantas daninhas presentes na área foram tratadas com herbicida à base de Glifosato (64,8% m/v; 648 g L⁻¹).

O plantio do experimento foi realizado no dia 08 de maio de 2014 seguindo o calendário agrícola adotado para maioria das mesorregiões produtoras da cultura no Brasil (CONAB, 2017), sob o sistema plantio direto (SPD), sendo semeadas 300 sementes por metro linear e a emergência ocorreu no dia 16 do mesmo mês (Figura 5.14A, fotos 1 – 5). O perfilhamento ocorreu aos 27 DAE (16 de junho) e o enchimento do grão aos 60 DAE (21 de julho) e a colheita de todo material foi feita no dia 15 de setembro (108 DAE), totalizando 115 dias de ciclo.

A adubação do plantio foi feita com o formulado 04-14-08 (643 kg ha⁻¹) e a adubação de cobertura foi feita aos 28 DAE, com 100 kg de N ha⁻¹ à base de ureia ((NH₂)₂CO). A análise do solo encontra-se na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 Caracterização química do solo da área experimental de cultivo do trigo testados em diferentes lâminas de irrigação. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Profundidades	pH H ₂ O	P	Al	K	Ca	Mg	H+Al	MO	SB	CTC 7,0	V	m
cm		mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----					%	cmolc dm ⁻³	-----%-----		
0-20	5,92	48,66	0,03	0,38	3,43	1,50	4,16	1,40	5,31	9,47	56,07	0,56
21-40	5,44	5,24	0,23	0,17	1,62	0,92	4,36	1,45	2,71	7,07	38,33	8,49

Absorção atômica: Ca²⁺, Mg²⁺; Fotômetro de chama: K⁺; Titulometria: Al, H+Al. Espectrofotometria: P (Mehlich1); Walkley & Black: Matéria Orgânica (MO). Areia grossa = 236 g kg⁻¹; areia fina = 47; silte = 116 g kg⁻¹; argila = 601 g kg⁻¹.

1.3.5 Regime hídrico

A área foi irrigada por um sistema móvel (autopropelido com velocidade regulável) constituído por uma barra irrigadora de aspersão, com 40 m de largura, contendo dez aspersores em sua lateral espaçados uniformemente. A barra se movimenta em sentido perpendicular à linha de cultivo formando uma área irrigada retangular (Figura 5.9A; Figura 5.12.A). Esse sistema de irrigação teve por base o sistema fixo *line source* (HANKS et al., 1976b).

Durante os primeiros 28 dias após a emergência (DAE) a irrigação foi homogênea em toda a área experimental, sendo realizadas onze irrigações (lâmina acumulada de 165 mm). Após esse período a vazão dos dez aspersores foi reduzida gradualmente a partir do 2º aspersor (maior lâmina aplicada) até 6º aspersor (menor lâmina aplicada) e excluindo os quatro últimos aspersores da extremidade (máximo déficit hídrico). Nessa fase foram realizadas dez irrigações em gradiente.

O regime hídrico adotado foi caracterizado por 5 lâminas de irrigação em gradiente obtidos pela soma da irrigação homogênea (165 mm) até última irrigação realizada em gradiente, totalizando ao final do ciclo: 553, 438, 202, 297, 184 mm. As lâminas aplicadas foram medidas a cada evento de irrigação com o auxílio de duas fileiras de coletores (com 18 coletores por fileira) instalados de forma paralela à linha de irrigação (Figura 5.15A, fotos 7 e 8).

A determinação da lâmina de irrigação aplicada foi realizada com o auxílio do Programa de Monitoramento de Irrigação para o Cerrado fornecido pela Embrapa Cerrados. O referido programa é abastecido com o tipo da cultura, a variedade usada, o tipo de solo e a data de emergência das plantas e por meio dessas informações, o programa fornece automaticamente a lâmina líquida e o turno de rega que devem ser aplicados. Esse programa está disponível gratuitamente no endereço: <http://www.cpac.embrapa.br> no link "Monitoramento da Irrigação" ou acessando diretamente o endereço <http://hidro.cpac.embrapa.br> (EMBRAPA, 2013).

A lâmina líquida de irrigação é calculada com base nos resultados de vinte e dois anos de pesquisas das relações solo-água-plantas-atmosfera no Bioma Cerrado para cada cultura. O programa estima a evapotranspiração de referência com base na equação proposta por Penman-Monteith (1965): $ET_0 = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{(T - 273)} (e_s - e_a)$

Onde: ET_0 é a evapotranspiração diária de referência (mm); λ é o calor latente de vaporização (MJ kg^{-1}); δ é a inclinação da curva da pressão de vapor saturado versus temperatura (kPa K^{-1}); R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); e_s é a pressão de vapor saturado do ar (kPa); e_a é a pressão de vapor do ar na altura z (kPa); T é a temperatura do ar na altura z ($^{\circ}\text{C}$); γ^* é o coeficiente psicrométrico modificado (kPa K^{-1}) = $\gamma (1 + 0,33 U_2)$; U_2 é a Velocidade do vento medida a 2 metros de altura (m s^{-1}); 900 é uma constante ($\text{kJ}^{-1} \text{ kg}^0 \text{K}$).

1.3.6 Avaliações morfofisiológicas e laboratoriais

As avaliações tiveram início com a planta aos 72 DAE (na fase fenológica de florescimento) (Figura 5.13A). O número de perfilhos m^{-1} linear foi contado em cada acesso (subparcela) em uma das fileiras interiores à bordadura selecionada ao acaso. Esse mesmo critério foi utilizado para a medição do diâmetro dos perfilhos em que foram tomados os diâmetros de até 20 perfilhos por touceira, sendo as medidas realizadas, com o auxílio de um paquímetro digital, entre o segundo e terceiro entrenó (Figura 5.15A, foto 6).

Foi determinada também a altura das plantas com o auxílio de uma trena graduada, sendo medida da base da planta até a arista terminal de forma perpendicular ao plano da superfície. Os teores de clorofila a e b foram medidos utilizando o medidor portátil de

clorofila ClorofiLOG (CFL-1030, Falker) que fornecem medições relativas do total de clorofila (0 a 100), mas que correlaciona-se linearmente com o teor de clorofila total (Figura 5.15A, fotos 9-11) (RIGON et al., 2012). As medições foram realizadas na folha bandeira, no período da manhã na fase de enchimento do grão (estádios: 7.71 a 7.77 de Zadoks).

Nesta fase (72 DAE), foram coletas amostras em três profundidades (0 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm) para a determinação da umidade do solo e as coletas foram realizadas antes e após cada irrigação em todas as faixas de irrigação estudadas (Tabela 1.2). As amostras foram pesadas e colocadas em uma estufa a 105 °C por três dias quando foram novamente pesadas para determinação do peso seco. O percentual de umidade foi calculado pela fórmula:

$$UG (\%) = \frac{MU-MS}{MS}.100. \text{ Onde: } UG = \text{umidade gravimétrica (\%); } MU = \text{Massa do solo úmido; } MS = \text{Massa do solo seco.}$$

Tabela 1.2 Percentuais de umidade (U%) em função das profundidades e das lâminas aplicadas na área experimental de cultivo do trigo. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Lâmina (mm)	U% Antes da Irrigação	U% Após Irrigação
	0 – 10 cm	
553	21,38	26,91
438	19,03	23,12
297	15,06	17,66
202	15,04	14,89
184	14,15	13,26
	10 – 20 cm	
553	22,09	26,73
438	18,37	26,60
297	18,46	16,63
202	14,60	15,51
184	15,47	14,69
	20 – 30 cm	
553	23,46	25,36
438	18,91	20,27
297	17,23	17,15
202	15,49	15,73
184	16,52	15,90

Foram feitas coletas da folha bandeira dos genótipos de trigo no mesmo dia da coleta de solo; a coleta foi realizada no início da noite, no estágio fisiológico de enchimento dos grãos. Foram coletadas 5 folhas de cada genótipo e as amostras colocadas em tubetes de plástico devidamente identificados e depositados imediatamente em um recipiente de isopor

com nitrogênio líquido (N₂). Após as coletas das folhas, as mesmas foram armazenadas no freezer -80 °C até o momento das análises.

A determinação dos teores de prolina livre nas amostras da folha bandeira foi feita no laboratório de bioquímica do solo da Universidade de Brasília (UnB) pelo método do ácido sulfossalicílico descrito por Bates et al. (1973) (Figura 5.16A).

O extrato para determinação da prolina foi obtido pela adição de 10 mL de ácido sulfossalicílico a 3% em cerca de 0,5 g de folha previamente macerada em cadinho de porcelana e filtrado em papel filtro. O filtrado foi transferido para tubos de ensaio com tampa rosqueável, sendo adicionados 1,5 mL de extrato, 1 mL de glicina, 1 mL de ninidrina ácida, e 1 mL de ácido acético glacial. A mistura foi mantida em banho-maria (100 °C) por uma hora, para o desenvolvimento da cor. Em seguida, os tubos de ensaio foram colocados em banho de gelo por 10 minutos para cessar a reação. A extração do cromóforo foi realizada pela adição de 4 mL de tolueno à mistura de reação, seguida de agitação vigorosa por 20 segundos. Após repouso e formação da mistura bifásica, a fase superior foi retirada para a quantificação dos níveis de prolina livre, por intermédio de medidas de absorvância em espectrofotômetro SP-2000 U.V. ajustado para 515 nm. Utilizou-se como branco apenas o tolueno. Como padrão, utilizou-se a prolina pura determinada em curva característica.

Os teores de prolina foram calculados com base na massa fresca, segundo a fórmula:

$$\mathbf{Pr} = \frac{(\mu\text{g prolina mL}^{-1} \times \text{mL tolueno}) / 115,5 \mu\text{g } \mu\text{mol}^{-1}}{\text{g amostra}/5}$$

Onde **Pr** = $\mu\text{mol de prolina g}^{-1}$ massa fresca (MF). Cada repetição (amostra) foi representada por um extrato simples, determinado em triplicatas.

A colheita manual dos genótipos foi feita com o auxílio de cutelo em uma área de 1,00 m² (Figura 5.15A, fotos 15). O material colhido (espigas e hastes) foi depositado em sacos de rafia de onde procedeu a contagem de todas as espigas. Com o auxílio de uma trena graduada foram determinados o comprimento do pedúnculo floral (tomado da inserção da folha bandeira à base da espiga), da espiga (medido a partir de sua base até o ápice) e das aristas (a partir do ápice da espiga até a ponta da arista). Este procedimento foi realizado por amostragem aleatória em 10 hastes por parcela no material colhido (Figura 5.15A, fotos 19 – 23).

Aos 15 dias após a colheita, o material foi devidamente debulhado (em uma máquina de debulha) e limpo. Durante esse procedimento o material (grãos) foi transferido para sacos plásticos transparentes, e submetido à secagem em condições naturais (para eliminação do excesso de umidade) durante, aproximadamente, 15 dias.

Após esse período, foi estimado peso de 1000 grãos mediante a contagem manual de 100 grãos de trigo de cada subparcela, pesados em uma balança semi-analítica com precisão 0,01 (Brasil, 1992), e os resultados foram multiplicados por 10 de acordo com a fórmula:

$$\mathbf{PMG} = \frac{\mathbf{PA} \times 10}{\mathbf{NS}}$$
. Onde: **PMG** = Peso mil grãos; **PA** = Peso da amostra; **NS** = Números de grãos.

O peso por hectolitro (**PH**, kg hL⁻¹) foi determinado utilizando-se balança modelo *Determinator of Hectoliter Weight* pela metodologia descrita por Brasil (1992) de acordo com a fórmula:

$$\mathbf{PH} = \frac{\mathbf{PBH} \times 100}{\mathbf{VB}}$$
. Onde: **PH** = Peso por hectolitro; **PBH** = Peso obtido na balança hectolétrica; **VB** = Volume na balança.

A determinação da umidade das amostras dos grãos foi realizada com auxílio de uma estufa a 105 ± 3°C por 24 horas (Brasil, 1992). Os grãos apresentaram umidade media em torno de 12,27 ± 0,67% e foi corrigida para 13%.

A determinação da produtividade foi feita após a secagem, nessa etapa os grãos das parcelas foram devidamente pesados e a produtividade foi estimada em kg ha⁻¹ acordo com a fórmula:

$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{P}_{\text{Atual}}(100 - \mathbf{U}\%_{\text{Atual}})}{(100 - \mathbf{U}\%_{\text{Almejada}})} \times 10$$
. Onde: **P** = Produtividade (kg ha⁻¹); **P_{Atual}** = Peso do grão colhido subparcela; **U%_{Atual}** = Umidade do grão colhido subparcela; **U%_{Almejada}** = Umidade do grão almejada (13%).

A eficiência do uso de água aplicada foi estimada a partir das áreas das subparcelas e calculada pela fórmula:

$EUAA = \frac{P}{LTA}$. Onde: **EUAA** = Eficiência do uso de água aplicada ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$); **P** = Produtividade (kg ha^{-1}); **LTA** = lâmina total aplicada (mm).

Para o cálculo da EUAA foi levada em consideração somente à lâmina aplicada pela irrigação (ERTEK et al. 2006; SOUZA et al. 2011). Foram contabilizadas, para efeito de cálculos, precipitações que atingiram a capacidade de campo (acima de 30 mm) ocorrida em períodos menores que 5 dias.

1.3.7 Análise estatística

Na análise dos dados foi utilizado modelo misto balanceado gerado pelo procedimento PROC MIXED (LITTELL et al., 1996):

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + L_j + (G \times L)_{ij} + B_k + (G \times B)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Onde: μ : Média das parcelas; G_i : é o efeito dos genótipos; L_j : é o efeito da Lâmina de irrigação; $(G \times L)_{ij}$: Efeitos da interação Genótipo x Lâmina de irrigação; B_k : é o efeito de Bloco; $(G \times B)_{ik}$: erro **a**, gerado pela observação dos genótipos nas parcelas; ϵ_{ijk} : erro **c**, gerado pela observação das Lâmina de irrigação nas subparcelas. Onde: G_i , L_k , e $(G \times L)_{ik}$ são efeitos fixos; B_k , $(G \times B)_{ik}$, são efeitos aleatórios; e ϵ_{ijk} é o erro aleatório.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias das espécies foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software SAS, versão 9.1 (SAS, 2008).

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.4.1 Análise de variância

De acordo com a análise de variância (ANAVA), a maioria dos parâmetros apresentaram efeitos isolados dos genótipos de trigo (G) e das lâminas de água aplicada (L). O número de espigas por metro quadrado, o PH, o comprimento do pedúnculo e o comprimento das aristas foram os únicos parâmetros que apresentaram interação entre genótipos de trigo e lâmina de água aplicada (G x L) (Tabela 1.3). As estatísticas da produtividade e da concentração de prolina na folha bandeira foram realizadas por análise de regressão.

Tabela 1.3 Valores de testes de hipóteses ($F < Pr$) para cada parâmetro avaliado em genótipos de trigo tratados com lâminas decrescentes de irrigação. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Componentes de produção e prolina											
FV	GL	Nº de espiga	PMG	PH	Produtividade	EUAA	GL	Prolina			
		m ⁻²	g	kg hl ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹		µmol g ⁻¹			
G	10	<.0001*	<.0001*	<.0001*	0,4900	0,0003*	4	0,2743			
L	4	<.0001*	<.0001*	<.0001*	0,0773	<.0001*	4	<.0001*			
G x L	40	0,0262*	0,0691	<.0001*	0,8894	0,5685	16	0,9594			
Parâmetros morfológicos											
FV	GL	Nº Perf.	Diam. Perf.	Alt.	Cla	Clb	Cla/b	CIT	Comp. Pend.	Comp. Espig.	Comp. Arista
		m ⁻¹	mm	cm	Unid.	Unid.	Unid.	Unid.	cm	cm	cm
G	10	<.0001*	<.0001*	<.0001*	0,0008*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
L	4	<.0001*	<.0001*	<.0001*	0,0007*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	0,0003*
G x L	40	0,7329	0,5834	0,1404	0,3616	0,1266	0,2834	0,3754	0,0037*	0,3357	<.0001*

Obs.: G – Genótipos de trigo; L – Lâmina de água aplicada (mm); GL – Graus de Liberdade; Nº. Espiga – Número da espiga; PMG – Peso de mil grãos; PH – Peso por hectolitro; EUAA – Eficiência de uso água aplicada; Prolina – Concentração de prolina na folha bandeira; Nº. Perf. – Número do perfilho; Diam. Perf. – Diâmetro do perfilho; Alt. – Altura das plantas; Cla – Teores de clorofila *a*; Clb – Teores de clorofila *b*; Cla/b – Razão clorofila *a/b*; CIT – Teores de clorofila totais (*a+b*); Comp. Pend. – Comprimento do pedúnculo floral; Comp. Espig. – Comprimento da espiga; Comp. Arista – Comprimento da Arista. * - F significativo para o teste Tukey a 5% de probabilidade.

1.4.2 Produtividade e eficiência do uso de água aplicada (EUAA)

A análise de regressão (Figura 1.2) foi significativa para a maioria dos genótipos estudados (a exceção foi o PF 62, BRS 254 e o tratamento Mistura). Todos os genótipos apresentaram produtividade máxima com aplicação da maior lâmina (533 mm) com destaque para o PF 080492 (de cultivo sequeiro), PF 0100660 (de cultivo sequeiro), BR 18 (de cultivo sequeiro) e CPAC 0544 (de cultivo irrigado). Nas condições mais estressantes (lâmina 184

mm), considerando as regressões significativas, os genótipos mais produtivos foram o BRS 264, PF 080492 (de cultivo sequeiro), Aliança (de cultivo sequeiro) e o Brilhante (de cultivo sequeiro).

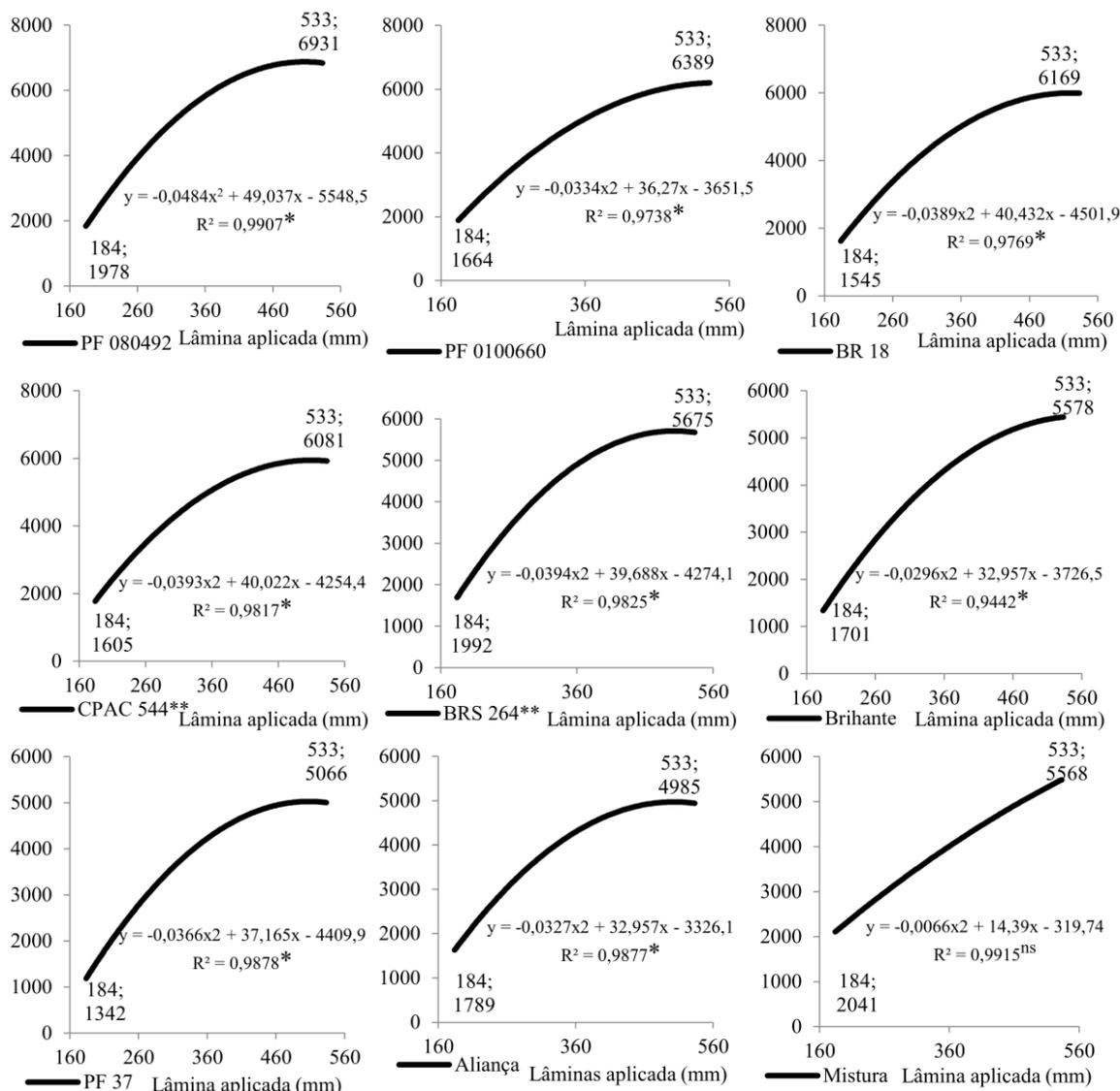


Figura 1.2 Regressões da produtividade de 10 genótipos e uma mistura de genótipos de trigo. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014. *Regressão significativa a 5% ($\alpha \leq 0,05$) de probabilidade. ns – Regressão não significativa a 5% ($\alpha > 0,05$). ** Genótipos de cultivo irrigado.

A análise de regressão do tratamento Mistura não foi significativa, no entanto, esse tratamento apresentou elevada produtividade, mesmo sob déficit hídrico, em hipótese, isso pode estar associado à sua maior eficiência de aproveitamento do sistema radicular ao longo

do perfil do solo, devido à mistura de diferentes genótipos de trigo, possivelmente, com diferentes arquiteturas do sistema radicular.

Bayoumi et al. (2008) constataram menores produtividades em plantas de trigo, em condições de seca, e observaram, ainda, que esses valores foram correlacionados com a redução na altura da planta, número de perfilhos, comprimento da espiga, peso de mil grãos e índice de colheita. Moreira e Cardoso (2009) constataram que o déficit hídrico produziu mais efeitos à produtividade quando aplicado durante os estádios correspondentes ao primórdio e a emergência da espiga e a interrupção da irrigação no estágio de grão leitoso praticamente não afeta a produtividade do trigo. Segundo Gondim et al. (2008), estudos sobre a produtividade e seus componentes de rendimento sob os mais diversos efeitos têm sido objeto de pesquisa com inúmeras culturas, visto que a necessidade de aumentar a produção estimula a expansão da fronteira agrícola, assim como o desenvolvimento de novas tecnologias.

No presente trabalho, os genótipos que apresentaram EUAA mais elevadas foram o PF 080492 (13,15 kg ha⁻¹ mm⁻¹), PF 0100660 (12,12 kg ha⁻¹ mm⁻¹) e CPAC 0544 (11,78 kg ha⁻¹ mm⁻¹) e estes diferenciaram significativamente do BRS 254 (9,90 kg ha⁻¹ mm⁻¹), Brilhante (9,82 kg ha⁻¹ mm⁻¹) e PF 37 (9,26 kg ha⁻¹ mm⁻¹) (Figura 1.3a). Em geral, a EUAA foi mais elevada na lâmina 279 mm, diferenciando significativamente das demais (Figura 1.3b).

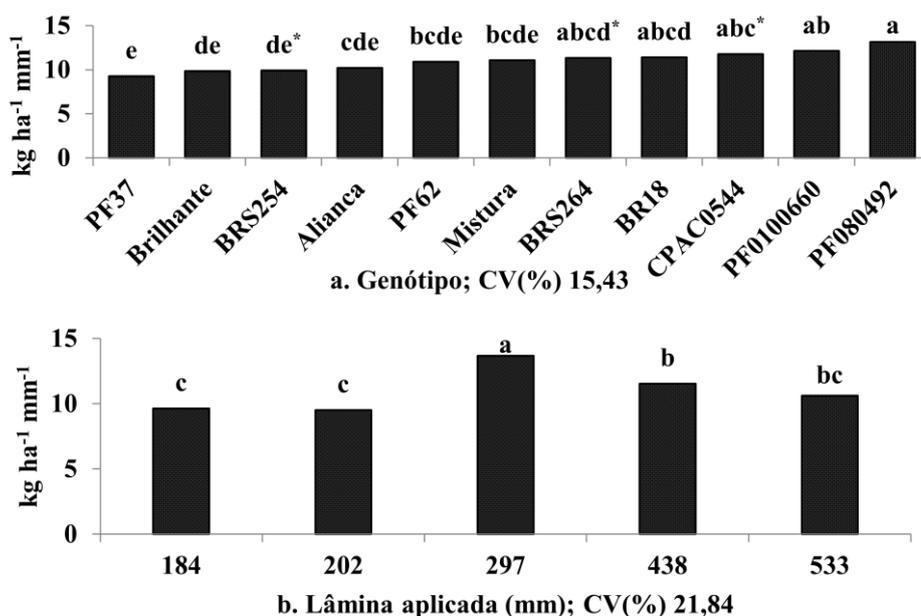


Figura 1.3 Eficiência do uso de água aplicada (EUAA) em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.* Genótipos de cultivo irrigado.

Boutraa et al. (2010), ao investigar o efeito do déficit hídrico em quatro genótipos de trigo (Al-gaimi, Sindy-1, Sindy-2 e Hab-Ahmar) em condições de déficit hídrico leve (50%) e grave (30%) e 80% da capacidade de campo do solo constataram que as cultivares mostraram alterações nas altura das plantas, no peso seco total, na área foliar e no peso seco das raízes, nas mais tolerantes houve aumento da eficiência do uso de água, nas mais sensíveis (Hab-Ahmar e Sindy-2) houve diminuição.

1.4.3 Peso de mil grãos (PMG) e peso por hectolitro (PH)

O PMG dos genótipos BR 18 (44,12 g), CPAC 0544 (42,00 g) e PF 37 (41,70 g) diferenciaram significativamente do tratamento mistura (37,55 g), BRS 264 (36,47 g), Aliança (36,47 g) e PF 080492 (36,41 g) (Figura 1.4a). O PMG apresentou diferenças estatísticas entre as lâminas (Figura 1.4b) esse parâmetro apresentou maiores valores nas lâminas 533 mm (41,87 g), 438 mm (43,03 g) e 297 mm (41,01 g), superando os valores das lâminas inferiores 184 mm (34,77 g) e 202 mm (35,10 g).

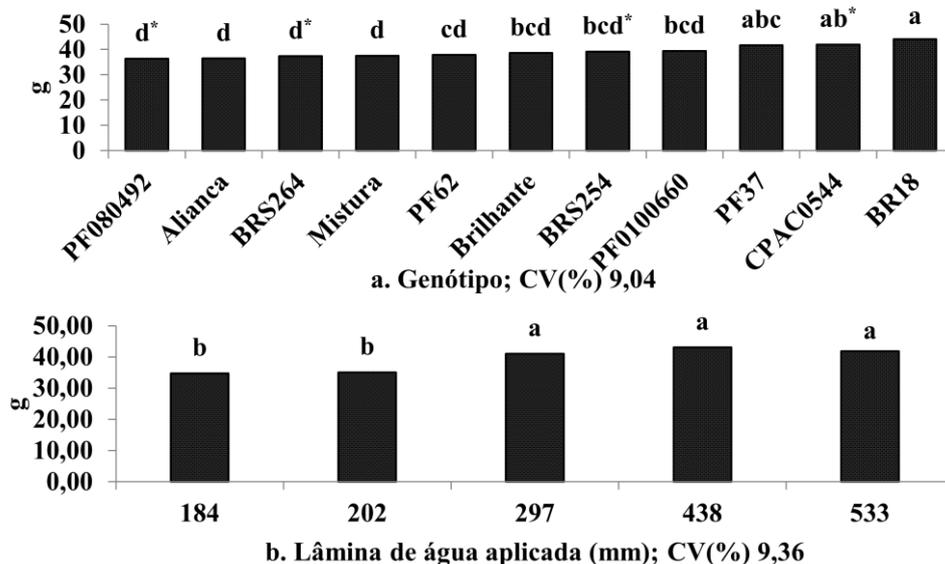


Figura 1.4 Peso de mil grãos em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.* Genótipos de cultivo irrigado.

Iqbal et al. (2015) avaliando genótipos de trigo sob irrigação normal (100% da capacidade de campo) e sob estresse hídrico (60% da capacidade de campo) constataram reduções no PMG nas lâminas de irrigação mais estressantes (32,47 g) quando comparado a irrigação normal (48,01 g), uma elevação de 47,86%.

Os únicos genótipos que apresentaram simultaneamente estabilidade entre as lâminas aplicadas e elevado PH em comparação com os demais genótipos foram o BR 18, PF 0100660 e PF 080492. Os genótipos BRS 264 (84,40 g hl⁻¹) e do PF 37 (81,05 g hl⁻¹) foram os únicos que apresentaram diferenças significativas entre as suas lâminas, com os menores valores encontrados na lâmina 184 mm (Tabela 1.4)

Segundo Coelho et al. (2007) e Dawo et al. (2007), a massa específica dos grãos (PH) é uma característica inerente ao genótipo. Esse caráter tende a possuir alta estabilidade, exceto quando algum estresse ocorre na fase de enchimento de grãos (SOUZA et al., 2010).

Tabela 1.4 Peso por hectolitro(PH) dos genótipos de trigo testados em diferentes lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâmina de água aplicada (mm)				
	533	438	297	202	184
Aliança	82,38 Aa	82,30 Aa	82,65 ABa	81,88 BCa	81,20 Ba
BR 18	85,80 Aa	86,00 Aa	85,55 Aa	84,13 ABa	83,98 Aa
BRS 254*	82,83 Aa	83,05 Aa	84,65 ABa	82,35 ABCa	82,30 Ba
BRS 264*	83,20 Aab	83,63 Aa	83,40 ABa	80,63 Cab	80,40 Bb
Brilhante	82,33 Aa	83,30 Aa	81,90 ABa	82,13 ABCa	82,13 Ba
CPAC 0544*	84,23 Aa	84,13 Aa	84,03 ABa	82,73 ABCa	82,63 ABa
Mistura	81,88 Aa	82,78 Aa	83,75 ABa	81,70 ABCa	81,60 Ba
PF 0100660	86,55 Aa	85,85 Aa	84,43 ABa	85,00 Aa	85,00 Aa
PF 080492	85,45 Aa	84,20 Aa	84,83 ABa	83,8 ABa	83,55 ABa
PF 37	82,53 Aab	82,60 Aab	84,35 ABa	81,75 BCab	81,05 Bb
PF 62	83,18 Aa	83,20 Aa	81,70 Ba	81,95 BCa	82,00 Ba
CV_G(%)	1,87				
CV_L(%)	1,56				

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas na coluna (comparando genótipos dentro de uma mesma lâmina) e minúsculas na linha (comparando lâminas de água aplicada) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L – Coeficiente da Lâmina. * Genótipos de cultivo irrigado.

O PH é um dos critérios para classificação do trigo em: a) Fora do Tipo (trigilho) – PH menor do que 72 (kg hl⁻¹); b) Tipo 3 – PH menor entre 72 e 75 kg hl⁻¹; c) Tipo 2 – PH entre 75 e 78 kg hl⁻¹; d) Tipo 1 – PH maior do que 78 kg hl⁻¹. Sendo que esta última é a classificação mais elevada entre os tipos e a que melhor remunera o produtor (MAPA, 2010).

Portanto, mesmo tendo ocorrido diminuição do peso por hectolitros dos genótipos nas menores lâminas de água, estes ainda podem ser classificados como trigo tipo 1 (PH maior que 78 kg hl⁻¹) de acordo com a classificação mencionada.

1.4.4 Número de espigas

O número de espigas apresentou diferenças estatísticas na comparação entre as lâminas para os genótipos Brilhante, PF 0100660 e PF 080492. Para os dois primeiros genótipos, os números das espigas produzidas pela lâmina 533 mm foram superiores estatisticamente aos valores medidos na lâmina 184 mm. O PF 080492 apresentou número de espigas mais elevados na lâmina 438 mm (664,33) quando comparado aos valores encontrados nas lâminas 202 mm (403,00) e 184 mm (312,67) (Tabela 1.5).

Os genótipos que melhor se destacaram nesse parâmetro foram o BR 18, PF 37 e PF 62, que tenderam a manter o número de espigas mais elevado que os demais genótipos, simultaneamente, e em todas as lâminas aplicadas e sem decair com o estresse.

Tabela 1.5 Número de espigas por metro quadrado dos genótipos de trigo testados em diferentes lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâmina de água aplicada (mm)				
	533	438	297	202	184
Aliança	444,25 ABa	389,75 Ba	329,50 Ba	219,00 Aa	271,33 Aa
BR 18	501,00 ABa	465,00 ABa	457,67 ABa	329,00 Aa	347,25 Aa
BRS 254*	348,50 Ba	345,00 Ba	297,00 Ba	274,25 Aa	237,33 Aa
BRS 264*	375,00 ABa	354,50 Ba	301,75 Ba	305,33 Aab	345,00 Aa
Brilhante	516,25 ABa	452,50 ABab	369,25 ABab	298,33 Aa	297,00 Ab
CPAC 0544*	394,00 ABa	353,00 Ba	330,75 Ba	286,25 Aa	307,67 Aa
Mistura	471,00 ABa	383,50 Ba	327,50 Ba	374,25 Aa	341,00 Aa
PF 0100660	521,50 ABa	404,50 Bab	410,50 ABab	436,67 Aab	291,00 Ab
PF 080492	524,50 ABab	664,33 Aa	505,33 Aab	403,00 Abc	312,67 Ac
PF 37	491,00 ABa	497,67 ABa	401,50 ABa	312,33 Aa	360,00 Aa
PF 62	575,75 Aa	506,25 ABa	417,25 ABa	361,50 Aa	419,50 Aa

CV_G(%) 20,18
CV_L(%) 18,35

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas na coluna (comparando genótipos dentro de uma mesma lâmina) e minúsculas na linha (comparando lâminas de água aplicada) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L – Coeficiente da Lâmina. * Genótipos de cultivo irrigado.

Em cereais com população de plantas constantes, a produtividade de grãos pode ser obtida pelo produto de três componentes principais: número de espigas por unidade de área, número de grãos por espiga e massa média do grão, e esses componentes podem apresentar resultados significativos, devido a sua independência com relação às outras variáveis resposta (GONDIM et al., 2008).

O número de espigas por metro quadrado pode ser considerado o componente que esteve mais associado ao avanço da produtividade de grãos de trigo e também é uma das características que está diretamente associada ao perfilhamento, diferentemente de outros cuja associação ao perfilhamento se faz de forma indireta como a massa de grãos e o número de grãos por espiga (RODRIGUES et al., 2003; VALÉRIO et al., 2008).

Rao et al. (2013) relataram reduções de 22% do número de espigas por metro quadrado em parcelas que receberam um pouco menos da metade da lâmina de irrigação ideal (46% do tratamento controle). Enquanto, Akhkha et al. (2011) estudando respostas de plantas de trigo quanto à imposição do déficit hídrico em diferentes estádios do desenvolvimento da cultura (perfilhamento, emborrachamento, enchimento de grãos e maturação fisiológica) verificaram redução do número de espigas quando submetida a déficits hídricos.

1.4.5 Comprimento da espiga e da arista

Os genótipos que apresentaram maiores tamanhos de espiga foram PF 080492 (6,22 cm), BR18 (5,85 cm), BRS 264 (5,84 cm), BRS 254 (5,81 cm) e CPAC 0544 (5,75 cm) (Figura 1.5a). O comprimento da espiga apresentou diferença estatística na comparação entre as lâminas aplicadas (Figura 1.5b). As lâminas extremas (184 e 533 mm) apresentaram significativamente os menores valores em relação às intermediárias.

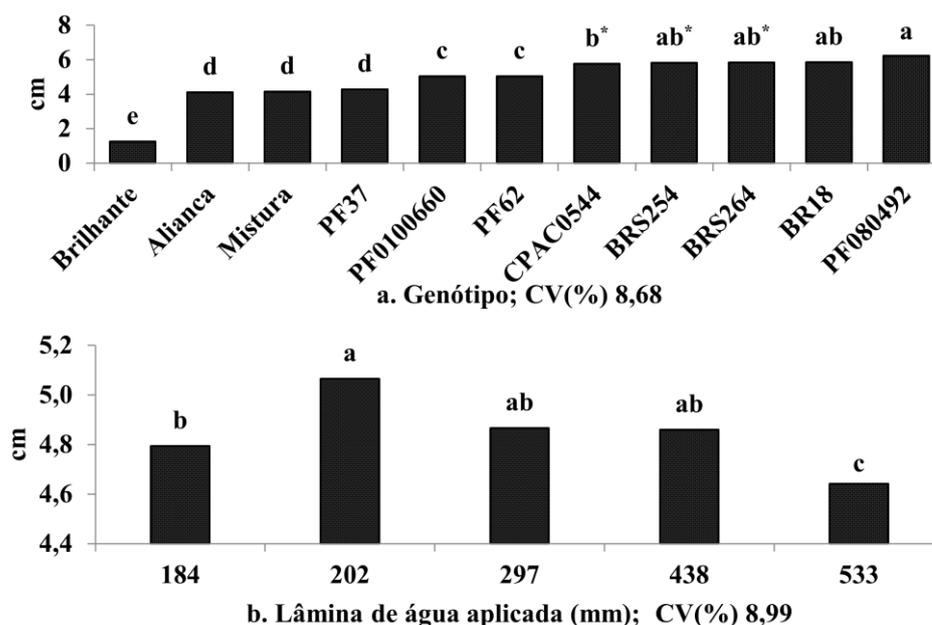


Figura 1.5 Comprimento da espiga (cm) em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.* Genótipos de cultivo irrigado.

O comprimento da espiga é uma importante característica agrônômica considerado em diversos programas de melhoramento genético do trigo, especialmente quando associada com os componentes de produção (número de espiguetas, número de grãos por espiga e massa dos grãos) e conseqüentemente ao rendimento da cultura (AMINZADEH, 2010).

De acordo com a Tabela 1.6, o PF 080492 tendeu a apresentar os maiores valores de comprimento das aristas para a maioria das lâminas, quando comparados aos demais genótipos, além de manter esse parâmetro estável em relação às lâminas aplicadas. No BR 18 a aplicação da lâmina 533 mm apresentou menores valores de comprimento de aristas (4,72 cm), diferenciando estatisticamente das demais. Enquanto que no PF 0100660, as lâminas com menores comprimentos desse parâmetro foram 438 mm (4,60 cm) e 184 mm (4,69 cm). Houve, portanto, uma tendência dos valores das lâminas intermediárias apresentarem maiores comprimentos da arista.

Tabela 1.6 Comprimento das aristas (cm) dos genótipos de trigo testados em diferentes lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâmina de água aplicada (mm)				
	533	438	297	202	184
Aliança	3,90 Ca	4,44 EFa	4,00 CDa	4,19 ABa	4,01 BCa
BR 18	4,72 ABCb	5,93 ABab	5,69 ABCab	6,59 Aa	6,31 Aa
BRS 254*	5,37 ABa	5,63 ABCDa	6,09 ABCa	5,98 Aa	6,00 ABa
BRS 264*	5,72 Aa	5,79 ABCa	5,71 ABCa	5,43 Aa	6,55 Aa
Brilhante	1,13 Da	1,71 Ga	0,80 Ea	1,38 Ca	1,16 Ca
CPAC 0544*	5,80 Aa	5,50 ABCDEa	5,93 ABCa	5,88 Aa	5,65 ABa
Mistura	4,60 ABCa	4,70 CDEFa	4,45 ACDA	4,01 Bab	2,98 Cb
PF 0100660	4,84 ABCab	4,60 DEFb	5,00 Cab	6,03 Aa	4,69 BCb
PF 080492	5,98 Aa	6,21 Aa	6,51 Aa	6,44 Aa	5,95 ABa
PF 37	4,08 BCa	4,08 Fa	4,25 CDa	4,46 ABa	4,51 BCa
PF 62	4,93 ABCa	4,87 ABCDEFa	5,10 ABCa	5,35 ABa	4,91 Ba
CV_G(%)	8,68				
CV_L(%)	8,99				

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas na coluna (comparando genótipos dentro de uma mesma lâmina) e minúsculas na linha (comparando lâminas de água aplicada) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L – Coeficiente da Lâmina. * Genótipos de cultivo irrigado.

Em cereais de inverno (por exemplo, trigo e cevada), as três fontes principais dos assimilados que contribuem para o enchimento de grãos são a fotossíntese da folha bandeira, a translocação de assimilados pré-antese (principalmente frutanos acumulados no caule) e a fotossíntese de outras partes verdes da planta (a exemplo das aristas e brácteas) (MAYDUP et al., 2010).

A contribuição de aristas para a fotossíntese líquida total da espiga é alta, atingindo 50% em alguns casos (TAMBUSSI et al., 2007). Esse fato é particularmente importante quando ocorre o estresse hídrico (como déficit de água), já que as folhas da planta tendem a reduzir sua eficiência fotossintética (EHDAIE et al., 2006). Além disso, estudos revelam que as aristas possuem alguma "tolerância" ao déficit hídrico, mantendo, nestas condições, teor relativo de água e taxa de transporte de elétrons maiores do que a folha bandeira (MAYDUP et al., 2014). Segundo Rangan et al. (2016) as aristas podem se tornar fundamentais quando outras partes da planta perdem a capacidade fotossintética devido à seca terminal, o que pode contribuir no desenvolvimento de variedades de trigo mais adaptadas adversidades ambientais.

1.4.6 Comprimento do pedúnculo floral

O comprimento do pedúnculo foi influenciado pelas lâminas aplicadas apresentando, em geral, tendência de redução em seu comprimento em condições de estresse por falta e/ou excesso de água. Foram obtidas diferenças entre os genótipos e o que apresentou menor comprimento de pedúnculo em comparação com os demais e ao mesmo tempo estabilidade ou tendência e redução em condições de déficit hídrico foi o PF 62 (Tabela 1.7).

Tabela 1.7 Comprimento do pedúnculo floral (cm) dos genótipos de trigo testados em diferentes lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâmina de água aplicada (mm)				
	533	438	297	202	184
Aliança	4,58 Bb	6,75 Aab	9,88 Aa	11,60 Aa	4,89 ABb
BR 18	6,89 ABb	7,58 Aab	12,13 Aa	13,34 Aa	6,63 ABb
BRS 254*	6,89 ABab	7,24 Aab	10,29 Aa	10,96 Aa	5,44 ABb
BRS 264*	7,12 ABa	6,24 Aa	10,24 Aa	11,78 Aa	5,85 ABa
Brilhante	7,38 ABc	7,55 Abc	12,49 Aab	15,51 Aa	9,79 Ac
CPAC 0544*	6,30 Ba	7,97 Aa	9,70 Aa	10,79 Aa	7,07 ABa
Mistura	8,08 ABab	7,26 Aab	10,64 Aab	13,47 Aa	6,48 ABb
PF 0100660	4,67 Bb	5,13 Ab	8,26 Aab	12,96 Aa	5,78 ABb
PF 080492	5,78 Bc	7,24 Abc	11,91 Aab	15,71 Aa	8,80 ABbc
PF 37	6,08 Bb	6,53 Aab	11,58 Aa	12,84 Aa	6,20 ABb
PF 62	11,10 Aa	7,91 Aab	9,75 Aab	10,95 Aab	5,36 Bb
CV_G(%)	16,31				
CV_L(%)	22,25				

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas na coluna (comparando genótipos dentro de uma mesma lâmina) e minúsculas na linha (comparando lâminas de água aplicada) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L – Coeficiente da Lâmina. * Genótipos de cultivo irrigado.

O comprimento do pedúnculo é uma característica morfológica que pode afetar a tolerância do trigo ao déficit hídrico e pode ser útil na identificação de plantas tolerantes à seca uma vez que a redução da distância percorrida pelos fotoassimilados da folha bandeira até os grãos pode proporcionar uma economia de água pela planta e consequente melhora na eficiência de seu uso, o que pode favorecer a planta em condições de estresse (AMINZADEH, 2010; FIOREZE, 2011).

1.4.7 Perfilhamento e diâmetro dos perfilhos

Foram observadas diferenças significativas entre os genótipos (Figura 1.6a); o perfilhamento do PF 080492 (154,30 perfilho m^{-1} linear), PF 0100660 (130,10 perfilho m^{-1} linear) e PF 62 (129,85 perfilho m^{-1} linear) não diferenciaram estatisticamente entre si e superaram, significativamente, os genótipos Aliança (93,30 perfilhos m^{-1} linear), CPAC 0544 (93,15 perfilho m^{-1} linear) e BRS 254 (88,85 perfilho m^{-1} linear) (Figura 1.6b). Com exceção do PF 080492, todos os demais genótipos de cultivo irrigado apresentaram baixo perfilhamento o que pode ser indicativo de menor plasticidade fenotípica em tais genótipos.

Houve uma redução do número de perfilhos na medida em que menores lâminas foram fornecidas, com as lâminas 438 e 553 mm fornecendo os maiores números de perfilho por metro linear em detrimento das demais e chegando a apresentar em torno de 35% mais perfilhos (131,91 perfilho m^{-1} linear) do que a lâmina 184 mm (97,50 perfilho m^{-1} linear).

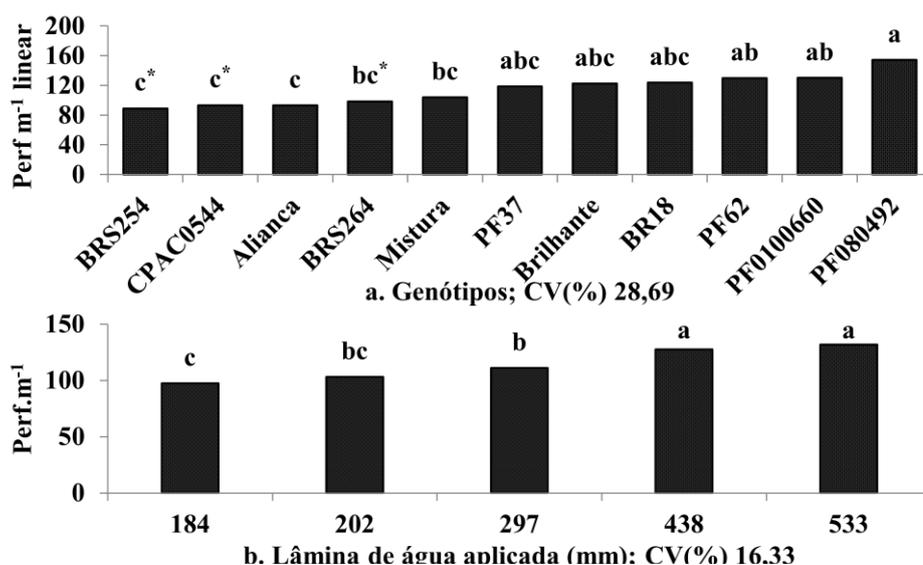


Figura 1.6 Número de perfilhos por metro linear em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014. * Genótipos de cultivo irrigado.

O número de perfilhos por planta é uma importante variável que se relaciona indiretamente com o rendimento, principalmente se os perfilhos forem, em sua maioria, férteis (CAMPONOGARA, 2016). O perfilhamento está relacionado à plasticidade fenotípica vegetal e, portanto, à adaptação em ambiente nos quais as culturas estão estabelecidas (ALMEIDA et al., 2004). Além disso, o aumento da produtividade está relacionado a maiores níveis de perfilhamento, frequentemente, induzido pelo aumento da densidade de plantas por unidade de área. No entanto, densidades muito elevadas podem ser desfavoráveis para o desenvolvimento de plantas individuais por causa da maior competição o que irá repercutir na produtividade (FANG et al., 2010).

O diâmetro dos perfilhos para o CPAC 0544 (3,07 mm) e Aliança (3,05 mm) foram superiores ao BRS 254 (2,57), PF 080492 (2,52 mm) e o PF 62 (2,39 mm) (Figura 1.7a). Na comparação entre as lâminas, os perfilhos apresentaram diferenças significativas em seu diâmetro, sendo obtidos os maiores valores nas lâminas 533 e 438 mm que diferenciaram estatisticamente das demais lâminas (Figura 1.7b).

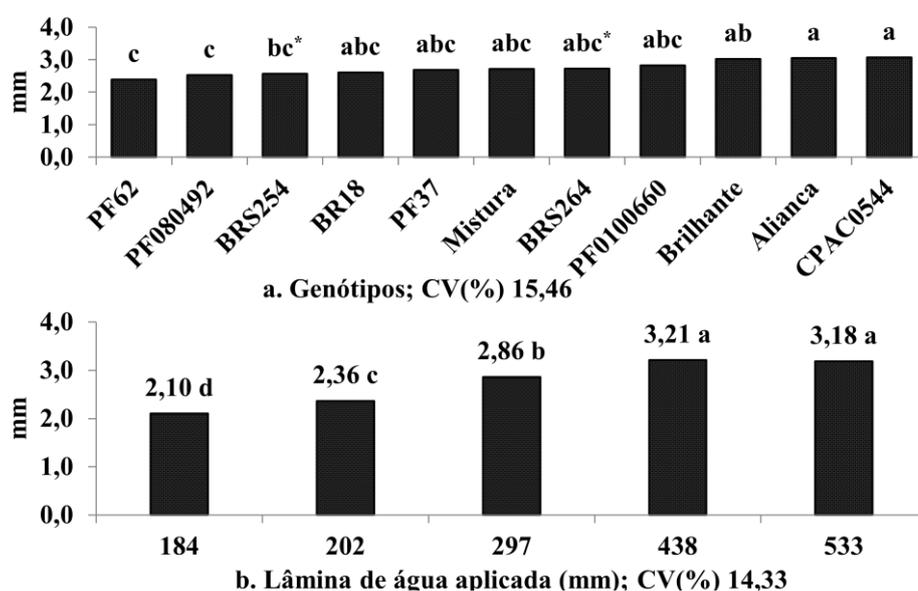


Figura 1.7 Diâmetro de perfilhos por metro linear em função dos genótipos trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.* Genótipos de cultivo irrigado.

Santos et al. (2012) avaliando, em casa de vegetação, três cultivares de trigo (Coodetec (CD) 105, 108 e 111) em dois manejos de irrigação constataram maiores números de perfilhos nos genótipos CD 108 e 111 submetidos a maior lâmina de irrigação.

Souza et al. (2013) relataram correlações significativas entre o diâmetro do colmo e os caracteres associados ao armazenamento de fotoassimilados. O diâmetro do colmo dos perfilhos é considerado o parâmetro indireto mais promissor correlacionado com a produtividade (SILVA et al., 2005), pois esta pode ser explicada pelas dimensões e pelo acúmulo de reservas nos colmos (GONDIM et al., 2008). Além disso, o maior diâmetro do colmo também está diretamente relacionado com menores índices de acamamento (RODRIGUES et al., 2003).

1.4.8 Medidas da altura das plantas

Os menores valores de altura foram encontrados nos genótipos de cultivo irrigado BRS 254 (60,87 cm), PF 080492 (62,92 cm), CPAC 0544 (63,47 cm) e BRS 264 (66,28 cm) que diferenciaram estatisticamente do Brilhante (77,43 cm), PF 37 (73,83 cm), tratamento mistura (72,98 cm) e PF 62 (72,78 cm) (Figura 1.8a).

A medida da altura, realizada na fase fisiológica de enchimento dos grãos, apresentou diferenças estatísticas na comparação entre as lâminas aplicadas (Figura 1.8b). A lâmina de 438 mm promoveu maiores valores na altura das plantas (80,96 cm) diferindo-se das demais. As lâminas de 533, 297 e 202 mm apresentaram valores semelhantes na altura das plantas.

A redução do porte vegetal e de sua área foliar em condições de estresse está diretamente relacionada ao declínio da massa seca quando comparadas com aquelas mantidas em condições adequadas de potenciais da água no solo. Com o déficit hídrico ocorre o fechamento dos estômatos e conseqüente diminuição da fotossíntese, além disso, a redução na taxa fotossintética é mais rápida que a redução da taxa respiratória, promovendo uma conseqüente diminuição na produção de massa seca (ENDRES et al., 2010).

Varga et al. (2014) estudando o efeito da simulação da seca em várias fases fenológicas em cinco genótipos de trigo de inverno verificaram que os traços como o hábito decrescimento e a altura da planta foram diretamente proporcionais à demanda de água em todos os genótipos testados.

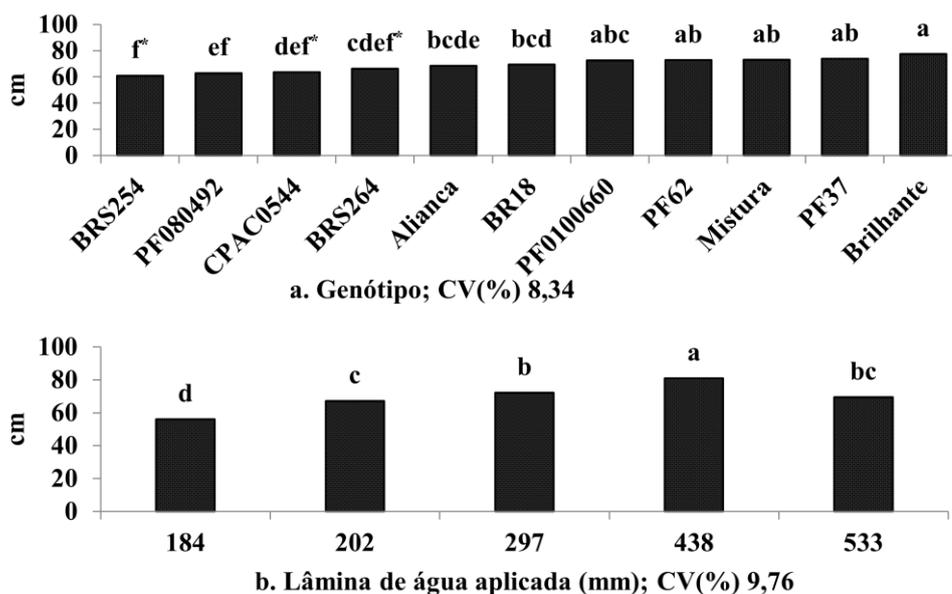


Figura 1.8 Medidas das alturas em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.* Genótipos de cultivo irrigado.

Abdel-Motagallya e El-Zohrib (2016) avaliando genótipos de trigo em três níveis de irrigação registrou alturas de 62,13 cm no nível mais estressado, 88,65 cm no nível intermediário e 94,26 cm no nível ótimo.

Santos et al. (2012) avaliando, em casa de vegetação, três cultivares de trigo (Coodetec (CD) 105, 108 e 111) em manejos sem irrigação (suspensão da irrigação das plantas no início da antese ocorrido aos 55 dias após a semeadura, até o teor relativo de água das folhas atingir 45%, quando foi realizada a reidratação) e com irrigação (do começo ao final do ciclo) constataram maiores alturas para os genótipos CD 108 e 111 submetidos à maior lâmina de irrigação.

1.4.9 Teores de clorofila

A clorofila total ($a+b$) apresentou diferença significativa entre os genótipos, com destaque para o PF 0100660 (57,97), Aliança (57,83), PF 37 (56,44) e o BR 18 (56,24) que superaram o CPAC 0544 (51,58) e BRS 264 (50,30), ambos de cultivo irrigado (Figura 1.9a). Nas lâminas inferiores (184 e 202 mm) ocorreram os menores valores de clorofilas totais diferenciando estatisticamente das demais (Figura 1.9b).

Huseynova (2012) testando genótipos de trigo sob irrigação normal (100% da ETc) e déficit hídrico severo constatou que a escassez de água promoveu reduções das clorofilas na

áreas não irrigadas. Junior et al. (2016) ao caracterizarem as variedades da cana-de-açúcar submetidas a 100% da ETc (máxima irrigação requerida pela cultura) e sequeiro (com suspensão da irrigação) constataram reduções nos teores de clorofilas *a* e totais em condições de sequeiro.

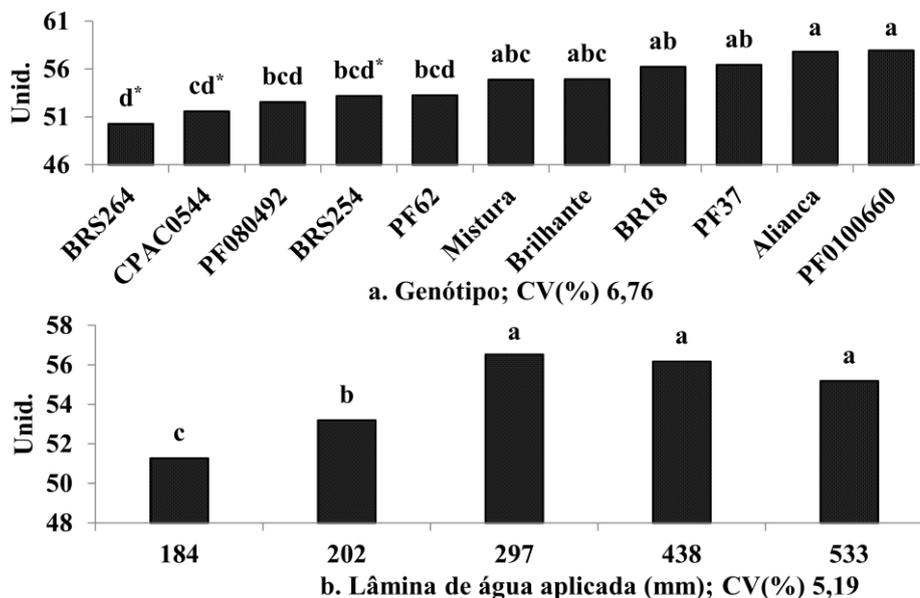


Figura 1.9 Teores de clorofila totais em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.* Genótipos de cultivo irrigado.

O PF 0100660 (43,07) apresentou teores de clorofila *a* superiores aos dos genótipos de cultivo irrigado CPAC 0544 (40,33) e BRS 264 (39,59) não diferenciando estatisticamente dos demais (Figura 1.10a).

Também pode ser constatado que os teores de clorofila *a* foram significativos na comparação entre as lâminas (Figura 1.10b); os maiores valores foram encontrados nas lâminas 438 mm (42,17) e 297 (42,07) que diferenciaram significativamente da lâmina 184 mm (40,57).

Kosar et al. (2015) testando genótipos de trigo em três lâminas de irrigação (controle, 60 e 100% da capacidade de campo) mostraram reduções no teor de clorofila *a* e *b* e elevação na razão clorofila *a/b*.

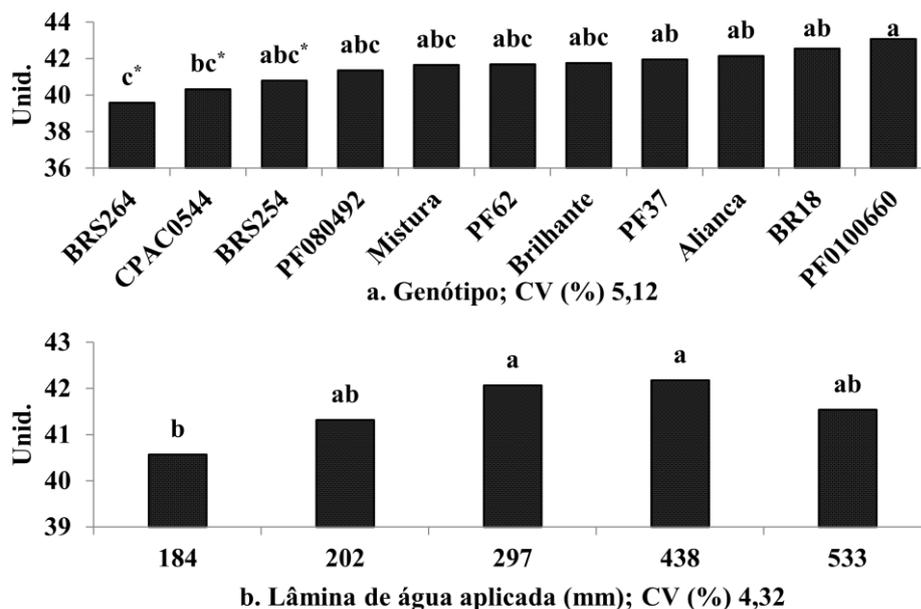


Figura 1.10 Teores de clorofila *a* em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014. * Genótipos de cultivo irrigado.

Os teores de clorofila *b* apresentaram diferenças significativas entre os genótipos (Figura 1.11a), os genótipos com maiores teores de clorofila *b* foram o Aliança (15,15), PF0100660 (14,90) e PF 37 (14,48) e apresentaram diferenças estatísticas em relação ao CPAC0544 (11,26), PF080492 (11,21) e BRS264 (10,71). Também ocorreram diferenças estatísticas na comparação entre as lâminas (Figura 1.11b), em que as lâminas 184 mm (10,85) e 202 mm (11,88) apresentaram os menores valores desse pigmento diferenciando estatisticamente dos valores encontrados nas lâminas superiores.

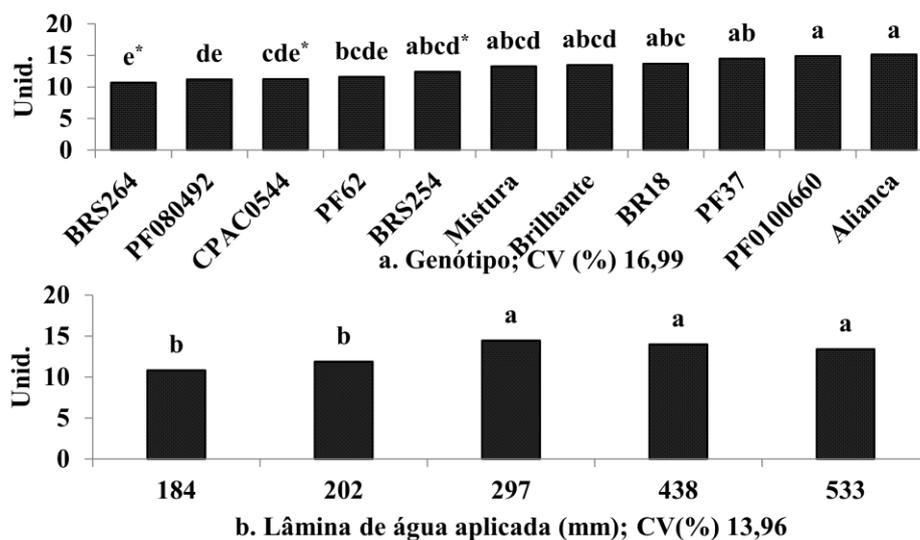


Figura 1.11 Teores de clorofila *b* em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014. * Genótipos de cultivo irrigado.

Os genótipos BRS 264 (3,92), PF 080492 (3,80), PF 62 (3,80) e CPAC 0544 (3,72) apresentaram os maiores valores de razão clorofila *a/b* e superaram estatisticamente os encontrados nos genótipos PF 0100660 (2,97) PF 37 (2,93), Aliança (2,85) (Figura 1.12a). A razão clorofila *a/b* apresentou valores maiores nas lâminas inferiores (184 e 202 mm) em relação aos teores das demais lâminas (Figura 1.12b).

A clorofila *a* é a responsável pela maior parte da absorção de luz; entretanto, nas plantas superiores 15 a 25% da clorofila total é composta pela clorofila *b*. Apesar da clorofila *b* não ser essencial para a fotossíntese (considerada um pigmento acessório), contribui para o processo, absorvendo luz de comprimento de onda entre 425 e 475 nm e transferindo sua energia para a clorofila *a*, a qual absorve pouco nesses comprimentos (TANAKA; TANAKA, 2007).

Segundo Hörtensteiner e Kräutler (2011) o aumento da razão clorofila *a/b* ocorre porque durante estresses bióticos e abióticos há intensa degradação da clorofila *b*, que passa por um processo de conversão de clorofila *b* em *a*, que é considerado um mecanismo de defesa da planta para consumir espécies reativas de oxigênio (ROS) que são fitotóxicas, a clorofila *a*, portanto, tem um poder antioxidante maior do que a clorofila *b*. Assim, em condições mais estressantes as plantas que apresentam a relação clorofila *a/b* mais elevada tem maior poder antioxidante e, portanto, tendem a ser mais tolerantes à seca.

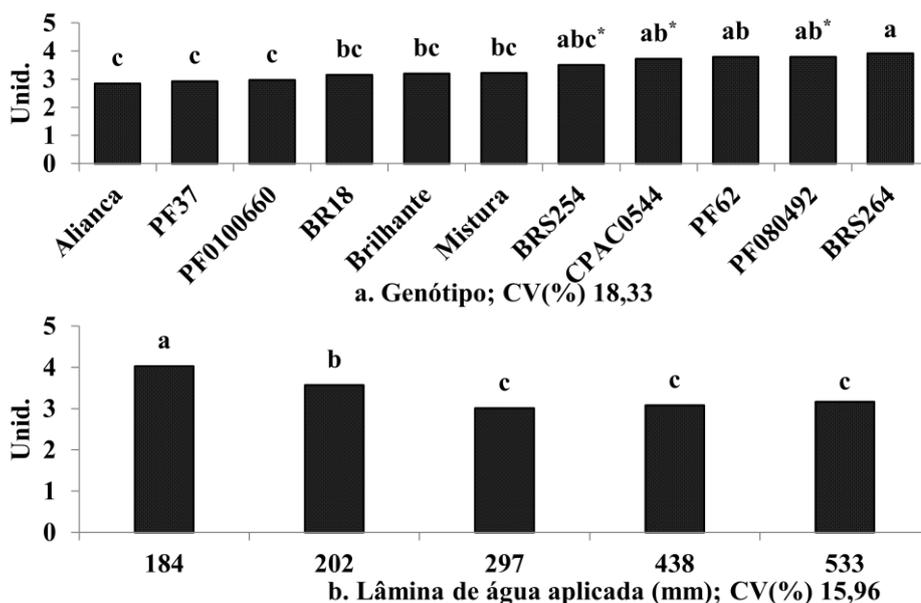


Figura 1.12 Teores de clorofila *a/b* em função dos genótipos de trigo (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014. * Genótipos de cultivo irrigado.

1.4.10 Concentração de prolina na folha bandeira

A análise de regressão entre os teores de prolina e as lâminas (Figura 1.13) mostra que a concentração deste aminoácido foi mais elevada quando menores lâminas foram aplicadas e que os genótipos com maior concentração de prolina sob estresse severo (184 mm) foram o PF 37, PF 080492 e Brilhante, atingindo valores em torno de 5 $\mu\text{mol g}^{-1}$ do peso fresco.

Os genótipos PF 37 e PF 080492 reduziram a concentração de prolina para valores abaixo de 1 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de peso fresco em condições mais elevadas de umidade (lâminas acima de 500 mm), isso pode ser considerado um fator importante para evitar gasto de energia numa via metabólica (síntese de prolina) que seria menos necessária nessas condições de umidade. Resultados semelhantes também foram observados por Alaei et al. (2012) em plantas de trigo. Segundo Giberti et al. (2014), a via metabólica da prolina compete com o ciclo de Calvin por NADPH produzidos na fase clara da fotossíntese. Hammad e Ali (2014) após submeter a cultivar de trigo Sakha 94 a três lâminas de irrigação 50%, 65% e 80% de depleção de água disponível detectou aumento no teor de prolina da folha de 12,31 $\mu\text{mol g}^{-1}$, 13,05 $\mu\text{mol g}^{-1}$, 14,43 $\mu\text{mol g}^{-1}$, respectivamente.

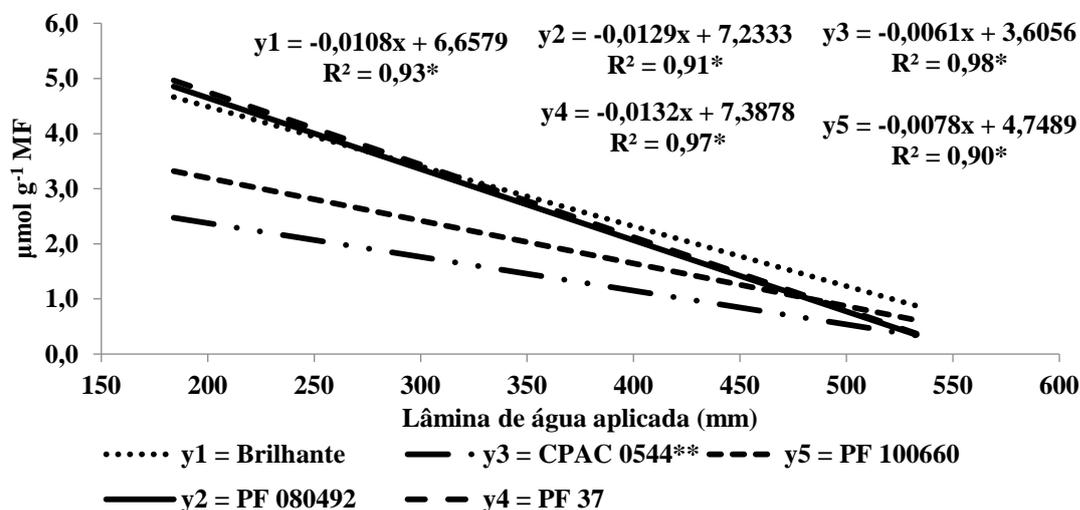


Figura 1.13 Concentração de prolina em função da lâmina de água fornecida aos genótipos de trigo. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014. *Regressão significativa a 5% ($\alpha \leq 0,05$) de probabilidade. ** Genótipo de cultivo irrigado.

Segundo Jain et al. (2013), a prolina parece ser osmorregulador mais frequente nos vegetais e, sob condições de estresse, também atua na proteção de enzimas e membranas, na eliminação de radicais hidroxílicos, além de atuar como reserva de energia e nitrogênio. Também pode atuar na recuperação das plantas após o estresse hídrico quando reidratada.

1.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em geral, todos os genótipos foram afetados pelo excesso de água e pelo déficit hídrico que produziram simultaneamente redução da EUAA, do PH, do comprimento das espigas e das aristas, do comprimento do pedúnculo floral e da altura das plantas. O déficit hídrico, em particular, promoveu a redução da produtividade, do PMG, do perfilhamento e diâmetro dos perfilhos, e dos teores de clorofilas, além de elevar a razão clorofila *a/b* e a concentração de prolina.

Dentre os genótipos mais produtivos (PF 080492, PF 0100660, CPAC 0544 e BR 18) o PF 080492 (de cultivo sequeiro) se destacou por apresentar alta produtividade tanto em lâminas de irrigação mais elevadas quanto em condições de déficit hídrico. Esse genótipo também apresentou elevados valores de PH e EUAA, componentes que podem estar relacionados com o maior comprimento da espiga e da arista, com o porte baixo do genótipo, com elevados número de perfilhos e razão clorofila *a/b*, e também, como as altas concentrações de prolina em condições de estresse hídrico.

A maior lâmina de irrigação elevou a produtividade do PF 0100660, este genótipo também apresentou elevados PH e EUAA, esses valores se relacionaram com as altas taxas de perfilhamento e de clorofila *a*, *b* e total.

O CPAC 0544 apresentou elevada produtividade na maior lâmina de irrigação e elevados PMG e EUAA, esses parâmetros estiveram associados com maiores diâmetros do perfilho, baixo porte e elevada razão clorofila *a/b*.

O BR 18 teve alta produtividade quando maiores lâminas foram fornecidas e também apresentou elevados PH e PMG. Este genótipo apresentou maiores números de espigas e teores de clorofilas totais.

1.6 CONCLUSÕES

A aplicação das lâminas de irrigação afetou de maneira diferenciada o desempenho agrônomo e as características morfofisiológicas de todos os genótipos avaliados.

O PF 080492 (de cultivo sequeiro) apresentou melhor desempenho agrônomo (elevada produtividade, PH e EUAA) quando maiores lâminas foram fornecidas e sob déficit hídrico.

No PF 080492, os atributos agrônômicos estiveram associados com os fatores morfofisiológicos: elevado comprimento da espiga e da arista, porte baixo, elevado número de perfilhos e razão clorofila a/b e elevada concentrações de prolina em condições de estresse hídrico.

1.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-MOTAGALLY, F. M. F.; EL-ZOHRI, M. Improvement of wheat yield grown under drought stress by boron foliar application at different growth stages. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2016.

ABDOLSHAHI, R.; NAZARI, M.; SAFARIAN, A.; SADATHOSSINI, T. S.; SALARPOUR, M.; AMIRI, H. Integrated selection criteria for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding programs using discriminant analysis. **Field Crops Research**, v. 174, p. 20-29, 2015.

ABDOLSHAHI, R.; SAFARIAN, A.; NAZARI, M.; POURSEYEDI, S.; MOHAMADI-NEJAD, G. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum Aestivum* L.) using different multivariate methods. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 59, p. 685–704, 2013.

AKHKHA, A.; BOUTRAA, T.; ALHEJELY, A. The rates of photosynthesis, chlorophyll content, dark respiration, proline and abscisic acid (ABA) in wheat (*Triticum durum*) under water deficit conditions. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 13, p. 215-221, 2011.

ALAEI, Y.; KHANGHAH, A. M.; JAFARI, M.; KHANEGHAH, A. Evaluation on leaf proline amount in three bread wheat cultivars in presence of two fertilizers containing amino acids in drought stress. **World Applied Sciences Journal**, v. 18, n. 9, pp 1190–1192, 2012.

ALMEIDA R. D. A.; PELUZIO J. M.; AFFÉRI F.S. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do Estado Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, pp 108-115, 2011.

AMINZADEH, G. Evaluation of seed yield stability of wheat advanced genotypes in Ardabil, Iran. **Research Journal Environmental Sciences**, v. 4, p. 478–482, 2010.

ANDRADE, S. R. M.; SANTOS, J. M.; ALBRECHT, J. C., CHAGAS, J.; TABOSA, D. M. da S.; BENEDETTI, E. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 8.; SEMINÁRIO TÉCNICO DO TRIGO, 9., 2014, Canela; REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 9.;

SEMINÁRIO TÉCNICO DO TRIGO, 10., 2015, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Biotrigo Genética: Embrapa Trigo, 2015. 1 CD-ROM.

BAYOUMI, T. Y.; EID, MANAL, H.; METWALI, E. M. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 14, 2008.

BOSCHINI, A. P. M.; SILVA, C. L. DA; OLIVEIRA, C. A. DA; OLIVEIRA JÚNIOR, M. P. DE; MIRANDA, M. Z. DE; FAGIOLI, M. Aspectos quantitativos e qualitativos do grão de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.450-457, 2011.

BOUTRAA, T.; AKHKHA, A.; AL-SHOAIBI, A. A.; ALHEJELI, A. M. Effect of water stress on growth and water use efficiency (WUE) of some wheat cultivars (*Triticum durum*) grown in Saudi Arabia. **Journal of Taibah University for Science**, v. 3, pp 39-48, 2010.

BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária e Reforma Agrária. Determinações adicionais – peso volumétrico. **Regras para a Análise de Sementes**. Brasília. Cap. 8, item 8.2, p.193-194, 1992.

CAMPONOGARA, A. S.; OLIVEIRA, G. A.; GEORGIN, J.; ROSA, A. L. D. da. Avaliação dos Componentes de Rendimento do Trigo quando Submetido a Diferentes Fontes de Nitrogênio. **REGET**, v. 20, p.524-532, n. 1, 2016.

CARVALHO, I. R.; DE SOUZA, V. Q.; NARDINO, M.; FOLLMANN, D. N.; SCHMIDT, D.; BARETTA, D. Correlações canônicas entre caracteres morfológicos e componentes de produção em trigo de duplo propósito. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 8, 690-697. 2015.

COELHO, C. M. M.; COIMBRA, J. L. M.; SOUZA, C. A.; BOGO, A.; GUIDOLIN, A. F. Diversidade genética em acessos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1241-1247, 2007.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Safra 2016/17. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.4, n 7, Brasília, abril 2017. p. 1-160.

CRUZ DE CARVALHO, M. H. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant signaling & behavior**, v. 3, p. 156–165, 2008.

DAWO, M. I.; SANDERS, F. E.; PILBEAM, D. J. Yield, yield components and plant architecture in the F3 generation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) derived from a cross between the determinate cultivar 'Prelude' and an indeterminate landrace. **Euphytica**, v. 156, n. 1, p. 77-87, 2007.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja**: região central do Brasil. Brasília, 2013. 266 p. (Sistema de Produção, 16).

ENDRES, L.; SOUZA, J. L. de; TEODORO, I.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M DOS; BRITOS, J. E. D. de. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.11-16, 2010.

ERTEK, A.; SENSOY, S.; GEDIK, I. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 81, n. 1-2, p. 159-172, 2006.

FAGHANI, E.; GHARECHAHI, J.; KOMATSU, S.; MIRZAEI, M.; KHAVARINEJAD, R.A.; NAJAFI, F.; FARSAFAD, L.K.; SALEKDEH, G.H. Comparative physiology and proteomic analysis of two wheat genotypes contrasting in drought tolerance. **Journal of Proteomics**, Volume 114, January 01, p. 1-15, 2015.

FANG, Y.; XU, B.C.; TURNER, N.C.; LI, F.M. Grain yield, dry matter accumulation and remobilization, and root respiration in winter wheat as affected by seeding rate and root pruning. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 257-266, 2010.

FEDOROFF, N.; BATTISTI, D.; BEACHY, R.; COOPER, P.; FISCHHOFF, D.; HODGES, C. Radically rethinking agriculture for the 21st century. **Science**, 327, p. 833, 2010.

FINKELSTEIN, R.; LYNCH, T.; REEVES, W.; PETITFILS, M.; MOSTACHETTI, M. Accumulation of the transcription factor ABA insensitive (ABI) 4 is tightly regulated post-transcriptionally. **Journal of Experimental Botany**, v.19, p.1-9, 2011.

FIGLIANO, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACHADO, F. R.; GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**. Viçosa, v.58, n.3, p.342-349, 2011.

GONDIM, T. C. O.; ROCHA, V. S.; SEDIYAMA, C. S.; MIRANDA, G. V. Análise de trilha para componentes de rendimento e caracteres agronômicos de trigo sob desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.487-493, 2008.

GOWDA, V. R. P.; HENRY, A.; YAMAUCHI, A.; SHASHIDHAR, H. E.; SERRAJ, R. Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice. **Field Crops Research**, 122, p. 1–13, 2011.

HAMMAD, S. A. R.; ALI, O. A. M. Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 59, n. 1, pp 1-154, 2014.

HANKS, R. J.; SISSON, D. V.; HURST, R. L.; HUBBARD, K. G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n.44, p.886-888, 1976.

HÖRTENSTEINER, S.; KRÄUTLER, B. Chlorophyll breakdown in higher plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics**, v. 1807, p. 977-988, 2011.

HUSEYNOVA, I. M. Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves from wheat cultivars exposed to drought. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics**, v. 1817, n 8, pp 1516–1523, 2012.

IQBAL, M.; HUSSAIN, I.; LIAQAT, H.; ARSLAN, A. M.; RASHEED, R.; REHMAN, A. U. Exogenously applied selenium reduces oxidative stress and induces heat tolerance in spring wheat. **Plant Physiol Biochem**, v. 94, pp 95–103, 2015.

JAIN, M.; JOS, E. M.; ARORA, D.; KAMESHWAR SHARMA, Y. V. R. Effect of proline on *Triticum aestivum* (wheat) under the drought conditions of salinity. **Journal of Pharmacy Research**, v. 7, n. 6, pp 506-509, 2013.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 11, p. 100–105, 2009.

JUNIOR, F. R.; JUNIOR, W. Q. R.; RAMOS, M. L. G.; ROCHA, O. C.; BATISTA, F. P. S.; LIMA, C. A. Respostas fisiológicas em variedades de cana soca submetidas ao déficit hídrico. **Irriga**, n. 21, v. 4, 806-816, 2016.

KÖPPEN, W. Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. **Petermanns Geographische Mitteilungen**, Gotha, v. 64, p. 193-203, 1918.

KOSAR, F.; AKRAM, N.A.; ASHRAF, M. Exogenously-applied 5-aminolevulinic acid modulates some key physiological characteristics and antioxidative defense system in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings under water stress. **South African Journal of Botany**, 96:71–77, 2015.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 39, DE 30 de Novembro de 2010. **Aprova o regulamento técnico de qualidade do trigo**. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 11 jun. 2016.

MAYDUP, M. L.; ANTONIETTA, M., GUIAMET, J. J.; GRACIANO, C., LÓPEZ, J. R.; TAMBUSI, E.A. The contribution of ear photosynthesis to grain filling in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Field Crops Research**, v. 119, p. 48-58, 2010.

MAYDUP, M. L.; ANTONIETTA, M.; GRACIANO, C.; GUIAMET, J. J.; TAMBUSI, E. A. The contribution of the awns of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) to grain filling: Responses to water deficit and the effects of awns on ear temperature and hydraulic conductance. **Field Crops Research**, v. 167, p. 102-111, 2014.

MOHAMMADI, M.; KARIMIZADEH, R.; ABDIPOUR, M. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland an supplemental irrigation conditions. **Australian Journal of Crop Science**, 5, p. 487–493, 2011.

MOHAMMADI, S.; JANMOHAMMADI, M.; JAVANMARD, A.; SABAGHNIA, N.; REZAIIE, M.; YEZDANSEPAS, A. Assessment of Drought Tolerance Indices in Bread

Wheat Genotypes Under Different Sowing Dates. **Cercetari agronomice in Moldova**, v. 45, n. 3, p. 25-39, 2012.

MOREIRA, D. R.; CARDOSO, V. J. M. Estresse hídrico e produtividade em *triticum aestivum* cv. anahuac e *triticum durum* cv. iac 1003. **Naturalia**, Rio Claro, v. 32, p. 23-34, 2009.

NAKAYAMA, I.; MIYAZAWA, T.; KOBAYASHI, M.; KAMIYA, Y.; ABE, H.; SAKURAI, A. Effects of a new plant growth regulator prohexadione calcium (BX-112) on shoot elongation caused by exogenously applied gibberellins in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. **Plant Cell Physiology**, v. 31, pp 195–200, 1990.

PINNOW, C.; BENIN, G.; VIOLA, R.; SILVA, C. L. S.; GUTKOSKI, L. C.; CASSOL, L. C. **Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio**. *Bragantia*, v.72, p.20-28, 2013.

RADEMACHER, W. Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. **Annual plant reviews**, v. 49, p. 359-404, 2016.

RAMPINO, P.; PATALEO, S.; GERARDI, C.; MITA, G.; PERROTTA, C. Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. **Plant Cell Environ**, v. 29, p. 2143–2152, 2006.

RANGAN, P.; FURTADO, A.; HENRY, R. J. New evidence for grain specific C4 photosynthesis in wheat. **Scientific reports**, v. 6, p. 1-12, 2016.

RAO, S. S.; REGAR, P. L.; TANWAR, S. P. S.; SINGH, Y. V. Wheat yield response to line source sprinkler irrigation and soil management practices on medium-textured shallow soils of arid environment. **Irrigation Science**, v. 31, n. 5, p. 1185–1197, 2013.

RIGON, J. P. G.; CAPUANI, S.; BELTRÃO, N. M.; BRITO NETO, J. F.; SOFIATTI, V.; FRANÇA, V. F. Non-destructive determination of photosynthetic pigments in the leaves of castor oil plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 325-329, 2012.

RODRIGUES, O.; DIDONETE, A. D.; TEIXEIRA, C. C. M.; ROMAN, S. E. **Redutores de crescimento**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 2003. 18p.

SANTOS, D. dos; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; JÚNIOR, E. K. M. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p. 836–842, 2012.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; OLIVEIRA, A. D. de; MULLER A. G.; **Climatologia da estação principal da Embrapa Cerrados: 1974 a 2013**. Brasília: Embrapa, 2016.

SILVA, S. A.; CARVALHO, F. I. F. de; NEDEL, J. L.; CRUZ, P. J.; SILVA, J. A. G. da; CAETANO, V. da R.; HARTWIG, I.; SOUSA, C. da S. Análise de trilha para os componentes de rendimento de grãos em trigo (*Triticum aestivum* L.). **Bragantia**, v.64, p.191-196, 2005.

SOUZA, A. P.; PEREIRA, J. B. A.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011.

SOUZA, C. A.; GAVA, F.; CASA, R. T.; KUHNEN JUNIOR, P. R.; BOLZAN, J. M. Relação entre densidade de plantas e genótipos de soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 887-896, 2010.

SOUZA, V. Q. de; NARDINO, M.; BONATO, G. O.; BAHRY, C. A.; CARON, B. O.; ZIMMER, P. D.; SCHIMIDT, D. Desfolha em diferentes estádios fenológicos sobre características agrônômicas em trigo. **Bioscience Journal**, v.29, p.1905-1911, 2013.

SZÚCS, A.; JÄGER, K.; JURCA, M. E.; FÁBIÁN, A.; BOTTKA, S.; ZVARA, Á.; BARNABÁS, B.; FEHÉR, A. Histological and microarray analysis of the direct effect of water shortage alone or combined with heat on early grain development in wheat (*Triticum aestivum*). **Physiologia plantarum**, 140, p. 174–188, 2010.

TUBEROSA, R. Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomic era. **Frontiers in physiology**, 3, p. 1–26, 2012.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I.; OLIVEIRA, A. C.; ALMEIDA, M. A.; BENIN, G.; SCHEEREN, P. D.; SOUZA, V. Q.; HARTWIG, I. Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 319-326, 2008.

VARGA, B.; VIDA, G.; VARGA-LÁSZLÓ, E.; BENCZE, S.; VEISZ, O. Effect of Simulating Drought in Various Phenophases on the Water Use Efficiency of Winter Wheat. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 201, n. 1, p. 1–9, 2015.

YOO, C. Y.; PENCE, H. E.; HASEGAWA, P. M.; MICKELBART, M. V. Regulation of transpiration to improve crop water use. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 28, n. 6, p. 410-431, 2009.

ZHANG, M.; LV, D.; GE, P.; BIAN, Y.; CHEN, G.; ZHU, G.; LI, X., YAN, Y. Phosphoproteome analysis reveals new drought response and defense mechanisms of seedling leaves in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Proteomics**, v. 109, 23, p 290-308, 2014.

2 **CAPÍTULO II: MORFOFISIOLOGIA E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE SOJA EM FUNÇÃO DO REGIME HÍDRICO E DA APLICAÇÃO DE REGULADOR DE CRESCIMENTO NA REGIÃO DO CERRADO**

2.1 RESUMO

A soja é uma cultura de ciclo anual, que possui uma grande capacidade adaptativa a diversos ecossistemas do mundo devido a sua elevada interação genótipo ambiente. Porém a sua produtividade é sensível às variações climáticas (fotoperiódicas) e ambientais principalmente o estresse hídrico. O uso de tecnologias como a aplicação de reguladores de crescimento pode minimizar os efeitos do déficit hídrico mediante ajustamentos morfofisiológico que tais produtos provocam na planta. Este trabalho visa avaliar o efeito regulador de crescimento Trinexapac-ethyl em três genótipos de soja submetidos a níveis decrescentes de irrigação. O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Cerrados. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, tendo por parcelas os genótipos de soja BRS 6980, BRS 7380RR e BRS 7580; as subparcelas, constituídas de aplicações foliares do regulador Trinexapac-ethyl nas doses de 1,02, 2,04, 4,08 litros ha⁻¹ e o tratamento testemunha (sem aplicação do regulador) e as subparcelas constituídas das lâminas (421, 400, 264, 207 e 174 mm). O genótipo BRS 6980 destacou-se por apresentar melhor desempenho produtivo e eficiência do uso de água aplicada (EUAA) que os demais genótipos em condições de estresse hídrico. Nas lâminas de irrigação mais elevadas o genótipo BRS 7580 apresentou maior desempenho produtivo e de peso de mil grãos (PMG) que os demais. A aplicação do Trinexapac-ethyl não afetou a produtividade nem a EUAA, mas elevou o porte dos genótipos estudados e também promoveu, em alguns genótipos, à elevação do PMG, dos teores de prolina e a estabilização da razão clorofila *a/b* o que pode favorecer a adaptação das plantas ao déficit hídrico.

Palavras chave: *Glycine max*, estresse hídrico, tolerância à seca, Trinexapac-ethyl, regulador de crescimento, Cerrado.

ABSTRACT

Soybean is an annual crop that has a high adaptive capacity to the diverse ecosystems in the world due to its high genotype environment interaction. However, its productivity is sensitive to climatic (photoperiodic) and environmental variations, mainly water stress. The use of technologies such as the application of growth regulators can minimize the effects of water deficit through morphophysiological adjustments that such products cause in the plant. This work aims to evaluate the regulatory effect of Trinexapac-ethyl growth reducer in three soybean genotypes under decreasing levels of irrigation. The study was carried out in the experimental field at Embrapa Cerrados. The experimental design was a randomized block with sub subdivided plots. The plots were composed by soybean genotypes BRS 6980, BRS 7380RR and BRS 7580; the subplots consisted of foliar applications of the Trinexapac-ethyl growth reducer at the doses of 1.02, 2.04, 4.08 liters ha⁻¹ and the control treatment (without growth reducer application) and the sub-plots consisted of levels of irrigation (421, 400, 264, 207 and 174 mm). The BRS 6980 genotype was characterized by a better productive performance and water use efficiency (USAA) than the other genotypes under water stress conditions. The BRS 7580 genotype showed higher productive performance and higher a thousand grain weight (PMG). The application of Trinexapac-ethyl did not affect the productivity nor the USAA, but increased the height of the genotypes studied and also promoted, in some genotypes, the elevation of PMG, proline contents and the stabilization of the chlorophyll a/b ratio, which may favor plant adaptation to the water deficit.

Key words: Glycine max, water stress, drought tolerance, Trinexapac-ethyl, growth regulator, Cerrado.

2.2 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma cultura que possui expressiva relevância econômica no cenário mundial e o Brasil é o segundo maior produtor da leguminosa depois dos Estados Unidos da América, que produz 115,8 milhões de toneladas (USDA, 2017). A produção nacional de grãos dessa cultura ultrapassou os 113,01 milhões de toneladas, cultivada em uma área de 33,86 milhões de hectares, o que representa mais de 57% da área cultivada com grãos no Brasil que tem como maiores produtores os estados do Mato Grosso, Paraná e o Rio Grande do Sul (CONAB, 2017).

A proteoleaginosa possui elevado valor nutricional, é rica em proteína (40 %), óleo (20%) e carboidratos (30%) (YU et al., 2016). Além disso, possui também elevado valor farmacológico em razão da presença de fotoquímicos (isoflavonas, saponinas, e ácidos fenólicos) em sua constituição e as isoflavonas da soja, em particular, têm sido associadas à redução dos níveis de colesterol, ao fortalecimento dos ossos além de ser considerado um agente anticancerígeno (HAMMOND et al., 2016).

A soja pode ser cultivada em várias partes do globo mais possui limitações edafoclimáticas em condições de estresses abióticos que podem afetar vários estágios fenológicos da cultura como a fase vegetativa e reprodutiva (desenvolvimento do pólen), uma das mais críticas, podendo danificar a planta inteira e reduzir a sua produtividade. Quando os grãos estão formados, o estresse hídrico afeta as atividades enzimáticas responsáveis pela degradação da clorofila o que pode ocasiona retenção da cor verde dos grãos (ZINN, et al. 2010).

Além disso, sob estresse hídrico, a soja tende a apresentar alterações em seus solutos orgânicos, a exemplo dos carboidratos solúveis totais, sacarose, prolina, aminoácidos livres e proteínas solúveis (LOBATO et al., 2008). O processo de aumento dos níveis de aminoácidos livres é utilizado pela planta para reduzir os efeitos do déficit hídrico através do acúmulo de soluto orgânico e desta forma aumentar a capacidade de retenção de água (MORANDO et al., 2014). A prolina, por exemplo, interage com enzimas e outras proteínas preservando suas estruturas e atividades (SZABADOS; SAVOURÉ, 2010).

No que se refere ao aspecto morfológico, os genótipos de soja submetidos a déficit hídrico podem apresentar comportamentos variáveis. Em geral, as plantas nessas condições

possuem redução na área foliar total, principalmente após a maturação das folhas e se o estresse ocorrer após um grande desenvolvimento das folhas, então estas entram em senescência e finalmente caem (FIOREZE et al., 2011). Assim, a seca pode ser considerada um dos estresses ambientais que causam impactos mais significativos na agricultura em todo o mundo e a melhora do rendimento das culturas em condições de estresse é um dos principais objetivos do melhoramento genético de plantas (MIR et al., 2012).

Os processos adaptativos influenciados por respostas aos fatores ambientais são regulados por fitormônios, substâncias orgânicas que, em baixas concentrações, promovem alteração nos processos fisiológicos e morfológicos das plantas. Dentre os hormônios produzidos pelos vegetais destacam-se as auxinas, as giberilinas, as citocininas, o etileno e o ácido abscísico (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os hormônios vegetais não atuam isoladamente, mesmo quando uma resposta no vegetal é atribuída à aplicação de um único regulador de crescimento, pois o tecido que recebeu a aplicação contém outros hormônios endógenos que contribuem para as respostas obtidas (EMBRAPA, 2010).

Os fitormônios interagem formando um sinal em rede para ajustar as defesas da planta contra modificações ambientais desfavoráveis; assim as interações fitormonais não são a exceção, mas a regra na integração de diversos sinais que levam à planta a reajustar o seu crescimento e adquirir tolerância ao estresse (KOHLI et al., 2013). Esse fenômeno de interferência de um hormônio em outro é conhecido como *crosstalk*, ou seja, são pontos de convergência entre as cascatas de transdução de sinal de hormônios que interagem entre si para formar uma rede de sinalização (HARRISON et al., 2012).

Os reguladores de crescimento mais comumente utilizados são o cloreto de clorocolina, cloreto de cloromequate e cloreto de mepiquat, Trinexapac-ethyl (RADEMACHER, 2000), e têm por finalidade modificar a arquitetura das plantas aumentando a sua adaptação e eficiência no uso dos recursos ambientais e de insumos. Esses reguladores são amplamente estudados para monocotiledôneas como a cultura do trigo (BERTI et al., 2007), da cevada (AMABILE et al., 2004), da cana-de-açúcar (LEITE et al., 2011); e em dicotiledôneas, por exemplo, na cultura do algodão (NAGASHIMA et al., 2010), mas não são muito explorados na cultura da soja (CORREIA et al., 2012).

O Trinexapac-ethyl inibe a enzima Giberelina 3 β -hidroxilase, responsável pela transformação de GA20 (giberelina inativa) em GA1 (giberelina ativa) que é a responsável pelo alongamento do caule (RADEMACHER, 2016; NAKAYAMA et al., 1990).

As giberelinas (ou ácido giberélicos) atuam na germinação de sementes, na expansão da folha, no alongamento do caule e desenvolvimento dos frutos (YAMAGUCHI, 2008); também está relacionada com a promoção de transições de fase de desenvolvimento; e há cada vez mais evidências de sua atuação vital na resposta adaptativa à estresse abiótico (COLEBROOK et al., 2014).

As giberelinas são conhecidas por interagir com todos os outros fitormônios em numerosos processos de desenvolvimento e estímulo resposta. As interações entre ácido giberélico e o etileno incluem tanto a regulação mútua negativa e positiva dependendo do tecido (MUNTEANU et al., 2014).

A aplicação de regulador de crescimento tem sido uma importante estratégia utilizada em várias culturas e além de propiciar a redução do porte das plantas também pode aumentar a resistência do caule reduzindo a ocorrência de acamamento em materiais genéticos de porte alto (DAI; WIERSMA, 2011; ESPINDULA et al., 2010).

Este trabalho teve por objetivo avaliar a morfofisiologia e o desempenho agronômico de genótipos de soja, em função do regime hídrico e da aplicação do regulador de crescimento Trinexapac-ethyl.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Caracterização edafoclimáticas

O estudo foi realizado no ano de 2014 no campo experimental da Embrapa Cerrados localizado nas coordenadas geográficas de 15° 35' 30'' S e 47° 42' 00'' W (Figura 5.8A), localizado a 1,50 Km da BR 020 (Km 18), região administrativa de Planaltina-DF. O solo é classificado como Latossolo-Vermelho distrófico e de textura argilosa (teor de argila de 570 g kg⁻¹) a moderada (SANTOS et al., 2013). A altitude da área é de aproximadamente 1014 m com temperatura média anual de 22°C e pluviosidade média de 1202 mm (SILVA et al., 2016).

Segundo Köppen (1918) a classificação do clima do Distrito Federal é Aw, caracterizada por clima tropical, concentrando-se no verão as precipitações. O período chuvoso corresponde aos meses de outubro a abril (primavera e verão), e o período seco ocorre especialmente nos meses de maio a setembro (outono e inverno) (Figura 2.1). A época de semeadura da soja para maioria das mesorregiões produtoras da cultura no país ocorre entre os meses de outubro e dezembro (CONAB, 2017).

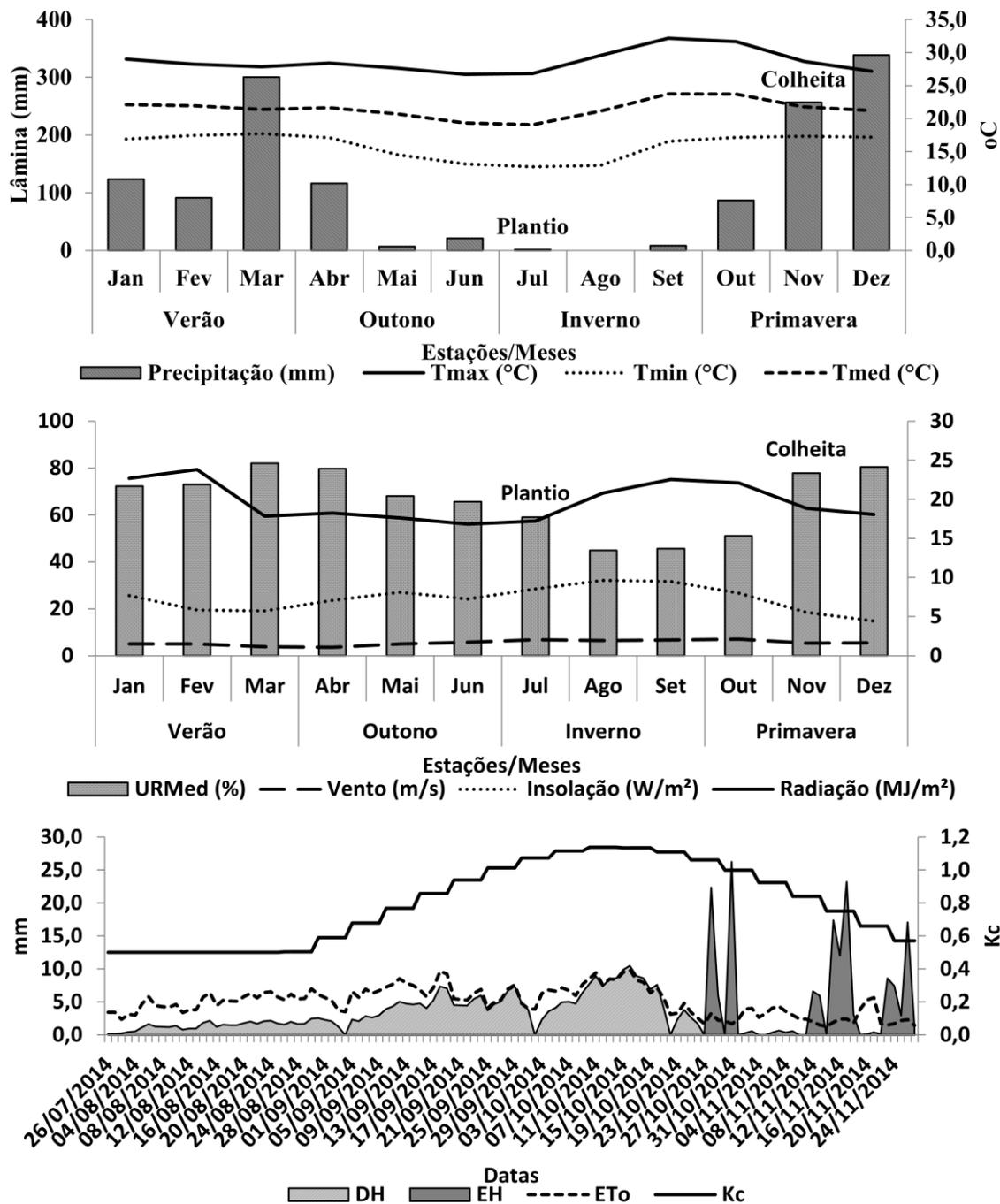


Figura 2.1 Dados climatológicos e dados relacionados à necessidade hídrica no ciclo da cultura da soja observados no ano de 2014. Precipitação pluviométrica, temperatura média (Tmed), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), umidade relativa média (URMed), radiação solar (MJ/m^2), insolação (W/m^2); velocidade do vento (m/s). Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Cerrados (2017) (<http://hidro.cpac.embrapa.br>). Evapotranspiração de referência (ET_0); coeficiente de cultura (Kc); excedente hídrico (EH) e déficit hídrico (DH) calculados a partir da data de emergência da cultura. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2017) (<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhc>).

2.3.2 Área e delineamento experimental

A área experimental media 2907 m² (17 m x 171 m), cada parcela possuía 4 linhas com dimensões de 17 m comprimento por 3,00 m de largura, com espaçamento de 0,50 m. O delineamento adotado foi o de blocos ao acaso com parcelas sub subdivididas. As parcelas foram compostas pelos genótipos de soja (BRS 7380RR, BRS 7580 e o BRS 6980).

As subparcelas foram representadas por tratamentos com aplicação do regulador de crescimento Trinexapac-ethyl nas doses de R1x (1,02 litros ha⁻¹; 255 g de i.a. – ingrediente ativo), R2x (2,04 litros ha⁻¹; 510 g de i.a.) e R4x (4,08 litros ha⁻¹; 1020 g de i.a.) e o tratamento testemunha (sem aplicação do regulador). Neste último foram realizadas aplicações apenas com água (sendo o primeiro tratamento a ser aplicado para evitar contaminação).

A aplicação foliar foi realizada no estágio fenológico VN fazendo-se uso de um pulverizador costal de CO₂ (vazão de 0,01325 m³ s⁻¹). As sub subparcelas foram compostas pelas lâminas de irrigação: 421, 400, 207, 264, 174 mm (Figura 5.15A, foto 12 e 25).

O regulador de crescimento utilizado é constituído do princípio ativo Trinexapac-ethyl (250 g/L, 25% m/v). O Trinexapac-ethyl inibe a enzima Giberelina 3β-hidroxilase, responsável pela transformação de GA20 (giberelina inativa) em GA1 (giberelina ativa) que é a responsável pelo alongamento do caule (RADEMACHER, 2016; NAKAYAMA et al., 1990) (Figura 5.17A).

2.3.3 Características dos genótipos

O genótipo BRS 7380RR é uma cultivar transgênica resistente ao herbicida glifosato e possui ciclo precoce, grupo de maturidade 7.3 e crescimento indeterminado, com altura média de 78 cm, ciclo de 115 dias no Estado de Goiás e de 95 no Mato Grosso. Está associada à resistência às raças 3, 4, 6, 9, 10 e 14 do nematoide do cisto da soja (*Heterodera glycines*) e aos formadores de galhas *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica* (EMBRAPA, 2017).

O genótipo BRS 6980 é uma cultivar superprecoce, grupo de maturidade 6.9, com tipo de crescimento indeterminado e altura média 76 cm, porte ereto, e resistente ao acamamento (ciclo). Pode ser utilizada no sistema de sucessão de culturas, aumentando a sustentabilidade

do sistema produtivo agrícola. Por ser convencional, possui vantagem de receber prêmios no preço de comercialização dos grãos nos mercados de “Soja Livre”. Indicada para o plantio nas seguintes regiões edafoclimáticas e estados: 301 (GO), 304 (GO e DF), 401 (GO) (EMBRAPA, 2017).

O genótipo BRS 7580 é uma cultivar convencional (não transgênica) e apresenta bom potencial produtivo com estabilidade e precocidade ideal para o sistema soja/milho safrinha, grupo de maturidade 7.5; é pouco exigente em fertilidade de solo. Apresenta tipo de crescimento determinado (com altura média 70 cm), flor de cor roxa, hilo preto, resistência ao acamamento e ciclo médio de 100 a 117 dias. Possui resistência à pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*), cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*), vírus da necrose da haste (CpMMV – Cowpea mild mottle virus), ao nematoide do cisto (*Heterodera glycines*) e moderada resistência à mancha "olho de rã" (*Cercospora sojina*) e ao crestamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*) e é indicada para os estados e respectivas regiões edafoclimáticas: BA - 405; DF - 304; GO – 301, GO - 304; MG - 303, MG - 304; MT - 401, MT - 402, MT - 403; TO - 501 (EMBRAPA, 2017).

2.3.4 Adubação e plantio

Antes do plantio do experimento, as plantas daninhas presentes na área foram tratadas com herbicida à base de Glifosato (64,8% m/v; 648 g L⁻¹).

O plantio foi realizado no dia 26 de julho de 2014 e a densidade de plantas utilizada para os genótipos BRS 7380RR, BRS 6980 e BRS 7580 foram, respectivamente, 12, 15 e 13 plantas por metro linear; a emergência (VE) ocorreu no dia 01 de agosto, o florescimento (R1) ocorreu no dia 11 de setembro 41 Dias Após a Emergência (DAE), o desenvolvimento da vagem (R3) ocorreu por volta dos 54 DAE (24 de setembro) e a maturação (R8) aos 115 DAE (24 de novembro).

A adubação de plantio foi feita com o formulado 04-14-08 (643 kg ha⁻¹) e as sementes foram previamente inoculadas com inoculante à base de turfa, na dose de 1,2 milhão de unidades formadora de colônias por semente de soja. A Tabela 2.1 mostra a análise do solo realizada na área.

Tabela 2.1 Caracterização química do solo da área experimental de cultivo da soja testados em diferentes lâminas de irrigação. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Profundidades	pH H ₂ O	P	Al	K	Ca	Mg	H+Al	MO	SB	CTC 7,0	V	m
cm		mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----				%	cmolc dm ⁻³	-----%-----			
0-20	6,12	46,44	0,02	0,23	3,81	1,83	3,51	2,07	5,87	9,38	62,58	0,34
21-40	6,10	8,16	0,03	0,24	2,42	1,25	3,82	1,89	3,91	7,73	50,58	0,77

Absorção atômica: Ca²⁺, Mg²⁺; Fotômetro de chama: K⁺; Titulometria: Al, H+Al. Espectrofotometria: P (Mehlich1); Walkley & Black: Matéria Orgânica (MO). Areia grossa = 236 g kg⁻¹; areia fina = 47; silte = 116 g kg⁻¹; argila = 601 g kg⁻¹.

2.3.5 Regime hídrico

A área foi irrigada por um sistema móvel (autopropelido com velocidade regulável) constituído por uma barra irrigadora de aspersão, com 40 m de largura, contendo dez aspersores em sua lateral espaçados uniformemente. A barra se movimenta em sentido paralelo à linha de cultivo formando uma área irrigada retangular (Figura 5.10A; Figura 5.12A). Esse sistema de irrigação teve por base o sistema fixo *line source* (HANKS et al., 1976b).

Durante os primeiros 23 dias a irrigação foi uniforme em toda a área experimental e foram realizadas cinco irrigações totalizando uma lâmina de 95 mm. Após esse período a vazão dos dez aspersores foi reduzida gradualmente a partir do 2º aspersor (maior lâmina aplicada) até 6º aspersor (menor lâmina aplicada) e excluindo os quatro últimos aspersores da extremidade (máximo déficit hídrico). Nessa fase foram realizadas 14 irrigações e a lâmina acumulada das irrigações uniformes foi de 95 mm.

O regime hídrico adotado foi caracterizado por 5 lâminas de irrigação em gradiente obtidos pelas soma da irrigação homogênea (95 mm) até última irrigação realizada em gradiente, totalizando ao final do ciclo: 421, 400, 267, 207, 174 mm. As lâminas aplicadas foram medidas a cada evento de irrigação com o auxílio de duas fileiras de coletores (com 18 coletores por fileira) instalados de forma paralela à linha de irrigação (Figura 5.15A, fotos 7 e 8).

Para a determinação da lâmina de irrigação foi utilizado o Programa de Monitoramento de Irrigação para o Cerrado, da Embrapa Cerrados. O referido programa é abastecido com o tipo da cultura, a variedade usada, o tipo de solo e a data de emergência das plantas e por meio dessas informações o programa fornece automaticamente a lâmina líquida

e o turno de rega que devem ser aplicados. Esse programa está disponível gratuitamente no endereço: <http://www.cpac.embrapa.br> no link "Monitoramento da Irrigação" ou pelo endereço <http://hidro.cpac.embrapa.br> (EMBRAPA, 2013).

A lâmina líquida de irrigação é calculada com base nos resultados de vinte e dois anos de pesquisas das relações solo-água-planta-atmosfera no Bioma Cerrado para cada cultura. O programa estima a evapotranspiração de referência com base na equação proposta por

$$\text{Penman-Monteith (1965): } ET_0 = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{(T - 273)} (e_s - e_a)$$

Onde: ET_0 é a evapotranspiração diária de referência (mm); λ é o calor latente de vaporização (MJ kg^{-1}); δ é a inclinação da curva da pressão de vapor saturado versus temperatura (k Pa K^{-1}); R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); e_s é a pressão de vapor saturado do ar (k Pa); e_a é a pressão de vapor do ar na altura z (k Pa); T é a temperatura do ar na altura z ($^{\circ}\text{C}$); γ^* é o coeficiente psicrométrico modificado (k Pa K^{-1}) = $\gamma (1 + 0,33 U_2)$; U_2 é a Velocidade do vento medida a 2 metros de altura (m s^{-1}); 900 é uma Constante ($\text{k J}^{-1} \text{ kg}^0 \text{K}$).

2.3.6 Avaliações morfofisiológicas e laboratoriais

As duas medidas de altura das plantas foram realizadas com o auxílio de uma trena graduada, sendo medida da base da planta até o ápice terminal de forma perpendicular ao plano da superfície. As medições foram realizadas no período da manhã aos 45 e 70 DAE nos respectivos estádios de R_1 (florescimento) e R_4 (desenvolvimento da vagem) (FEHR; CAVINESS, 1977) (Figura 5.14A).

As avaliações dos teores de clorofila a e b foram realizados no terceiro ou quarto trifólios contados a partir do ápice da haste principal utilizando o medidor portátil de clorofila ClorofiLOG (CFL-1030, Falker) que fornecem medições relativas do total de clorofila (0 a 100) (RIGON et al., 2012) (Figura 5.15A, foto 11).

Foram coletadas, aos 61 DAE, amostras de solo em três profundidades para a determinação da umidade. As coletas foram realizadas antes e após cada irrigação em todas as faixas de irrigação estudadas (Tabela 2.2). As amostras foram devidamente pesadas e colocadas em uma estufa a 105°C por três dias quando foram novamente pesadas para determinação do peso seco. O percentual de umidade foi calculado pela fórmula:

$$UG (\%) = \frac{MU-MS}{MS}.100. \text{ Onde: } UG = \text{umidade gravimétrica (\%); } MU = \text{Massa do solo}$$

úmido; MS = Massa do solo seco.

Tabela 2.2 Percentuais de umidade (U%) em função das profundidades e das lâminas aplicadas na área experimental de cultivo da soja. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Lâmina (mm)	U% Antes da Irrigação	U% Após Irrigação
0 – 10 cm		
421	19,95	20,74
400	18,55	20,46
264	16,36	16,94
207	13,14	15,89
174	10,69	15,78
10 – 20 cm		
421	20,05	27,30
400	18,14	20,20
264	15,24	16,49
207	13,32	16,04
174	13,59	16,37
20 – 30 cm		
421	20,47	29,03
400	18,04	28,14
264	15,16	19,34
207	14,47	16,45
174	14,30	11,17

A coleta das folhas para análise de prolina foi realizada aos 75 DAE, no estágio fenológico R₅ (enchimento dos grãos) (FEHR; CAVINESS, 1977), entre 17 e 18 horas. Foram coletados entre dois e três trifólios (medidos no terceiro ou quarto trifólios a partir da haste principal) de cada genótipo, sendo colocadas em sacos de plásticos e estes depositados em um recipiente de isopor contendo nitrogênio líquido (N₂). Logo em seguida, as amostras foram mantidas em freezer -80 °C até o momento das análises.

A determinação dos teores de prolina livre nas amostras das folhas foi feita no laboratório de bioquímica do solo da Universidade de Brasília (UnB) pelo método do ácido sulfossalicílico descrito por Bates et al. (1973) (Figura 5.16A).

Para a determinação dos teores de prolina, foram utilizados os trifólios coletados em cada avaliação. O extrato para determinação da prolina foi obtido pela adição de 10 mL de ácido sulfossalicílico a 3% em cerca de 0,5 g de folhas previamente macerada em cadinho de porcelana e filtrado em papel filtro.

O filtrado foi depositado em tubos de ensaio com tampa rosqueável, nos quais foram adicionados 1,5 mL de extrato, 1 mL de glicina, 1 mL de ninidrina ácida, e 1 mL de ácido acético glacial, deixando-se a mistura em banho-maria (100°C) por uma hora, para o desenvolvimento da cor. Em seguida, os tubos de ensaio foram colocados em banho de gelo por 10 minutos para cessar a reação. A extração do cromóforo foi realizada pela adição de 4 mL de tolueno à mistura de reação, seguida de agitação vigorosa por 20 segundos. Após repouso, e formação da mistura bifásica, a fase superior foi retirada para a quantificação dos níveis de prolina livre, por intermédio de medidas de absorvância em espectrofotômetro SP-2000 U.V. ajustado para 515 nm. Utilizou-se como branco apenas o tolueno. Como padrão, utilizou-se a prolina pura determinada em curva padrão.

Os teores de prolina foram calculados com base na massa fresca, segundo a fórmula:

$$\mathbf{Pr} = \frac{(\mu\text{g prolina mL}^{-1} \times \text{mL tolueno}) / 115,5 \mu\text{g } \mu\text{mol}^{-1}}{\text{g amostra}/5}$$

Onde **Pr** = μmol de prolina g^{-1} massa fresca (MF). Cada repetição (amostra) foi representada por um extrato simples, determinado em triplicatas.

Cada repetição (amostra) foi representada por um extrato simples, determinado em triplicatas.

A colheita dos grãos foi feita em uma área útil de 3,00 m^2 para o cálculo da produtividade da cultura. Após a colheita, os grãos foram devidamente pesados sendo obtidos os pesos totais, para se estimar a produtividade, e o peso de 1000 grãos em uma balança semi-analítica com precisão 0,01 (Brasil, 1992), os resultados foram multiplicados por 10 de acordo com a fórmula:

$$\mathbf{PMG} = \frac{\mathbf{PA} \times 10}{\mathbf{NS}}. \text{Onde: } \mathbf{PMG} = \text{Peso de mil grãos; } \mathbf{PA} = \text{Peso da amostra; } \mathbf{NS} =$$

Números de grãos.

A determinação da umidade das amostras dos grãos foi realizada com auxílio de uma estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas (Brasil, 1992). Os grãos apresentaram umidade media em torno de $13,08 \pm 1,84\%$ e foi corrigida para 13%. A determinação da produtividade foi feita após a secagem, nessa etapa os grãos das parcelas foram devidamente pesados e a produtividade foi estimada em kg ha^{-1} acordo com a fórmula:

$$P = \frac{P_{Atual}(100 - U\%_{Atual})}{(100 - U\%_{Almejada})} \times 3,33$$

Onde: **P** = Produtividade (kg ha⁻¹); **P_{Atual}** = Peso do grão colhido sub subparcela; **U%_{Atual}** = Umidade do grão colhido sub subparcela; **U%_{Almejada}** = Umidade do grão almejada (13%).

A eficiência do uso de água aplicada foi estimada a partir das áreas das subparcelas e calculada pela fórmula:

$EUAA = \frac{P}{LTA}$. Onde: **EUAA** = Eficiência do uso de água aplicada (kg ha⁻¹ mm⁻¹); **P** = Produtividade (kg ha⁻¹); **LTA** = lâmina total aplicada (mm).

2.3.7 Análise estatística

Na análise dos dados estatísticos foi utilizado modelo misto balanceado gerado pelo procedimento PROC MIXED (LITTELL et al., 1996):

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + R_j + L_k + (G \times R)_{ij} + (G \times L)_{ik} + (R \times L)_{jk} + (G \times R \times L)_{ijk} + B_l + (G \times B)_{il} + (R \times B)_{jl} + (B \times R(G))_{kjl} + \epsilon_{ijkl}$$

Onde: **μ**: Média das parcelas; **G_i**: é o efeito dos genótipos; **R_j**: é o efeito do Regulador de crescimento; **L_k**: é o efeito da Lâmina de irrigação; **(G × R)_{ij}**: Efeitos da interação Genótipo x Regulador de crescimento; **(G × L)_{ik}**: Efeitos da interação Genótipo x Lâmina de irrigação; **(R × L)_{jk}**: Efeitos da interação Regulador de crescimento x Lâmina de irrigação; **B_l**: é o efeito de Bloco; **(G × B)_{il}**: erro **a**, gerado pela observação dos genótipos nas parcelas; **(R × B)_{jl}**: erro **b**, gerado pela observação do regulador de crescimento nas subparcelas; **(B × R(G))_{kjl}**: erro **c**, gerado pela observação das Lâmina de irrigação nas sub subparcelas.

Onde: **G_i**, **R_j**, **L_k**, **(G × R)_{ij}**, **(G × L)_{ik}** e **(R × L)_{jk}** são efeitos fixos; **B_l**, **(G × B)_{il}**, **(R × B)_{jl}** e **(B × R(G))_{kjl}** são efeitos aleatórios; e **ε_{ijkl}** é o erro aleatório.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias das espécies foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software SAS, versão 9.1 (SAS, 2008).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Análise de variância

De acordo com a análise de variância (ANAVA) o teor de clorofila *a* foi o único parâmetro que apresentou efeito isolado dos genótipos de soja (G) e das lâminas de água aplicadas (L) no estágio fenológico de florescimento. Os demais parâmetros apresentaram interação entre os genótipos de soja e das lâminas de água aplicadas (G x L) independentemente do estágio fenológico. No estágio fenológico de desenvolvimento das vagens além da interação (G x L) houve, também, interações entre regulador de crescimento e lâminas de água aplicada (R x L) para a razão clorofila *a/b*, entre genótipos e regulador de crescimento (G x R) para altura das plantas (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 Valores de testes de hipóteses ($F < Pr$) para cada parâmetro avaliado em função dos genótipos de soja, dos tratamentos com aplicação foliar de regulador de crescimento Trinexapac-ethyl, das lâminas de água aplicada e de suas interações.

FV	GL	PMG	Produtividade	EUAA	Prolina
		g	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	μmol g ⁻¹
G	2	<.0001*	0,003*	<.0001*	<.0001*
R	3	<.0001*	0,9555	0,7927	0,0694
G x R	6	0,0087*	0,6391	0,6582	0,0202*
L	4	<.0001*	<.0001*	<.0001*	0,0199*
G x L	8	<.0001*	<.0001*	<.0001*	0,0469*
R x L	12	0,8613	0,3801	0,4213	0,5267
G x R x L	24	0,071	0,7498	0,8309	0,4586

Início do Florescimento (R1)						
FV	GL	Altura	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	Clorofila <i>a/b</i>
		cm	Unidade	Unidade	Unidade	Unidade
G	2	0,0278*	0,0004*	0,0005*	0,0009*	0,0264*
R	3	0,9902	0,9128	0,7222	0,9794	0,3486
G x R	6	0,8027	0,8009	0,8081	0,9166	0,3300
L	4	<.0001*	0,0002*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
G x L	8	0,0183*	0,7242	0,0002*	0,0282*	0,0009*
R x L	12	0,8137	0,8447	0,8733	0,9489	0,5064
G x R x L	24	0,6880	0,6031	0,4066	0,4682	0,3124

Estádio de desenvolvimento das vagens (R4)						
FV	GL	Altura	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	Clorofila <i>a/b</i>
		cm	Unidade	Unidade	Unidade	Unidade
G	2	0,0126*	0,0136*	0,0553*	0,0069*	0,0176*
R	3	<.0001*	0,0441*	0,1614	0,0406*	0,2337
G x R	6	<.0001*	0,8328	0,4274	0,6451	0,6120
L	4	<.0001*	0,0004*	0,0001*	0,0001*	0,0003*
G x L	8	<.0001*	0,0006*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
R x L	12	0,6216	0,0924	0,3289	0,1421	0,0176*
G x R x L	24	0,7367	0,1407	0,3803	0,1724	0,2337

Obs.: G – Genótipos; R – Tratamentos com regulador de crescimento; L – lâmina (mm); PMG – Peso de Mil Grãos. * - F significativo para o teste Tukey a 5% de probabilidade.

2.4.2 Produtividade e peso de mil grãos (PMG)

Entre os genótipos e as lâminas aplicadas foram verificadas interações significativas e, em geral, esta decresceu na medida em que menores lâminas foram fornecidas. No genótipo BRS 6980, a lâmina de 421 mm favoreceu a maior produtividade. Para os genótipos BRS 7380RR e BRS 7580, as lâminas que promoveram as maiores produtividades foram: 421 e 400 mm (Tabela 2.4).

Na comparação de produtividade entre os genótipos dentro de cada lâmina foi constatado que o BRS 7380RR apresentou produtividades significativamente inferiores aos outros dois para a maioria das lâminas aplicadas.

O genótipo BRS 7580 apresentou produtividade estatisticamente superior aos genótipos BRS 6980 e o BRS 7380RR nas lâminas 421 e 400 mm; e não diferenciou significativamente do BRS 6980 nas lâminas 264 e 207 mm e foi inferior, significativamente, ao BRS 6980 na lâmina 174 mm.

Tabela 2.4 Produtividade (kg ha^{-1}) dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	2107,26 Ba	1722,57 Bb	1144,37 Ac	976,77 Acd	838,92 Ad
BRS 7380RR	1952,97 Ba	1722,26 Ba	728,83 Bb	589,00 Bb	469,29 Bb
BRS 7580	2366,62 Aa	2291,34 Aa	1148,59 Ab	885,79 Ab	554,31 Bc
CV_G(%) 21,91					
CV_L(%) 17,90					

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Os genótipos BRS 7580 e BRS 6980 apresentaram os maiores valores de produtividades. No primeiro caso, o genótipo teve sua produtividade associada à máxima lâmina de irrigação fornecida, sendo afetado em condições de déficit hídrico, enquanto o BRS 6980 teve maiores rendimentos que os demais nas menores lâminas de irrigação superando o estatisticamente o BRS 7580 na menor lâmina aplicada (174 mm).

Esse resultados foram semelhantes aos obtido por Hea et al. (2017) que ao testarem lançamentos de cultivares de soja e genótipos crioulas sob lâminas de irrigação à 85% da

capacidade de campo, a 30% da capacidade de campo (estressado 1) e sem irrigação (estressado 2), com o estresse implantado 40 dias após a semeadura, verificaram que o estresse hídrico reduziu significativamente o rendimento de grãos e a EUAA.

Todos os genótipos apresentaram redução no peso de mil grãos (PMG) na medida em que menores lâminas foram aplicadas. O genótipo BRS 7580 apresentou os maiores valores de PMG quando comparados aos demais para a maioria das lâminas aplicadas (Tabela 2.5).

Na soja, o PMG está relacionado à formação de plantas mais vigorosas, com maior porte (aos 75 dias após a semeadura) e mais produtivas (SCHEEREN et al., 2010). Segundo Dias et al. (2010), plantas mais vigorosas são mais competitivas por recursos (água e nutrientes, por exemplo) o que influencia diretamente em sua produtividade.

Ciciliano et al. (2013) testando o vigor do genótipo de soja M-SOY 8008 RR em tratamento com e sem deficiência hídrica (suspensão da irrigação do 1° ao 10° DAE) verificaram que as sementes de alta qualidade fisiológica, apresentaram maior capacidade de superar as condições adversas (deficiência hídrica) no estabelecimento inicial da cultura da soja, proporcionando ganhos significativos no rendimento de sementes, embora, essas características não tenham diferenciado significativamente na geração F1.

Tabela 2.5 Peso de mil grãos (g) dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	133,39 Ba	115,56 Cb	95,08 ABc	94,18 Ac	91,73 Bc
BRS 7380RR	118,78 Ca	124,84 Ba	90,97 Bb	91,84 Ab	82,63 Cc
BRS 7580	142,88 Aa	140,5 Aa	99,72 Ab	98,32 Ab	98,88 Ab
CV_G(%)	7,94				
CV_L(%)	5,77				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Para o PMG foi verificada interação entre tratamentos com regulador de crescimento e os genótipos estudados. Na comparação entre os tratamentos, o genótipo BRS 7580 apresentou maiores valores de PMG quando comparado aos outros dois genótipos na maioria das lâminas aplicadas, só não diferenciou estatisticamente do BRS 7380RR com o tratamento

R4x e do BRS 6980 no R2x. Entre os tratamentos a aplicação de R4x favoreceu a elevação do PMG apenas no genótipo BRS 7380RR (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 Peso de mil grãos (g) dos genótipos de soja em função da aplicação foliar do regulador de crescimento Trinexapac-ethyl em diferentes doses. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Doses de regulador de crescimento			
	R4x	R2x	R1x	Testemunha
BRS 6980	109,96 Ba	108,87 ABa	102,54 Ba	102,57 Ba
BRS 7380RR	113,91 ABa	101,74 Bb	95,49 Bb	96,11 Bb
BRS 7580	117,64 Aa	115,77 Aa	115,09 Aa	115,74 Aa
CV_G(%) 7,94				
CV_{DR}(%) 7,27				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma dose de regulador) e minúscula na linha (comparando diferentes doses de regulador dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. R1x (1,02 litros ha⁻¹; 255 g de i.a.; R2x (2,04 litros ha⁻¹; 510 g de i.a.) e R4x (4,08 litros ha⁻¹; 1020 g de i.a.). CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_{DR}(%) – Coeficiente de variação das doses de regulador de crescimento.

Carvalho et. al (2013) testando diferentes doses de biorregulador vegetal (Cinetina, Ácido Giberélico, Ácido4-Indol-3-Ilbutírico) obtiveram maiores valores no PMG (287,50 g) com aplicação da dose 1,0 L ha⁻¹. Segundo Morando et al. (2014) o uso de regulador de crescimento vegetal na dosagem de 1,0 L ha⁻¹ resultou na maior PMG, produtividade, diâmetro do caule e números de vagens na soja mostrando-se significativo para o aumento desses parâmetros agronômicos.

Linzmeier Junior et al. (2008) avaliando a combinação das doses (0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0 L ha⁻¹) do regulador vegetal Trinexapac-ethyl no genótipos CD 209 de soja não detectaram diferenças significativas na produtividade e no PMG.

No estudo realizado por Campos et al. (2007), utilizando outros reguladores de crescimento (cloreto de mepiquate e citocinina), observaram que esses não afetaram a produtividade, mas reduziram a estatura dos genótipos de soja.

2.4.3 Eficiência do uso de água aplicada (EUAA)

O genótipo BRS 6980 apresentou maior eficiência do uso de água aplicada (EUAA) (4,82 kg ha⁻¹ mm⁻¹) comparado ao BRS 7580 (3,19 kg ha⁻¹ mm⁻¹) e ao 7380RR (2,70 kg ha⁻¹ mm⁻¹) na lâmina 174 mm, mas teve menor EUAA que o BRS 7580 na lâmina de 400 mm, nas demais lâminas esses dois genótipos não apresentaram diferenças estatísticas. O 7380 RR, em

geral, apresentou valores intermediários de EUAA em relação aos outros dois genótipos (Tabela 2.7).

A EUAA no BRS 6980 foi semelhante em todas as lâminas de água, mas para os outros genótipos, esta decresceu a partir da lâmina de 264 mm. Os dados obtidos sugerem que o BRS 6980 mostrou-se mais adaptado as condições de déficit hídrico elevado quando comparado aos demais genótipos.

Tabela 2.7 Eficiência do uso de água aplicada ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	5,01 ABa	4,31 Ba	4,33 Aa	4,72 Aa	4,82 Aa
BRS 7380RR	4,64 Ba	4,31 Ba	2,76 Bb	2,85 Bb	2,70 Bb
BRS 7580	5,62 Aa	5,73 Aa	4,35 Ab	4,28 Ab	3,19 Bc
CV_G(%)	22,57				
CV_L(%)	18,87				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

A eficiência do uso de água normalmente está associada a mecanismos de tolerância das plantas à seca, contribuindo para produção e crescimento de culturas submetidas a déficit hídrico e pode ser expressa pela quantidade de água necessária para produzir uma unidade de matéria vegetal (MORANDO et al., 2014; MANAVALAN et al., 2009).

Segundo Tardieu (2013) o aumento da eficiência do uso de água pode ser um traço ideal para elevar a tolerância ao déficit hídrico e onde a disponibilidade hídrica é limitada.

2.4.4 Determinação das alturas das plantas

Para a medida da altura de plantas realizada próxima ao início do florescimento (45 DAE) foram verificadas diferenças significativas em relação às lâminas aplicadas e aos genótipos. Todos os genótipos apresentaram redução em seu porte, a partir da lâmina de 264 mm.

Os genótipos BRS 6980 e BRS 7580 apresentaram portes mais elevados com aplicação das lâminas (421 e 400 mm) quando comparados ao BRS 7380RR. Em condições

de déficit hídrico (174 mm) o BRS 7580 foi o que mais reduziu a sua altura (41,47 cm), diferenciando estatisticamente do BRS 6980 (48,42 cm) (Tabela 2.8).

Tabela 2.8 Altura de plantas (cm) dos genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de florescimento em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	64,61 Aa	68,42 Aa	54,97 Ab	49,44 Abc	48,42 Ac
BRS 7380RR	57,83 Ba	61,33 Ba	51,67 Ab	45,97 Abc	43,89 ABc
BRS 7580	65,97 Aa	68,78 Aa	56,47 Ab	49,18 Ac	41,47 Bd
CV_G(%)	28,89				
CV_L(%)	9,44				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

As avaliações das alturas de plantas realizadas no estágio de desenvolvimento das vagens (70 DAE) apresentaram influência significativa das lâminas de água e dos genótipos (Tabela 2.9). As lâminas mais elevadas (421 e 400 mm) favoreceram maior crescimento das plantas, a partir dessas lâminas a altura de todos os genótipos começou a decair significativamente.

Na comparação entre os genótipos o BRS 7580, de crescimento determinado, em geral, apresentou maiores alturas e apresentou diferenças estatísticas em relação ao BRS 6980, de crescimento indeterminado, nas lâminas mais elevadas (421, 400 e 264 mm). Não houve diferenças significativas na comparação entre as médias das alturas dos genótipos nas condições em que menores lâminas foram aplicadas (207 e 174 mm).

Tabela 2.9 Altura (cm) dos genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	74,64 Ba	74,06 Ba	59,64 Bb	54,06 Abc	51,53 Ac
BRS 7380RR	81,19 ABa	77,94 ABa	66,67 ABb	60,86 Ac	56,39 Ac
BRS 7580	89,47 Aa	85,25 Aa	72,92 Ab	61,94 Ac	52,42 Ad
CV_G(%)	20,21				
CV_L(%)	7,40				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Ruviaro et al. (2011) que ao comparar os efeitos de três níveis crescentes de irrigação suplementar, baseados na evapotranspiração da cultura da soja com um tratamento testemunha sem irrigação, verificaram que ocorreu redução da estatura das plantas com o aumento do estresse hídrico, com os resultados associados à diminuição do número de nós e comprimento de entrenós.

Kron et al. (2008) verificaram que o déficit hídrico no estágio vegetativo (V_4) induziu a redução do crescimento das plantas o que é considerada uma estratégia de conservação de energia e, portanto, um mecanismo de tolerância à seca. Segundo Tomich et al. (2003) a altura de plantas é uma característica que pode ser positivamente correlacionada com a produção.

Em um estudo testando épocas de semeadura da soja, Cruz et al. (2010) constataram que plantas semeadas em épocas favoráveis de precipitação apresentaram porte superior àquelas em que, nas fases iniciais, verificou-se “veranico”. Segundo Pitol e Broch (2012) a soja, em condições de déficit hídrico, tende a apresentar uma altura menor e sistema radicular mais profundo, aumentando sua tolerância à seca.

Foi verificado que houve interação entre genótipos e tratamentos com regulador de crescimento ao se avaliar a altura das plantas. Na comparação entre os genótipos a altura do BRS 7580 no tratamento testemunha, R1x e R2x superou estatisticamente a do BRS 6980. No tratamento R4x a altura do BRS 7380RR foi superior a do BRS 6980 (Tabela 2.10).

Tabela 2.10 Altura (cm) dos genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função da aplicação foliar do regulador de crescimento Trinexapac-ethyl em diferentes doses. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Doses de regulador de crescimento			
	R4x	R2x	R1x	Testemunha
BRS 6980	66,56 Ba	63,89 Ba	63,27 Ba	57,42 Bb
BRS 7380RR	78,73 Aa	67,51 ABb	66,00 Bbc	62,20 ABc
BRS 7580	72,27 ABab	72,78 Aab	74,62 Aa	69,93 Ab
CV_G(%) 20,21				
CV_{DR}(%) 6,38				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma dose de regulador) e minúscula na linha (comparando diferentes doses de regulador dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. R1x (1,02 litros ha⁻¹; 255 g de i.a.; R2x (2,04 litros ha⁻¹; 510 g de i.a.) e R4x (4,08 litros ha⁻¹; 1020 g de i.a.). CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_{DR}(%) – Coeficiente de variação do tratamento.

Também pode ser constatado que a aplicação do regulador de crescimento produziu efeito inverso no porte de todos os genótipos estudados, elevando a altura das plantas ao invés

de reduzi-las (Figura 5.17A). Os genótipos que apresentaram o efeito mais evidente foram o BRS 6980 e BRS 7380RR, ambos de crescimento indeterminado, enquanto o BRS 7580 de porte determinado, mas que naturalmente possui porte elevado, o efeito das doses do regulador foi menos intenso.

Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Carvalho et al. (2013) que estudando efeito de reguladores (Cinetina, Ácido Giberélico, Ácido4-Indol-3-Ilbutírico) na cultura da soja em que a aplicação das doses 0,75 e 1,0 L ha⁻¹ de regulador produziram alturas de 75,25 cm, diferenciando estatisticamente da altura 64,25 cm obtida com a aplicação de 0,25 L ha⁻¹.

Bertolin et al. (2010) trabalhando com regulador de crescimento na cultivar Conquista também obtiveram maiores alturas de plantas chegando a obter 86,78 cm. Em ambos os casos o crescimento em altura das plantas foram justificados devido à composição do produto apresentar três reguladores vegetais (cinetina, ácido giberélico e ácido indolbutírico) que também são promotores do crescimento e eficientes no alongamento e multiplicação de células (SILVEIRA et al., 2011). Moterle et al. (2008) testando biorreguladores a base de citocinina (0,9 g L⁻¹ de cinetina), giberelina (0,5 g L⁻¹ de ácido giberélico) e auxina (0,5 g L⁻¹ de ácido indol-butírico) não observaram efeito na altura de planta em dois anos agrícolas.

No caso do Trinexapac-ethyl, esse efeito de redução de porte pode estar relacionado ao prolongamento da fase vegetativa dos genótipos devido à aplicação do regulador ter sido efetuada no início do florescimento e o que pode afetar negativamente a produtividade das plantas.

Em um experimento realizado por Souza et al. (2013) a aplicação mais tardia do Trinexapac-ethyl, (no estágio R₁ e R₂) provocou a retenção de fotossintatos nas demais partes da planta, prolongando o ciclo da cultura, razão pela qual emprego do regulador aplicado não proporcionou redução da estatura de plantas de soja.

Já Campos et al. (2007) observaram que os reguladores de crescimento (cloreto de mepiquate e citocinina) foram responsáveis pela redução da estatura de plantas de soja.

2.4.5 Teores de clorofila

Os teores de clorofila total (a+b), avaliados no início do florescimento, apresentaram diferenças estatísticas de acordo com as lâminas aplicadas em interação com os genótipos (tabela 2.11). Assim, o BRS 6980 apresentou teores mais elevados desse parâmetro mesmo quando comparado aos outros genótipos dentro de cada lâmina, não diferenciando estatisticamente do BRS 7580 apenas nas lâminas 264 e 174 mm.

O genótipo BRS 7580 também se destacou por manter os níveis de clorofilas totais estáveis, independentemente da lâmina aplicada. Essas duas características (teores elevados de clorofilas e estabilidade de clorofila total) podem ser favoráveis à manutenção da eficiência fotossintética, bem como adaptabilidade desse genótipo as condições ambientais adversas.

Tabela 2.11 Teores de clorofilas totais (a+b) dos genótipos de soja medidos no estágio fenológico de florescimento em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	56,83 Aab	57,23 Aa	54,02 Abc	53,11 Acd	50,11 Ad
BRS 7380RR	48,84 Ba	49,35 Ba	48,62 Ba	48,85 Ba	45,21 Bb
BRS 7580	49,72 Ba	50,56 Ba	51,21 ABa	50,06 Ba	48,83 Aa
CV_G(%)	7,36				
CV_L(%)	5,24				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Na avaliação dos teores de clorofilas totais no estágio de desenvolvimento das vagens foram verificadas diferenças estatísticas entre as lâminas em interação com os genótipos avaliados (Tabela 2.12).

O genótipo BRS 7380RR, não apresentou diferenças significativas de teores de clorofilas totais ao longo da aplicação das lâminas, o que caracteriza maior estabilidade nos teores desses pigmentos independentemente da quantidade de água fornecida.

Na comparação entre os genótipos dentro de cada lâmina, o BRS 7580 apresentou-se estatisticamente superior ao BRS 6980 nas lâminas 264 e 174 mm.

Tabela 2.12 Teores de clorofilas totais (a+b) dos genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	55,38 Aa	54,99 Aa	52,73 Ba	52,04 Aa	44,98 Bb
BRS 7380RR	53,81 Aa	53,52 Aa	55,07 ABa	54,46 Aa	52,08 Aa
BRS 7580	54,11 Aab	53,80 Aab	56,89 Aa	54,60 Aab	52,84 Ab
CV_G(%)	7,17				
CV_L(%)	5,70				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Os teores de clorofila totais foram significativamente inferiores com a aplicação da dose mais elevada de regulador de crescimento, o que é um indicativo de possíveis reduções na eficiência fotossintéticas dos genótipos de soja estudados com a aplicação dessas concentrações de regulador (Figura 2.2).

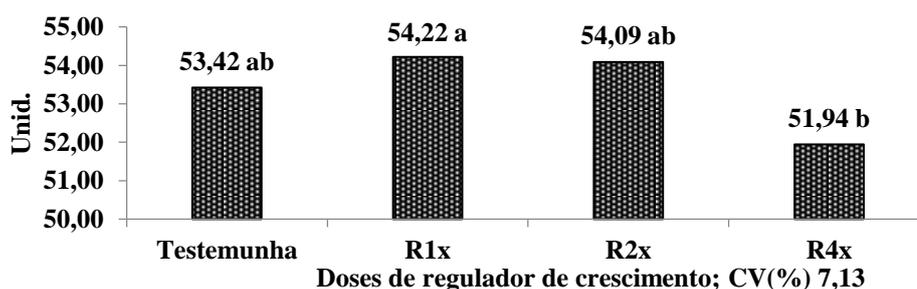


Figura 2.2 Teores de clorofilas totais em genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das doses regulador de crescimento Trinexapac-ethyl. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

A análise do teor de clorofila é importante para avaliar a integridade do aparelho interno durante o processo fotossintético dentro de uma folha e fornece uma técnica rápida e precisa de se detectar e quantificar a tolerância das plantas ao estresse hídrico (LI et al., 2006).

Sinclair et al. (2007) testando vários genótipos de soja (tolerantes – R01 – 581F, R01 – 416F, R02 – 1325; sensíveis – CD 215 e BRS 317) verificaram redução de clorofilas sob restrição hídrica em todos os genótipos. Os autores observaram melhor desempenho quanto ao teor de clorofila nos genótipos tolerantes à seca, indicando sua melhor capacidade de amenizar o efeito da seca e com isso manter o potencial produtivo em condições de restrição hídrica.

Na primeira avaliação de clorofila *a* (início do florescimento) houve diferenças significativas na comparação entre os genótipos; os teores de clorofila *a* do BRS 6980 (43,98) e do BRS 7580 (40,22) foram superiores aos do BRS 7380RR (38,32) (Figura 2.3a). Também houve diferenças estatísticas na comparação entre as lâminas e aquela com déficit hídrico (lâmina 174 mm), apresentou menores teores de clorofilas (Figura 2.3b).

Mutava et al. (2015) estudando, em casa de vegetação, quatro genótipos de soja (PI 567690 tolerantes à seca, Pana suscetíveis à seca, PI 408105A tolerante à inundação, S992281 suscetíveis à inundação) em condições de estresse hídrico (por déficit hídrico e por inundação) constataram reduções nos teores de clorofila em ambas as condições.

Por outro lado, Chavarria et al. (2015) testando cultivar de soja BMX Apolo RR, a partir do estágio V₇, em lâminas de irrigação de -0,004 MPa (dois dias sem água), -0,006 MPa (quatro dias sem água), -0,026 MPa (seis dias sem água), -0,042 MPa (oito dias sem água) e -0,164 MPa (11 dias sem água) não verificaram variações significativas nos conteúdo de clorofila (*a*, *b* e total).

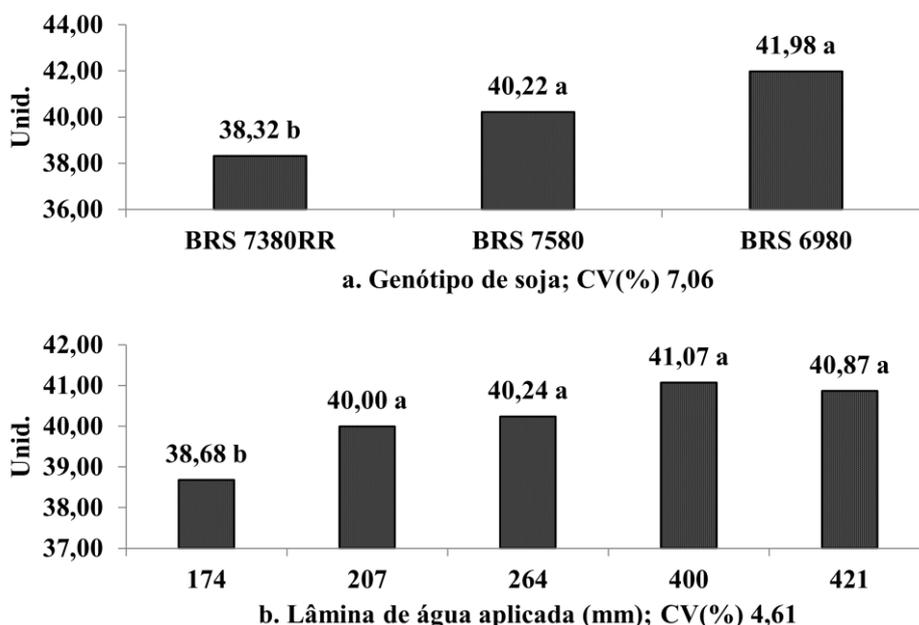


Figura 2.3 Teores de clorofila *a* medidos no estágio fenológico de florescimento em função dos genótipos de soja (a) e das lâminas de água aplicadas (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Na fase de desenvolvimentos das vagens, os teores de clorofila *a* foram menores na lâmina 174 mm dos genótipos BRS 6980 (38,00) e BRS 7580 (42,85), diferenciando

significativamente de suas respectivas lâminas superiores (Tabela 2.13). O genótipo BRS 7380RR manteve a clorofila *a* estável, independentemente da lâmina aplicada.

Tabela 2.13 Teores de clorofila *a* dos genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	43,58 Aa	43,45 Aa	42,45 Ba	42,09 Aa	38,00 Bb
BRS 7380RR	43,21 Aa	43,01 Aa	43,39 ABa	43,01 Aa	42,02 Aa
BRS 7580	43,93 Aab	43,78 Aab	44,96 Aa	43,83 Aab	42,85 Ab
CV_G(%)	7,93				
CV_L(%)	3,66				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

O BRS 7580 também apresentou, nessa fase fenológica, maiores teores de clorofila *a* quando comparado com o BRS 6980, nas lâminas 264 e 174 mm. Em relação ao BRS 7380RR observa-se, pelas médias dos genótipos, que ocorreu um aumento nos teores de clorofila *a* em relação à fase fenológica anterior. Esse fato pode estar relacionado à capacidade desse genótipo em recuperar possíveis danos no aparelho fotossintético ao longo do seu ciclo.

Segundo Chaves et al. (2009) as plantas, quando são submetidas a um estresse, têm alta capacidade de homeostase dependendo da intensidade, do tempo de exposição e do número de eventos de estresse. Quando sofre uma exposição prévia a um estresse, as plantas tem a capacidade de responder mais rápido e com mais vigor a um evento de estresse recorrente, esse fenômeno é conhecido como *hardening*. Isso significa que as plantas têm uma capacidade de memória (*stress imprint*) resultante de mudanças bioquímicas e/ou epigenéticas (relacionada à plasticidade fenotípica) que ocorrem após a primeira exposição ao estresse (WALTER et al., 2011; BRUCE et al., 2007).

Na fase fenológica do desenvolvimento das vagens também houve efeito das doses de regulador de crescimento sobre os teores de clorofila *a* (Figura 2.4). A aplicação da dose R4x promoveu significativas reduções desse pigmento em relação aos outros tratamentos, o que pode ser considerado um aspecto negativo para adaptação das plantas ao estresse hídrico já

que é um indicativo de dano ao sistema fotossintético e que pode repercutir no rendimento agrônômico dos genótipos.

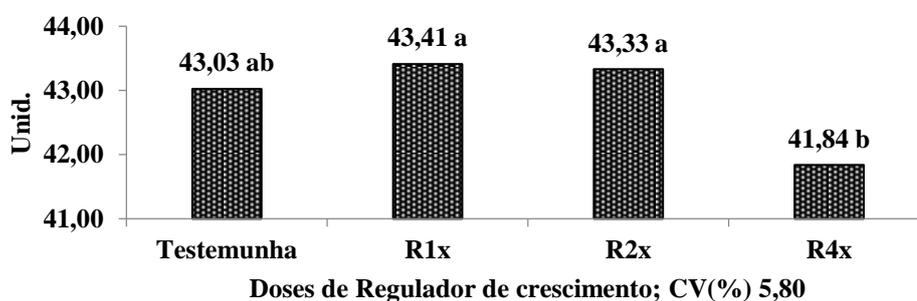


Figura 2.4 Teores de clorofila *a* nos genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das doses de regulador de crescimento Trinexapacetyl. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014. * R1x (1,02 litros ha⁻¹; 255 g de i.a.); R2x (2,04 litros ha⁻¹; 510 g de i.a.) e R4x (4,08 litros ha⁻¹; 1020 g de i.a.)

Houve redução dos teores de clorofila *b* nas menores lâminas de todos os genótipos o que pode ser indicativo de estresse. No genótipo BRS 7580 cujos teores de clorofila *b* foram, significativamente, inferiores nas lâminas 421 mm (9,19) e 174 mm (9,42) quando comparada ao seu valor máximo na lâmina 264 mm (10,82). O que indica que esse genótipo é afetado pelas condições extremas de estresse hídrico (déficit e excesso de água) (Tabela 2.14)

O genótipo BRS 6980 destacou-se pelos seus elevados teores de clorofila *b* e por estes serem significativamente superiores, aos demais genótipos, para a maioria das lâminas aplicadas, só não diferenciando do BRS 7580 nas lâminas 264 e 174 mm.

Tabela 2.14 Teores de clorofila *b* em genótipos de soja medidos no estágio fenológico de florescimento em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	13,57 Aa	14,02 Aa	12,04 Ab	11,66 Ab	10,11 Ac
BRS 7380RR	10,04 Ba	10,22 Ba	10,26 Ba	10,18 Ba	8,58 Bb
BRS 7580	9,19 Bb	9,69 Bab	10,82 ABa	10,18 Bab	9,42 ABb
CV_G(%) 15,95					
CV_L(%) 9,75					

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Os teores de clorofila *b* medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens, apresentaram diferenças significativas de acordo com as lâminas fornecidas e com os

genótipos (Tabela 2.15). O BRS 6980 reduziu os teores desse pigmento nas lâminas inferiores, enquanto o BRS 7580 apresentou redução nas lâminas 400 mm (10,02) e 174 mm (9,99) quando comparada a lâmina 264 mm (11,93). Mais uma vez, esse genótipo apresentou uma tendência de manifestação de estresse, também, em lâminas superiores.

O BRS 7380RR foi o único que apresentou estabilidade das clorofilas *b* independentemente das lâminas aplicadas quando comparado aos outros genótipos, que foram mais instáveis.

Tabela 2.15 Teores de clorofila *b* em genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	11,79 Aa	11,54 Aab	10,28 Bab	9,95 Ab	6,98 Bc
BRS 7380RR	10,60 ABa	10,51 Aa	11,68 ABa	11,45 Aa	10,06 Aa
BRS 7580	10,18 Bab	10,02 Ab	11,93 Aa	10,78 Aab	9,99 Ab
CV_G(%)	17,47				
CV_L(%)	15,04				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Segundo Ashraf e Harris (2013), o déficit hídrico ocasiona um grande dano aos pigmentos fotossintéticos, sendo que a proporção de clorofila *a* e clorofila *b* é alterada, com a clorofila *b* reduzindo mais intensamente.

A redução mais intensa desse pigmento em condições de estresse hídrico pode estar associada a um mecanismo de adaptações ao estresse e, para que isso se confirme, faz-se necessário verificar se ocorre aumento na razão clorofila *a/b*.

Foram verificadas, para razão clorofila *a/b*, diferenças significativas nas diferentes lâminas aplicadas e todos os genótipos apresentaram, em geral, maiores valores dessa razão nas lâminas com déficit hídrico (Tabela 2.16).

O BRS 7580, em geral, apresentou razão clorofila *a/b* superior aos demais genótipos, simultaneamente, em todas as lâminas estudadas. Esse genótipo também apresentou elevação na razão clorofila *a/b* nas menores e nas maiores lâminas a partir de 264 mm, o que indica, novamente, que esse genótipo apresentou estresse também por excesso de água.

A saturação hídrica do solo provoca, de imediato, uma rápida diminuição nos níveis de O₂ disponíveis no solo (hipoxia) devido a sua baixa difusão na água em excesso e, com aeração deficiente, ocorre queda na produção de ATP pelas raízes causando redução na absorção de macronutrientes e de água o que gera uma condição de seca fisiológica. Nessas condições ocorre o fechamento dos estômatos e todo o processo fotossintético é comprometido levando, inclusive, a fluorescência das clorofilas para dissipação de excesso de energia dos fotossistemas (SCREMIN-DIAS et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013; GONÇALVES et al., 2010).

Tabela 2.16 Razão clorofila *a/b* em genótipos de soja avaliada no estágio fenológico do florescimento em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	3,24 Cbc	3,12 Bc	3,52 Abc	3,63 Bab	4,01 Aa
BRS 7380RR	3,96 Bab	3,93 Aab	3,84 Ab	4,08 Aab	4,30 Aa
BRS 7580	4,45 Aa	4,26 Aa	3,81 Ab	4,06 Aab	4,33 Aa
CV_G(%)	14,76				
CV_L(%)	9,29				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

A deficiência hídrica promove degradação de clorofilas (*a* e *b*) nas folhas, esse processo envolve conversão de clorofila *b* em *a*, que inicia numa complexa rota metabólica catalisada por uma série de enzimas e mediada pelo ácido abscísico (ABA) (GAO et al., 2016).

A degradação constitui um mecanismo de defesa da planta porque a clorofila *a* tem um poder antioxidante maior do que a clorofila *b* e consome espécies reativas de oxigênio (ROS), produzido em condições de estresse, que são fitotóxicas às plantas (HÖRTENSTEINER; KRÄUTLER, 2011; STREIT et al., 2005).

Por isso, em condições mais estressantes as plantas que apresentam a razão clorofila *a/b* mais elevada tem maior poder antioxidante e, portanto, tendem a ser mais tolerantes à seca.

A segunda medição da razão clorofila *a/b*, realizada no estágio de desenvolvimento das vagens mostra que houve interação entre lâminas aplicadas e genótipos (Tabela 2.17).

O genótipo BRS 6980 foi o único que apresentou elevação na razão clorofila *a/b* na lâmina 174 mm superando significativamente os demais nesta mesma lâmina.

Tabela 2.17 Razão clorofila *a/b* em genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	3,77 Ab	3,92 Ab	4,30 Ab	4,47 Ab	6,29 Aa
BRS 7380RR	4,18 Aa	4,22 Aa	3,83 Aa	3,88 Aa	4,42 Ba
BRS 7580	4,46 Aa	4,50 Aa	3,82 Aa	4,19 Aa	4,48 Ba
CV_G(%)	20,70				
CV_L(%)	16,74				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Houve interação entre as lâminas aplicadas e as doses de regulador de crescimento sobre a razão clorofila *a/b* (Tabela 2.18). Para as doses R1x e R2x aplicação das lâminas de irrigação não produziram efeitos significativos no parâmetro mencionado, ou seja, o redutor estabilizou a razão clorofila *a/b*. Em contrapartida, o tratamento testemunha e o R4x promoveram aumento na clorofila *a/b* na lâmina 174 mm.

Dentro da lâmina 174 a comparação entre os tratamentos mostra que a razão clorofila *a/b* foi significativamente superior no tratamento testemunha quando comparado à aplicação nas doses R1x e R2x de regulador de crescimento.

Os resultados sugerem que a aplicação das doses R1x e R2x do regulador de crescimento minimizaram os efeitos do estresse hídrico na lâmina 174 mm em comparação com a testemunha, indicando que ocorre menor degradação de clorofilas com o uso do regulador.

Nesse caso, a menor razão clorofila *a/b* pode estar relacionada ao maior grau de elevação dos teores de clorofila *b* quando comparada elevação dos teores de clorofila *a* (ver Figura 2.4) decorrentes da aplicação desses mesmos tratamentos.

Tabela 2.18 Razão clorofila a/b em genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas aplicadas e da aplicação foliar de regulador de crescimento Trinexapac-ethyl em diferentes doses. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Doses de regulador de crescimento	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
R4x	4,12 Ab	4,12 Ab	4,16 Ab	4,26 Ab	5,33 ABa
R2x	3,98 Aa	4,15 Aa	4,09 Aa	4,32 Aa	4,50 Ba
R1x	4,17 Aa	4,18 Aa	3,84 Aa	4,07 Aa	4,77 Ba
Testemunha	4,27 Ab	4,40 Ab	3,85 Ab	4,07 Ab	5,65 Aa
CV_{DR}(%)	15,64				
CV_L(%)	16,74				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando doses de regulador diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de uma mesma dose de regulador) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. R1x (1,02 litros ha⁻¹; 255 g de i.a.); R2x (2,04 litros ha⁻¹; 510 g de i.a.) e R4x (4,08 litros ha⁻¹; 1020 g de i.a.). CV_{DR}(%) – Coeficiente de variação do tratamento; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

2.4.6 Concentração de prolina nas folhas

Neste trabalho, a concentração de prolina nas folhas foi muito baixa e apresentou interações entre genótipos e lâminas (Tabela 2.19). No genótipo BRS 6980, a lâmina 207 mm apresentou maior concentração de prolina (2,49 µmol g⁻¹) diferenciando estatisticamente da lâmina 421 mm (1,28 µmol g⁻¹). Nos demais genótipos as diferentes lâminas não promoveram alterações significativas desse aminoácido.

Sob condições controladas, Ramos et al. (2005) também obtiveram baixos valores de prolina na cultura da soja sob estresse hídrico, entre 4,28 e 4,68 µmol g⁻¹, nos nódulos e folhas, respectivamente.

Os resultados sugerem que o genótipo BRS 6980 é mais sensível às variações de água no solo o que pode lhe conferir maior capacidade adaptativa diante do estresse hídrico. Segundo Rejeb et al. (2014), o mecanismo de osmorregulação por prolina está relacionado a uma capacidade respostas de curto prazo e é considerado papel-chave na comunicação intracelular que provoca a capacidade de aclimação das plantas a condições ambientais desfavoráveis.

Na comparação entre os genótipos dentro de cada lâmina, o BRS 7380RR foi o único que apresentou significativamente maiores concentrações de prolina, em comparação com os demais genótipos, simultaneamente, em todas as lâminas.

A manutenção de níveis elevados de prolina no genótipo BRS 7380RR pode favorecer uma adaptação aos estresses ambientais, mas pode igualmente comprometer o desempenho fotossintético do genótipo haja vista que, segundo Rejeb et al. (2014), a rota de produção deste aminoácido consome o NADH da fotossíntese que originalmente iria para o ciclo de Calvin.

Tabela 2.19 Concentração de prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$) nas folhas dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	1,28 Ab	1,97 Aab	1,86 Bab	2,49 Aa	1,74 ABab
BRS 7380RR	2,16 Aa	2,38 Aa	2,86 Aa	2,89 Aa	2,51 Aa
BRS 7580	1,22 Aa	0,83 Ba	1,48 Ba	1,16 Ba	1,49 Ba
CV_G(%)	53,01				
CV_L(%)	52,24				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Também houve efeito da interação entre genótipos e as doses de regulador aplicadas (Tabela 2.20). Os genótipos BRS 7380RR e BRS 7580 não apresentaram respostas significativas na concentração de prolina com aumento das doses do regulador de crescimento.

O BRS 6980 apresentou teores de prolina significativamente mais elevados quando aplicado regulador de crescimento na dose R1x, o que pode favorecer a adaptação desses genótipos em condições de estresse hídrico.

Apesar de estar relacionado à elevação no porte desse genótipo juntamente com o R2x e R4x (ver Tabela 2.10), este tratamento também proporcionou estabilização na razão clorofila *a/b* (ver Tabela 2.19) e como mencionado isso pode estar relacionado à minimização dos efeitos do estresse sofridos pelas plantas nessas condições.

Na comparação entre os genótipos dentro de cada dose, o BRS 7380RR apresentou elevadas concentrações de prolina em todas as lâminas aplicadas, inclusive, no tratamento testemunha, o que parece representar a condição natural desse genótipo. Esse fato pode conferir ao genótipos maior adaptabilidade ao estresse hídrico.

Tabela 2.20 Concentração de prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$) nas folhas dos genótipos de soja em função da aplicação foliar de regulador de crescimento Trinexapac-ethyl em diferentes doses. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Doses de regulador de crescimento			
	R4x	R2x	R1x	Testemunha
BRS 6980	1,80 ABab	1,93 ABab	2,63 Aa	1,11 Ab
BRS 7380RR	2,57 Aa	2,56 Aa	3,06 Aa	2,05 Aa
BRS 7580	1,50 Ba	1,21 Ba	0,78 Ba	1,45 Aa
CV_G(%) 53,01				
CV_{DR}(%) 57,70				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma dose de regulador) e minúscula na linha (comparando diferentes doses de regulador dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. R1x (1,02 litros ha^{-1} ; 255 g de i.a.; R2x (2,04 litros ha^{-1} ; 510 g de i.a.) e R4x (4,08 litros ha^{-1} ; 1020 g de i.a.). CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_{DR}(%) – Coeficiente de variação do tratamento.

Devi e Giridhar (2015) também estudando genótipos de soja verificaram um aumento no nível de prolina nas cultivares após 5 dias sob estresse hídrico.

Queiroz et al. (2011) estudando genótipos de cana-de-açúcar submetida três níveis de disponibilidade de água (55, 40 e 25% da capacidade de campo) também verificaram aumento dos teores de prolina nos níveis mais estressantes.

Anjum et al. (2016) ao testarem cultivares de milho em duas lâminas de irrigação (80 e 35% da capacidade de campo) relataram que o aumento do teor de prolina, nos níveis mais estressados manteve turgidez do tecido durante o estresse hídrico.

2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Sob estresse hídrico, o genótipo BRS 6980 (de crescimento indeterminado) destacou-se por apresentar melhor desempenho de produtividades e EUAA (em relação aos demais) (na lâmina 174 mm) e esses dois parâmetros podem estar relacionados com o menor porte, maiores teores de clorofila (totais, *a* e *b* no estágio fenológico de floração), maior razão clorofila *a/b* (no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens) e elevação das concentrações de prolina em déficit hídrico.

Enquanto que o genótipo BRS 7580 (de crescimento determinado), nas lâminas 421 e 400 mm, apresentou maiores produtividades e de PMG (lâminas 421 e 400 e 174 mm); esses valores estiveram correlacionados aos maiores teores de clorofila (totais, *a* e *b* no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens) e maior razão clorofila *a/b* (durante estágio fenológico de florescimento).

O Trinexapac-ethyl não afetou a produtividade e a EUAA dos genótipos estudados e os teores de clorofilas nas doses 1,02, 2,04 litros ha⁻¹, mas produziu elevação do PMG no genótipo BRS 7380RR quando aplicado 4,08 litros ha⁻¹, do porte de todos os genótipos (nas doses 1,02, 2,04, 4,08 litros ha⁻¹) e os teores de clorofilas dos genótipos (na dose 4,08 litros ha⁻¹).

O tratamento com Trinexapac-ethyl na dose 1,02 litros ha⁻¹, no BRS 6980, elevou os teores de prolina, e nas doses 1,02, 2,04 litros ha⁻¹ estabilizou a razão clorofila *a/b* dos genótipos o que pode estar relacionado à redução dos efeitos do estresse hídrico.

2.6 CONCLUSÕES

A aplicação das lâminas de irrigação afetou de maneira diferenciada o desempenho agrônômico e as características morfofisiológicas de todos os genótipos avaliados.

O genótipo BRS 6980 destacou-se por apresentar melhor desempenho produtivo e EUAA que os demais genótipos em condições de estresse hídrico. Nas lâminas de irrigação mais elevadas o genótipo BRS 7580 apresentou maior desempenho produtivo e de PMG que os demais.

A aplicação do Trinexapac-ethyl não afetou a produtividade nem a EUAA, mas elevou o porte dos genótipos estudados e também promoveu a elevação do PMG, dos teores de prolina e a estabilização da razão clorofila *a/b* o que pode favorecer à adaptação das plantas ao déficit hídrico.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMABILE, R. F.; MINELLA, E.; VALENTE, C. M. W.; DA SERRA, D. D. **Efeito do regulador de crescimento trinexapacetil em cevada cervejeira irrigada em áreas de cerrado do Distrito Federal**. Planaltina DF: Embrapa Cerrado, Disponível em: <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2004/bolpd/bolpd_120.pdf acesso em jul-2010>, 2004. 14 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 120).

ANJUM, S. A.; TANVEER, M.; ASHRAF, U.; HUSSAIN, S.; SHAHZAD, B.; KHAN, I.; WANG, L. Effect of progressive drought stress on growth, leaf gas exchange, and antioxidant production in two maize cultivars. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 17, p. 17132-17141, 2016.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. **Photosynthetica**, Praga, v.51, n.2, p.163-190, 2013.

BERTI, M.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Produtividade de cultivares de trigo em função do trinexapacethyle doses de nitrogênio. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 127-134, 2007.

BERTOLIN, D. C.; DE SÁ, M. E.; ARF, O.; FURLANI JUNIOR, E.; COLOMBO, A. S.; DE CARVALHO, F. L. B. M. Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.2, p. 339-347, 2010.

BRUCE, T. J. A.; METTHES, M. C.; NAPIER, J. A.; PICKETT, J. A. Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. **Plant Science**, v. 173, 603-608, 2007.

CAMPOS, M. F.; ONO, E. O.; LIMA, G. P. P.; RODRIGUES, J. D. Desenvolvimento de plantas de soja em resposta aos reguladores vegetais. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 009-011, 2007.

CARVALHO, J. C.; VIECELLI, C. A.; ALMEIDA, D. K. de. Produtividade e desenvolvimento da cultura da soja pelo uso de regulador vegetal. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.2, n.1, p. 50-60, 2013.

CHAVARRIA, G.; DURIGON, M. R.; KLEIN, V. A.; KLEBER, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1387-1393, 2015.

CHAVES, M. M., FLEXAS, J., PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of botany**, v. 103, p. 551-560, 2009.

CICILIANO, T. L.; RUFINO, C. A.; BRUNES, A. P.; TUNES, L. M.; BARROS, A. C. S. A.; TEICHERT, S. P. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência rural**, v. 43, n.8, 2013.

COLEBROOK, E. H.; THOMAS, S. G.; PHILLIPS, A. L.; HEDDEN P. The role of gibberellin signaling in plant responses to abiotic stress, **Journal of Experimental Biology**, v. 217, 67–75, 2014.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Safra 2016/17. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.4, n 7, Brasília, p. 1-160, abril 2017.

CORREIA, N. M.; LEITE, G. J. Selectivity of the plant growth regulators Trinexapac-ethyl and sulfometuronmethyl. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 69, n. 3, p. 194-200, 2012.

CRUZ, T. V. da; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C. Crescimento e produtividade soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 1, p. 33-42, 2010.

DAI, J.; WIERSMA, J. J. Agronomic Responses and Lodging of Three Spring Wheat Cultivars to Trinexapac-ethyl. **Crop Management**, v. 10, n. 1, 2011. doi:10.1094/CM-2011-0517-01-RS.

DEVI, M. K. A.; GIRIDHAR, P. Variations in Physiological Response, Lipid Peroxidation, Antioxidant Enzyme Activities, Proline and Isoflavones Content in Soybean Varieties Subjected to Drought Stress. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 85, n. 1, p. 35-44, 2015.

DIAS, M. A. N.; MONDO, V. H. V.; CICERO, S. M. Vigor de sementes de milho associado a mato-competição. **Revista Brasileira de Sementes**, Lavras, v.32, n.2, p.93-101, 2010.

EMBRAPA – Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja BRS 6980**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/3066/soja---brs-6980>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

EMBRAPA – Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja BRS 7380RR**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cerrados/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/2115/soja---brs-7380rr>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

EMBRAPA – Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja BRS 7580**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cerrados/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/183/soja---brs-7580>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011**. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 255 p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 14).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil**. Brasília, 2013. 266 p. (Sistema de Produção, 16).

ERTEK, A.; SENSOY, S.; GEDIK, I. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 81, n. 1-2, p. 159-172, 2006.

ESPINDULA, M. C., ROCHA, V. S., de SOUZA, L. T., de SOUZA, M. A.; GROSSI, J. A. S. Efeitos de reguladores de crescimento na alongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 32, 2010.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, p. 12, 1977.

FIGLIORINI, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACHADO, F. R.; GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**. Viçosa, v.58, n.3, p.342-349, 2011.

GAO, SHAN; GAO, JIONG; ZHU1, XIAOYU; SONG, YI; LI, ZHONGPENG; REN, GUODONG; ZHOU, XIN; KUAI, BENKE. ABF2, ABF3, and ABF4 promote ABA-

mediated chlorophyll degradation and leaf senescence by transcriptional activation of chlorophyll catabolic genes and senescence-associated genes In *Arabidopsis*. **Molecular Plant**, v. 9, 1272–1285, 2016.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. D. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n 4, pp 378-386, 2010.

HAMMOND, E. G., JOHNSON, L. A., MURPHY, P. A. Soybean/Grading and Marketing. **Food Science**. Iowa State University, Ames, IA, USA, 2016.

HARRISON, M. A. Cross-talk between phytohormone signaling pathways under both optimal and stressful environmental conditions, in: KHAN, N. A., NAZAR, R., IQBAL, N., ANJUM, N. A. (Eds.). **Phytohormones and Abiotic Stress Tolerance in Plants**, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 49–76, 2012.

HEA, J.; DUA, YAN-LEI, WANGA, T., TURNERB, N.C.; YANGC, RU-PING; JINA, Y.; XIA, Y.; ZHANGA, C.; CUIA, T.; FANGA, XIANG-WEN; LIA, FENG-MIN. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought. **Agricultural Water Management**, v. 179, 2017, pp 236–245, 2017.

HÖRTENSTEINER, S.; KRÄUTLER, B. Chlorophyll breakdown in higher plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics**, v. 1807, p. 977-988, 2011.

KOHLI, A.; SREENIVASULU, N.; LAKSHMANAN, P.; KUMAR, P. P. The phytohormone crosstalk paradigm takes center stage in understanding how plants respond to abiotic stresses. **Plant cell reports**, v. 32, 945–957, 2013.

KÖPPEN, W. Klassifikation der klimare nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. **Petermanns Geographische Mitteilungen**, Gotha, v. 64, p. 193-203, 1918.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of *Glycine max* can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p.43-49, 2008.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. A.; LIMA, G. P. P. Invertases enzymes activity and sucrose accumulation in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under effect the potassium nitrate, ethephon and ethyl-trinexapac. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 649-656, 2011.

LI, R. H.; GUO, P. G.; BAUM, M.; GRANDO, S.; CECCARELLI, S. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. **Agricultural Sciences in China**, v. 10, p. 751–757, 2006.

LINZMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V. F.; SANTOS, D. D.; BENCKE, M. H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 373-379, 2008.

LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; SANTOS FILHO, B. G.; COSTA, R. C. L.; CRUZ, F. J. R.; NEVES, H. K. B.; LOPES, M. J. S. Physiological and biochemical behavior in soybean (*Glycine max* cv. Sambaiba) plants under water deficit. **Australian Journal of Crop Science**. Amsterdam, v.2, n.1, p.25-32, 2008.

MANAVALAN, L. P.; GUTTIKONDA, S. K.; TRAN, L. P.; NGUYEN, H. T. Physiological and Molecular Approaches to Improve Drought Resistance in Soybean. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v.50, n.7, p. 1260-1276, 2009.

MIR, R. R.; ZAMAN-ALLAH, M.; SREENIVASULU, N.; TRETOWAN, R.; VARSHNEY, R. K. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 125, p. 625–645, 2012.

MONTEITH, J. L. Evaporation and Environment. In: The state and movement of water in living organism. **Symposium of the society of experimental biology**, v. 19, p. 205-234, 1965.

MORANDO, R.; SILVA, A. O. DA; CARVALHO, L. C.; PINHEIRO, M. P. M. A. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.3, n. especial, p.114-129, 2014.

MOTERLE, L. M., SANTOS R. F., BRACCINI A. L., SCAPIM C. A., BARBOSA M. C. Efeito da aplicação de biorregulador no desempenho agrônômico e produtividade da soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 701-709, 2008.

MUNTEANU, V.; GORDEEV, V.; MARTEA, R.; DUCA M. V. Effect of gibberellin cross talk with other phytohormones on cellular growth and mitosis to endoreduplication transition. **International Journal of Advanced Research in Biological Science**, v. 1, n. 6, 136–153, 2014.

MUTAVA, R. N.; PRINCE, S.J.K.; SYED, N. H.; SONG, L.; VALLIYODAN, B.; CHEN, W.; NGUYEN, H. T. Understanding abiotic stress tolerance mechanisms in soybean: A comparative evaluation of soybean response to drought and flooding stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 86, pp 109-120, 2015.

NAGASHIMA, G. T.; MIGLIORANZA, E.; MARUR, C. J.; YAMAOKA, R. S.; SILVA, J. G. R. Desenvolvimento do algodoeiro em resposta a modo de aplicação e doses de cloreto de mepiquat via sementes. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 7-11, 2010.

NAKAYAMA, I.; MIYAZAWA, T.; KOBAYASHI, M.; KAMIYA, Y.; ABE, H.; SAKURAI, A. Effects of a new plant growth regulator prohexadione calcium (BX-112) on shoot elongation caused by exogenously applied gibberellins in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. **Plant Cell Physiology**, v. 31, pp 195–200, 1990.

PITOL, C.; BROCH, D. L. Soja: Lavoura mais produtiva e Tolerante à Seca In: Tecnologia & Produção - Soja e Milho 2011/2012. **Crop Science**, v. 32, p. 1248-1251, 2012.

QUEIROZ, L. N. **Transformação genética de soja [*Glycine max* (L.) merrill] para expressão do gene *hahb11* relacionado à tolerância a estresses abióticos**. 2014. 42 f. Dissertação. (Mestrado em Biologia Molecular) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

QUEIROZ, R. J. B.; SANTOS, D. M. M. D.; FERRAUDO, A. S.; CARLIN, S. D.; SILVA, M. D. A. Biochemical and physiological responses of sugarcane cultivars to soil water deficiencies. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 4, p. 469-476, 2011.

RADEMACHER, W. Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. **Annual plant reviews**, v. 49, p. 359-404, 2016.

RADEMACHER, W. Growth Retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual review of plant biology**, Palo Alto, v. 51, n. 1, p. 501-531, 2000.

RAMOS, M. L. G.; PARSONS, R., SPRENT, J. I. Differences in ureide and amino acid content of water stressed soybean inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* and *B. elkanii*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Goiânia, v.40, p.453-458, 2005.

REJEB, K. B.; ABDELLEY, C.; SAVOURÉ, A. How reactive oxygen species and proline face stress together. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 278-284, 2014.

RIGON, J. P. G.; CAPUANI, S.; BELTRÃO, N. M.; BRITO NETO, J. F.; SOFIATTI, V.; FRANÇA, V. F. Non-destructive determination of photosynthetic pigments in the leaves of castor oil plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 325-329, 2012.

RUVIARO, C.; DORNELES, J. G. L.; SILVA, A. M.; BEN, C. A. V. Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídrico e viabilidade da irrigação suplementar na região do Vale do Jaguarí - RS. **Perspectiva**, v. 35, n. 131, p. 79-90, 2011.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SCHEEREN, B.R.; PESKE, S.T.; SCHUCH, L.O.B.; BARROS, A.C.A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Lavras, v.32, n.3, p.35-41, 2010.

SCREMIN-DIAS, E.; LORENZ-LEMKE, A. P.; OLIVEIRA, A. K. M. The floristic heterogeneity of the Pantanal and the occurrence of species with different adaptive strategies to water stress. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 71, n. 1, p. 275-282, 2011.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; OLIVEIRA, A. D. de; MULLER A. G.; **Climatologia da estação principal da Embrapa Cerrados: 1974 a 2013**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2016.

SILVEIRA, P. S., VIEIRA E.L., GONÇALVES C.A., BARROS T.F. Stimulate na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento inicial e produtividade de soja. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 23, n. 1-2, p. 67-74, 2011.

SINCLAIR, T. R.; PURCELL, L. C.; KING, C. A.; SNELLER, C. H.; CHEN, P.; VADEZ, V. Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N 2 fixation. **Field Crops Research**, v. 101, n. 1, p. 68-71, 2007.

SOUZA, A. P.; PEREIRA, J. B. A.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011.

SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COELHO, C. M. M.; CASA, R. T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. The Chlorophylls. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.748-755, 2005.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed. 2013. p. 243-269.

TARDIEU, F. Plant response to environmental conditions: assessing potencial production, water demand and negative effects of water deficit. **Frontiers in physiology**, v.4, p.1-7, 2013.

TOMICH, T. R.; RODRIGUES, J. A. S.; Gonçalves, L. C.; TOMICH, R. G. P. CARVALHO, A. U. Potencial forrageiro de cultivares de girassol produzidos na safrinha para ensilagem. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, p. 756-762, 2003.

USDA – United States Department of Agriculture. **Foreign Agricultural Service**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

WALTER, J., NAGY, L., HEIN, R., RASCHER, U., BEIERKUHNLEIN, C., WILLNER, E., JENTSCH, A. Do plants remember drought? Hints towards a drought memory in grasses. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, 34-40, 2011.

YAMAGUCHI, S. Gibberellin metabolism and its regulation. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, 225–251, 2008.

YU, X.; YUAN, F.; FU, X.; ZHU, D. Profiling and relationship of water-soluble sugar and protein compositions in soybean seeds. **Food Chemistry**. v. 196, p. 776–782, 2016.

ZINN, K. E.; TUNC-OZDEMIR, M.; HARPER, J. F. Temperature stress and plant sexual reproduction: uncovering the weakest links. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 1959–1968, 2010.

3 CAPÍTULO III: MORFOFISIOLOGIA E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE SOJA EM FUNÇÃO DO REGIME HÍDRICO E DA SUPLEMENTAÇÃO FOLIAR COM POTÁSSIO NA REGIÃO DO CERRADO.

3.1 RESUMO

A soja é uma planta autógama que possui uma grande capacidade adaptativa a diversos ecossistemas do mundo em razão de sua elevada interação genótipo ambiente. Por isso a sua produtividade é altamente sensível às variações climáticas e ambientais, principalmente o estresse hídrico. No entanto, o uso de tecnologias como a suplementação foliar complementar com nutrientes como potássio pode minimizar os efeitos do déficit hídrico devido à sua atuação de osmorregulador elevando, assim, o rendimento da cultura. Esse trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da suplementação foliar com potássio, utilizado com regulador osmótico, em três genótipos de soja submetidos a níveis de irrigação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas sub subdivididas, tendo por parcelas os genótipos de soja BRS 6980, BRS 7380RR e BRS 7580; as subparcelas, constituídas de aplicações foliares de fertilizante a base de K_2CO_2 nas doses de 0,98 e 1,57 litros ha^{-1} e Testemunha (sem aplicação do fertilizante) e a sub subparcela constituída das lâminas 421, 400, 264, 207 e 174 mm. A aplicação das lâminas de irrigação afetou desempenho agrônômico e as características morfofisiológicas de todos os genótipos avaliados de maneira diferenciada. Em condições de maior déficit hídrico o genótipo BRS 6980 apresentou melhor desempenho produtivo e EUAA que os demais. O genótipo BRS 7580 apresentou maior desempenho produtivo e de PMG que os demais nas lâminas de irrigação mais elevadas. Em condições de déficit hídrico, a suplementação foliar com potássio pode minimizar os efeitos do estresse hídrico em soja, dependendo da interação do genótipo com a dose do produto.

Palavras chave: *Glycine max*, estresse hídrico, tolerância à seca, fertilização foliar, potássio, Cerrado.

ABSTRACT

Soybean is a crop with a great adaptive capacity to diverse ecosystems in the world because of its high interaction genotype x environment. Therefore, their productivity is highly sensitive to climatic and environmental variations, especially water stress. However, the use of technologies such as foliar supplementation with nutrients such as potassium can minimize the effects of water deficit due to its osmoregulatory action, which can improve crop yield. This work aims to evaluate the effect of foliar potassium supplementation, used as osmotic regulator, on three soybean genotypes submitted to several irrigation levels. The experimental design was a randomized block with subdivided plots. The plots were composed by soybean genotypes BRS 6980, BRS 7380RR and BRS 7580; the subplots consisted of foliar applications of K_2CO_2 fertilizer at doses of 0.98 and 1.57 liters ha^{-1} and a control treatment (without application of the fertilizer). The subplot constituted from water levels: 421, 400, 264, 207 and 174 mm. The application of the irrigation levels affected agronomic performance and the morphophysiological characteristics of all genotypes evaluated. Under conditions of higher water deficit, the soybean genotype BRS 6980 presented better productive and USAA than the others. The genotype BRS 7580 showed higher productive and PMG than the others in the highest irrigation levels. Under water deficit conditions, foliar supplementation with potassium can minimize the effects of water stress on soybean, depending on the interaction of the genotype and the dosis applied.

Key words: Glycine max, water stress, drought tolerance, foliar fertilization, potassium, Cerrado.

3.2 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma cultura que possui expressiva relevância econômica no cenário mundial e o Brasil é o segundo maior produtor da leguminosa depois dos Estados Unidos da América, que produz 115,8 milhões de toneladas (USDA, 2017). A produção nacional de grãos dessa cultura ultrapassou os 113,01 milhões de toneladas, cultivada em uma área de 33,86 milhões de hectares, o que representa mais de 57% da área cultivada com grãos no Brasil e os maiores produtores são os estados do Mato Grosso, Paraná e o Rio Grande do Sul (CONAB, 2017).

A soja é a leguminosa mais cultivada do mundo e fornece uma fonte barata de óleo de proteína e vegetais para consumo humano. A cultura é adaptada em uma ampla gama de condições climáticas, no entanto, tem seu crescimento, desenvolvimento e rendimento muito afetados por estresses abióticos como as inundações, a salinidade e a seca (KOMATSU et al., 2012; KHATOON et al., 2012; SOBHANIAN et al., 2010; MOHAMMADI et al. 2012).

O ajuste osmótico, ou acúmulo de solutos, é o processo pelo qual se reduz o potencial da célula, a fim de se manter o equilíbrio hídrico dentro da mesma, ou seja, seu volume e turgor. As plantas podem acumular os solutos, como carboidratos, ácidos orgânicos e íons. Estes solutos podem ser estocados tanto em organelas como no citossol celular. Os íons que penetram na célula, como o potássio e o sódio, são estocados em vacúolos ou exportados para o exterior celular, para que não interfiram no metabolismo do citoplasma (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Como em outras grandes culturas, o melhoramento para tolerância à seca em soja tem sido um desafio devido à complexidade inerente à metodologia utilizada combinada com a falta de perspectiva fisiológica na descrição das características envolvidas (SADOK; SINCLAIR, 2011). Isso ocorre porque tais mecanismos envolvidos na tolerância à seca e ao alagamento em soja ainda são pouco conhecidos, embora se tenha avançado em sua caracterização de aspectos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares (WANG et al., 2012; AHUJA et al., 2010; STOLF-MOREIRA et al., 2010; MANAVALAN et al., 2009).

Na soja, em particular, o potássio é importante por auxiliar na maior retenção da vagem na haste, na redução da deiscência e na melhoria das sementes (EMBRAPA, 2010). No entanto, esse elemento afeta vários processos fisiológicos nas plantas, relacionados ao

metabolismo, crescimento e adaptação ao estresse e, nesse último caso, o potássio atua na osmoregulação, expansão celular, movimentos estomáticos, respiração e fotossíntese, podendo, inclusive, favorecer o aumento da eficiência do uso de água pela planta (WANG et al., 2013; GRZEBISZ et al., 2013; POTCHANASIN et al., 2009; CAKMAK, 2010; RÖMHELD; KIRKBY, 2010). Por outro lado, quantidades inadequadas de potássio reduzem a velocidade de fechamento dos estômatos aumentando as perdas de água, o que acentua o efeito do déficit hídrico (NELSON, 2005).

O papel do potássio no aumento da tolerância à seca das culturas despertou um interesse considerável nas últimas décadas (JÁKLI, 2017). Mas existem poucas pesquisas sobre a fertilização foliar com este elemento na cultura da soja.

O método mais usado e mais eficiente para a aplicação de fertilizantes minerais é via solo, mas alguns fatores como lixiviação excessiva, fixação dos nutrientes pelo solo, interação com outros nutrientes e a mobilidade de alguns nutrientes no solo e na planta fazem com que muitos produtores busquem outros métodos alternativos de aplicação, como a suplementação foliar, já que as partes aéreas também absorvem nutrientes. A soja é uma planta exigente em termos nutricionais é bastante eficiente em absorver e utilizar os nutrientes do solo, principalmente nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S) (SUZANA et al., 2012).

Para a realização da suplementação foliar, existem hoje no mercado inúmeros produtos comerciais contendo macro e micronutrientes e a sua utilização tem aumentado nos últimos anos (STAUT, 2007). Algumas vantagens deste método de aplicação são: doses muito menores que as utilizadas nas aplicações via solo; a distribuição uniforme e fácil; as respostas quase imediatas aos nutrientes aplicados (podendo as deficiências ser corrigidas ainda durante a estação de crescimento); algumas desvantagens são: demanda de nutrientes muito alta quando as plantas são pequenas e a superfície foliar pode ser insuficiente para a absorção; concentração excessiva de sais pode resultar em queimaduras nas folhas e pouco efeito residual (CALONEGO et al., 2010).

A época de aplicação foliar ideal é quando a planta demonstra necessidade de nutrientes, que ocorre, em geral, um pouco antes do florescimento (R1) e após o florescimento (R3) nas culturas anuais e no crescimento dos frutos e, nesse contexto, torna-se importante

conhecer os estádios fenológicos da soja, principalmente a fase reprodutiva, onde se tem a maior demanda por nutrientes (NUNES, 2012).

Este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos morfofisiológicos e agronômicos da suplementação foliar com potássio em três genótipos de soja com a aplicação de lâminas decrescentes de irrigação.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 Caracterização edafoclimáticas

O estudo foi realizado no ano de 2014 no campo experimental da Embrapa Cerrados localizado nas coordenadas geográficas de 15° 35' 30'' S e 47° 42' 00'' W (Figura 5.8A), localizado a 1,50 Km da BR 020 (Km 18), região administrativa de Planaltina-DF. O solo é classificado como Latossolo-Vermelho distrófico e de textura argilosa (teor de argila de 570 g kg⁻¹) a moderada (SANTOS et al., 2013). A altitude da área é de aproximadamente 1014 m com temperatura média anual de 22 °C e pluviosidade média de 1202 mm (SILVA et al., 2016).

Segundo Köppen (1918), a classificação do clima do Distrito Federal é Aw, caracterizada por clima tropical, concentrando-se no verão as precipitações. O período chuvoso corresponde aos meses de outubro a abril (primavera e verão), e o período seco ocorre nos meses de maio a setembro (outono e inverno) (Figura 3.1). A época de semeadura da soja para maioria das mesorregiões produtoras da cultura no país ocorre entre os meses de outubro e dezembro (CONAB, 2017).

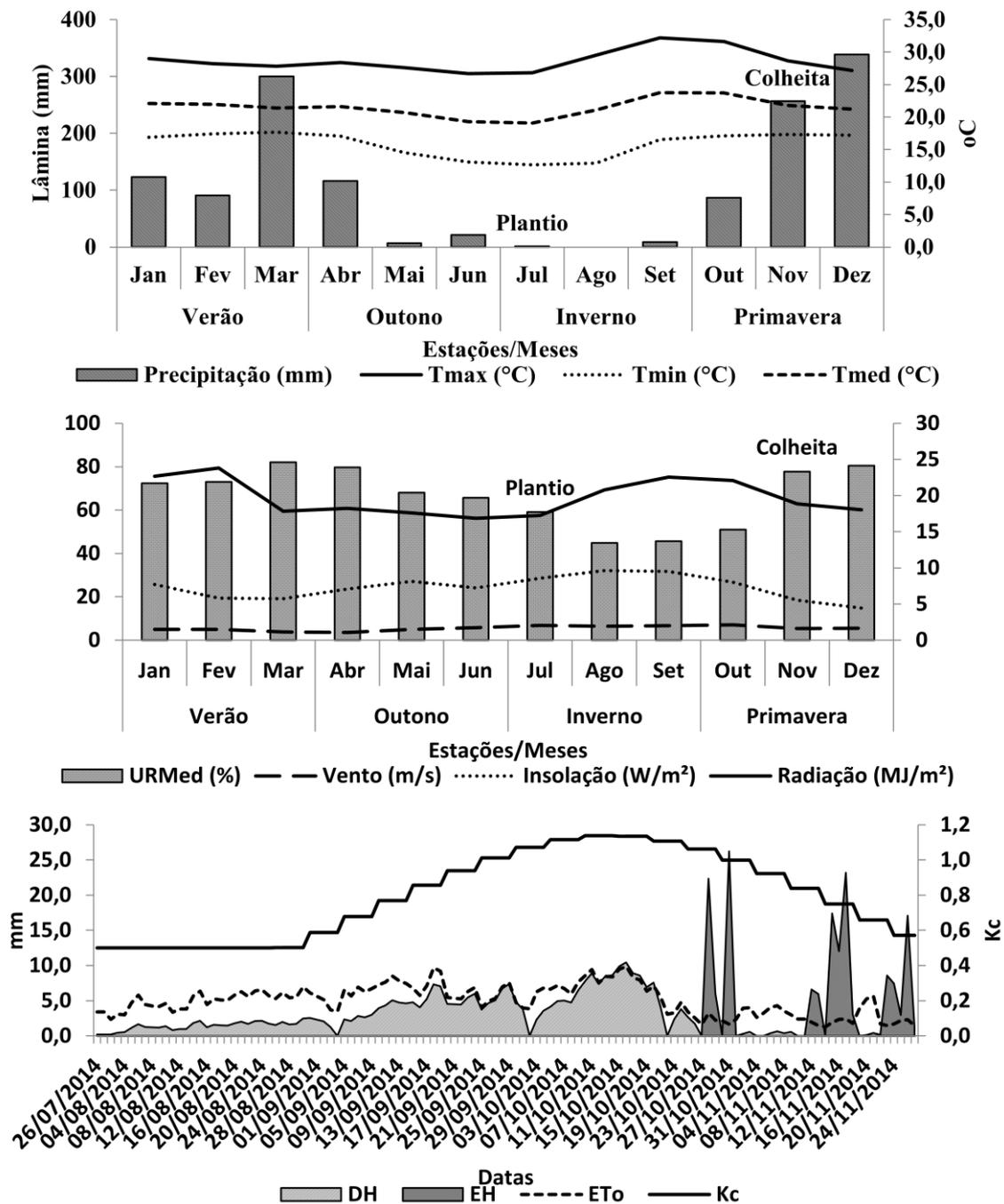


Figura 3.1 Dados climatológicos e dados relacionados à necessidade hídrica no ciclo da cultura da soja observados no ano de 2014. Precipitação pluviométrica, temperatura média (Tmed), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), umidade relativa média (URMed), radiação solar (MJ/m²), insolação (W/m²); velocidade do vento (m/s). Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Cerrados (2017) (<http://hidro.cpac.embrapa.br>). Evapotranspiração de referência (ET₀); coeficiente de cultura (Kc); excedente hídrico (EH) e déficit hídrico (DH) calculados a partir da data de emergência da cultura. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2017) (<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhc>).

3.3.2 Área e delineamento experimental

A área experimental possuía 2907 m² (17 m x 171 m), as linhas de cultivo foram espaçadas em 0,50 m, tendo cada parcela 4 linhas com dimensões de 17 m comprimento por 3,00 m de largura, com espaçamento de 0,50 m. O delineamento adotado foi o de blocos ao acaso com parcelas sub subdivididas. As parcelas foram compostas pelos genótipos de soja (BRS 7380RR, BRS 7580 e o BRS 6980), as subparcelas pela suplementação foliar de potássio (K1 – 0,98 litros ha⁻¹ K₂CO₃ – 32% de K₂O; K2 – 1,57 litros ha⁻¹ K₂CO₃ – 32% de K₂O e o tratamento Testemunha – sem aplicação de K₂CO₃) e as sub subparcelas pelas lâminas de irrigação (421, 400, 264, 207 e 174 mm de lâmina aplicada) (Figura 5.15A, foto 24). A suplementação foliar de potássio foi realizada no estágio fenológico VN com o auxílio de um pulverizador costal de CO₂ (vazão de 0,01325 m³ s⁻¹) no início do florescimento (R₁) da cultura (Figura 5.15A, foto 12).

3.3.3 Características dos genótipos

O genótipo BRS 7380RR é uma cultivar transgênica resistente ao herbicida glifosato e possui ciclo precoce, grupo de maturidade 7.3 e crescimento indeterminado, com altura média de 78 cm, ciclo de 115 dias no Estado de Goiás e de 95 no Mato Grosso. Está associada à resistência às raças 3, 4, 6, 9, 10 e 14 do nematoide do cisto da soja (*Heterodera glycines*) e aos formadores de galhas *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica* (EMBRAPA, 2017).

O genótipo BRS 6980 é uma cultivar superprecoce, grupo de maturidade 6.9, com tipo de crescimento indeterminado e altura média 76 cm, porte ereto, e resistente ao acamamento (ciclo). Pode ser utilizada no sistema de sucessão de culturas, aumentando a sustentabilidade do sistema produtivo agrícola. Por ser convencional, possui vantagem de receber prêmios no preço de comercialização dos grãos nos mercados de “Soja Livre”. Indicada para o plantio nas seguintes regiões edafoclimáticas e estados: 301 (GO), 304 (GO e DF), 401 (GO) (EMBRAPA, 2017).

O genótipo BRS 7580 é uma cultivar convencional (não transgênica) e apresenta bom potencial produtivo com estabilidade e precocidade ideal para o sistema soja/milho safrinha, grupo de maturidade 7.5; é pouco exigente em fertilidade de solo. Apresenta tipo de crescimento determinado (com altura média 70 cm), flor de cor roxa, hilo preto, resistência ao

acamamento e ciclo médio de 100 a 117 dias. Possui resistência à pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*), cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*), vírus da necrose da haste (CpMMV – Cowpea mild mottle virus), ao nematoide do cisto (*Heterodera glycines*) e moderada resistência à mancha "olho de rã" (*Cercospora sojina*) e ao crestamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*). A BRS 7580 é indicada para os estados e respectivas regiões edafoclimáticas: BA - 405; DF - 304; GO - 301, GO - 304; MG - 303, MG - 304; MT - 401, MT - 402, MT - 403; TO - 501 (EMBRAPA, 2017).

3.3.4 Adubação e plantio

Antes do plantio do experimento, as plantas daninhas presentes na área foram tratadas com herbicida à base de Glifosato (64,8% m/v; 648 g L⁻¹).

O plantio foi realizado no dia 26 de julho de 2014 a densidade de plantas utilizada para os genótipos BRS 7380RR, BRS 6980 e BRS 7580 foram, respectivamente, 12, 15 e 13 plantas por metro linear; a emergência (VE) ocorreu no dia 01 de agosto, o florescimento (R1) ocorreu no dia 11 de setembro 41 Dias Após a Emergência (DAE), o desenvolvimento da vagem (R3) ocorreu por volta dos 54 DAE (24 de setembro) e a maturação (R8) aos 115 DAE (24 de novembro).

A adubação de plantio foi feita com o formulado 04-14-08 (643 kg ha⁻¹) e as sementes foram previamente inoculadas com inoculante à base de turfa, na dose de 1,2 milhão de unidades formadora de colônias por semente de soja. A Tabela 3.1 mostra a análise do solo realizada na área.

Tabela 3.1 Caracterização química do solo da área experimental de cultivo da soja testados em diferentes lâminas de irrigação. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Profundidades	pH H ₂ O	P	Al	K	Ca	Mg	H+Al	MO	SB	CTC 7,0	V	m
cm		mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----				%	cmolc dm ⁻³	-----%-----			
0-20	6,12	46,44	0,02	0,23	3,81	1,83	3,51	2,07	5,87	9,38	62,58	0,34
21-40	6,10	8,16	0,03	0,24	2,42	1,25	3,82	1,89	3,91	7,73	50,58	0,77

Absorção atômica: Ca²⁺, Mg²⁺; Fotômetro de chama: K⁺; Titulometria: Al, H+Al. Espectrofotometria: P (Mehlich1); Walkley & Black: Matéria Orgânica (MO). Areia grossa = 236 g kg⁻¹; areia fina = 47; silte = 116 g kg⁻¹; argila = 601 g kg⁻¹.

3.3.5 Regime hídrico

A área foi irrigada por um sistema móvel (autopropelido com velocidade regulável) constituído por uma barra irrigadora de aspersão, com 40 m de largura, contendo dez aspersores em sua lateral espaçados uniformemente. A barra se movimenta em sentido paralelo à linha de cultivo formando uma área irrigada retangular (Figura 5.11A; Figura 5.12A). Esse sistema de irrigação teve por base o sistema fixo *line source* (HANKS et al., 1976b).

Durante os primeiros 23 dias a irrigação foi uniforme em toda a área experimental e foram realizadas cinco irrigações totalizando uma lâmina de 95 mm. Após esse período a vazão dos dez aspersores foi reduzida gradualmente a partir do 2º aspersor (maior lâmina aplicada) até 6º aspersor (menor lâmina aplicada) e excluindo os quatro últimos aspersores da extremidade (máximo déficit hídrico). Nessa fase foram realizadas 14 irrigações e a lâmina acumulada das irrigações uniformes foi de 95 mm.

O regime hídrico adotado foi caracterizado por 5 lâminas de irrigação em gradiente obtidos pela soma da irrigação homogênea (95 mm) até última irrigação realizada em gradiente, totalizando ao final do ciclo: 421, 400, 267, 207, 174 mm. As lâminas aplicadas foram medidas a cada evento de irrigação com o auxílio de duas fileiras de coletores (com 18 coletores por fileira) instalados de forma paralela à linha de irrigação (Figura 5.15A, fotos 7 e 8).

Para a determinação da lâmina de irrigação foi utilizado o Programa de Monitoramento de Irrigação para o Cerrado, da EMBRAPA Cerrados. O referido programa é abastecido com o tipo da cultura, a variedade usada, o tipo de solo e a data de emergência das plantas e por meio dessas informações, o software fornece automaticamente a lâmina líquida e o turno de rega que devem ser aplicados.

Esse programa está disponível gratuitamente no endereço: <http://www.cpac.embrapa.br> no link "Monitoramento da Irrigação" ou pelo endereço <http://hidro.cpac.embrapa.br> (EMBRAPA, 2013).

A lâmina líquida de irrigação é calculada com base nos resultados de vinte e dois anos de pesquisas das relações solo-água-plantas-atmosfera no Bioma Cerrado para cada cultura. O

programa estima a evapotranspiração de referência com base na equação proposta por Penman-Monteith (1965): $ET_0 = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{(T - 273)} (e_s - e_a)$

Onde: ET_0 é a evapotranspiração diária de referência (mm); λ é o calor latente de vaporização (MJ kg^{-1}); δ é a inclinação da curva da pressão de vapor saturado versus temperatura (k Pa K^{-1}); R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); e_s é a pressão de vapor saturado do ar (k Pa); e_a é a pressão de vapor do ar na altura z (k Pa); T é a temperatura do ar na altura z ($^{\circ}\text{C}$); γ^* é o coeficiente psicrométrico modificado (k Pa K^{-1}) = $\gamma (1 + 0,33 U_2)$; U_2 é a Velocidade do vento medida a 2 metros de altura (m s^{-1}); 900 é uma Constante ($\text{k J}^{-1} \text{ kg}^0 \text{K}$).

3.3.6 Avaliações morfofisiológicas e laboratoriais

As duas medidas de altura de plantas foram realizadas com o auxílio de uma trena graduada, sendo medida da base da planta até o ápice terminal de forma perpendicular ao plano da superfície. As medições foram realizadas no período da manhã aos 45 e 70 DAE nos respectivos estádios de R_1 (florescimento) e R_4 (desenvolvimento da vagem) (FEHR; CAVINESS, 1977).

As avaliações dos teores de clorofila a e b foram realizados no terceiro ou quarto trifólios contados a partir do ápice da haste principal utilizando o medidor portátil de clorofila ClorofiLOG (CFL-1030, Falker) que fornecem medições relativas do total de clorofila (0 a 100) (RIGON et al., 2012). Foram realizadas duas medições no período da manhã aos 45 e 70 DAE nos respectivos estádios de R_1 (florescimento) e R_4 (desenvolvimento da vagem) (FEHR; CAVINESS, 1977) (Figura 5.14A; Figura 5.15A, foto 11).

Foram coletadas, aos 61 DAE, amostras de solo em três profundidades para a determinação da umidade. As coletas foram realizadas antes e após cada irrigação em todas as faixas de irrigação estudadas (Tabela 3.2). As amostras foram devidamente pesadas e colocadas em uma estufa a 105°C por três dias quando foram novamente pesadas para determinação do peso seco. O percentual de umidade foi calculado pela fórmula:

$UG (\%) = \frac{MU - MS}{MS} \cdot 100$. Onde: UG = umidade gravimétrica (%); MU = Massa do solo úmido; MS = Massa do solo seco.

Tabela 3.2 Percentuais de umidade (U%) em função das profundidades e das lâminas aplicadas na área experimental de cultivo da soja. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Lâmina (mm)	U% Antes da Irrigação	U% Após Irrigação
0 – 10 cm		
421	19,95	20,74
400	18,55	20,46
264	16,36	16,94
207	13,14	15,89
174	10,69	15,78
10 – 20 cm		
421	20,05	27,30
400	18,14	20,20
264	15,24	16,49
207	13,32	16,04
174	13,59	16,37
20 – 30 cm		
421	20,47	29,03
400	18,04	28,14
264	15,16	19,34
207	14,47	16,45
174	14,30	11,17

A coleta das folhas para análise de prolina foi realizada aos 75 DAE, no estágio fenológico R₅ (enchimento dos grãos) (FEHR; CAVINESS, 1977), entre 17 e 18 horas. Foram coletados entre dois e três trifólios (medidos no terceiro ou quarto trifólios a partir da haste principal) de cada genótipo, sendo colocadas em sacos de plásticos e estes depositados em um recipiente de isopor contendo nitrogênio líquido (N₂). Logo em seguida, as amostras foram mantidas em freezer -80 °C até o momento das análises.

A determinação dos teores de prolina livre nas amostras das folhas foi feita no laboratório de bioquímica do solo da universidade de Brasília (UnB) pelo método do ácido sulfossalicílico descrito por Bates et al. (1973) (Figura 5.16A).

Para a determinação dos teores de prolina, foram utilizados os trifólios coletados em cada avaliação. O extrato para determinação da prolina foi obtido pela adição de 10 mL de ácido sulfossalicílico a 3% em cerca de 0,5 g de folhas previamente macerada em cadinho de porcelana e filtrado em papel filtro.

O filtrado foi depositado em tubos de ensaio com tampa rosqueável, nos quais foram adicionados 1,5 mL de extrato, 1 mL de glicina, 1 mL de ninidrina ácida, e 1 mL de ácido acético glacial, deixando-se a mistura em banho-maria (100 °C) por uma hora, para o

desenvolvimento da cor. Em seguida, os tubos de ensaio foram colocados em banho de gelo por 10 minutos para cessar a reação. A extração do cromóforo foi realizada pela adição de 4 mL de tolueno à mistura de reação, seguida de agitação vigorosa por 20 segundos. Após repouso, e formação da mistura bifásica, a fase superior foi retirada para a quantificação dos níveis de prolina livre, por intermédio de medidas de absorvância em espectrofotômetro SP-2000 U.V. ajustado para 515 nm. Utilizou-se como branco apenas o tolueno. Como padrão, utilizou-se a prolina pura determinada em curva padrão.

Os teores de prolina foram calculados com base na massa fresca, segundo a fórmula:

$$Pr = \frac{(\mu\text{g prolina mL}^{-1} \times \text{mL tolueno}) / 115,5 \mu\text{g } \mu\text{mol}^{-1}}{\text{g amostra} / 5}$$

Onde **Pr** = μmol de prolina g^{-1} massa fresca (MF).

Cada repetição (amostra) foi representada por um extrato simples, determinado em triplicatas.

A colheita dos grãos foi feita em uma área útil de 3,00 m² para o cálculo da produtividade da cultura. Após a colheita, os grãos foram devidamente pesados sendo obtidos os pesos totais, para se estimar a produtividade, e o peso de 1000 grãos em uma balança semi-analítica com precisão 0,01 (Brasil, 1992), os resultados foram multiplicados por 10 de acordo com a fórmula:

$$PMG = \frac{PA \times 10}{NS}. \text{Onde: } PMG = \text{Peso de mil grãos; } PA = \text{Peso da amostra; } NS =$$

Números de grãos.

A determinação da umidade das amostras dos grãos foi realizada com auxílio de uma estufa a 105 ± 3°C por 24 horas (Brasil, 1992). Os grãos apresentaram umidade media em torno de 12,93 ± 1,86% e foi corrigida para 13%. A determinação da produtividade foi feita após a secagem, nessa etapa os grãos das parcelas foram devidamente pesados e a produtividade foi estimada em kg ha⁻¹ acordo com a fórmula:

$$P = \frac{P_{\text{Atual}}(100 - U\%_{\text{Atual}})}{(100 - U\%_{\text{Almejada}})} \times 3,33. \text{Onde: } P = \text{Produtividade (kg ha}^{-1}\text{); } P_{\text{Atual}} = \text{Peso do}$$

grão colhido sub subparcela; **U%_{Atual}** = Umidade do grão colhido sub subparcela; **U%_{Almejada}** = Umidade do grão almejada (13%).

A eficiência do uso de água aplicada foi estimada a partir das áreas das subparcelas e calculada pela fórmula:

$$EUAA = \frac{P}{LTA}$$
 Onde: **EUAA** = Eficiência do uso de água aplicada ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$); **P** = Produtividade (kg ha^{-1}); **LTA** = lâmina total aplicada (mm).

Para o cálculo da EUAA foi levada em consideração somente à lâmina aplicada pela irrigação (ERTEK et al. 2006; SOUZA et al. 2011). Foram contabilizadas, para efeito de cálculos, precipitações que atingiram a capacidade de campo (acima de 30 mm) ocorrida em períodos menores que 5 dias.

3.3.7 Análise estatística

Na análise estatística dos dados foi utilizado modelo misto balanceado gerado pelo procedimento PROC MIXED (LITTELL et al., 1996):

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + F_j + L_k + (G \times F)_{ij} + (G \times L)_{ik} + (F \times L)_{jk} + (G \times F \times L)_{ijk} + B_l + (G \times B)_{il} + (F \times B)_{jl} + (B \times F(G))_{kjl} + \epsilon_{ijkl}$$

Onde: μ : Média das parcelas; G_i : é o efeito dos genótipos; F_j : é o efeito da Fertilização foliar; L_k : é o efeito da Lâmina de irrigação; $(G \times F)_{ij}$: Efeitos da interação Genótipo x Fertilização foliar; $(G \times L)_{ik}$: Efeitos da interação Genótipo x Lâmina de irrigação; $(F \times L)_{jk}$: Efeitos da interação Fertilização foliar x Lâmina de irrigação; B_l : é o efeito de Bloco; $(G \times B)_{il}$: erro **a**, gerado pela observação dos genótipos nas parcelas; $(B \times F(G))_{kjl}$: erro **b**, gerado pela observação da Fertilização foliar nas subparcelas; ϵ_{ijkl} : erro **c**, gerado pela observação das Lâmina de irrigação nas subsubparcelas.

Onde: G_i , F_j , L_k , $(G \times F)_{ij}$, $(G \times L)_{ik}$ e $(F \times L)_{jk}$ são efeitos fixos; B_l , $(G \times B)_{il}$, $(F \times B)_{jl}$ e $(B \times F(G))_{kjl}$ são efeitos aleatórios; e ϵ_{ijkl} é o erro aleatório.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software SAS, versão 9.1 (SAS, 2008).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Análise de variância

De acordo com a análise de variância (ANAVA) a maior parte dos parâmetros apresentou interação entre dos genótipos de soja e lâminas de água aplicadas (G x L). Os teores de clorofila *a* e total foram os únicos parâmetros que apresentaram efeitos isolados dos genótipos de soja (G) e das lâminas de água aplicadas (L) no estágio fenológico de florescimento. Os parâmetros clorofila *b* e razão clorofila *a/b* foram os únicos que apresentaram interações entre genótipos de soja, suplementação foliar com potássio e lâminas de água aplicada (G x K x L) (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 Valores de testes de hipóteses ($F < P$) para cada parâmetro avaliado em função dos genótipos de soja, dos tratamentos com suplementação foliar de K_2CO_3 , das lâminas de água aplicada e de suas interações

FV	GL	PMG	Produtividade	EUAA	Prolina
		g	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	μmol g ⁻¹
G	2	<.0001*	0,0024*	0,001*	0,0421*
K	2	0,2234	0,733	0,6944	0,3001
G x K	4	0,5216	0,585	0,661	0,1341
L	4	<.0001*	<.0001*	<.0001*	0,0083*
G x L	8	<.0001*	<.0001*	<.0001*	0,0075*
K x L	8	0,8913	0,6081	0,7425	0,3279
G x K x L	16	0,2984	0,6743	0,6546	0,1773

Início do Florescimento (R1)						
FV	GL	Altura	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	Clorofila <i>a/b</i>
		cm	Unidade	Unidade	Unidade	Unidade
G	2	<.0001	<.0001*	0,0007*	<.0001*	0,0037*
K	2	0,9796	0,8397	0,8839	0,8422	0,8998
G x K	4	0,5423	0,9638	0,8784	0,981	0,5543
L	4	<.0001*	0,0043*	0,0083*	0,0078*	0,0033*
G x L	8	0,0184*	0,2209	0,0120*	0,1158	0,0046*
K x L	8	0,74446	0,4707	0,3173	0,4276	0,2718
G x K x L	16	0,9421	0,1155	0,0567*	0,0801	0,0377*

Estádio de desenvolvimento das vagens (R4)						
FV	GL	Altura	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	Clorofila <i>a/b</i>
		cm	Unidade	Unidade	Unidade	Unidade
G	2	<.0001*	0,0017*	0,0242*	0,0024*	0,1419
K	2	0,1098	0,8023	0,7758	0,9254	0,62
G x K	4	0,5234	0,6895	0,1827	0,4926	0,1363
L	4	<.0001*	0,0127*	0,0151*	0,0118*	0,0140*
G x L	8	0,0042*	0,0012*	0,0003*	0,0005*	0,0005*
K x L	8	0,777	0,3173	0,2758	0,2692	0,3668
G x K x L	16	0,7493	0,7622	0,8868	0,8305	0,8286

Obs.: G – Genótipos; K – Tratamentos com potássio; L – lâmina (mm); PMG – Peso de Mil Grãos. * - F significativo para o teste Tukey a 5% de probabilidade.

3.4.2 Produtividade e peso de mil grãos (PMG)

A produtividade dos genótipos foi influenciada significativamente pelas lâminas aplicadas, com decréscimo do rendimento na medida em que menores lâminas foram fornecidas (Tabela 3.4).

Houve diferenças significativas entre os genótipos, sendo que o BRS 6980 foi o único que apresentou melhor desempenho na menor lâmina (174 mm), diferenciando-se estatisticamente dos demais.

Nas lâminas 421, 264, 207 mm, esse genótipo juntamente com o BRS 7580 apresentaram produtividades estatisticamente superiores ao BRS 7380RR, enquanto que na lâmina 400 mm não houve diferenças significativas entre os genótipos.

Tabela 3.4 Produtividade (kg ha^{-1}) dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	2248,92 ABa	1901,70 Ab	1091,15 Ac	904,18 Ac	885,65 Ac
BRS 7380RR	2009,75 Ba	1869,18 Aa	687,48 Bb	577,08 Bb	503,12 Bb
BRS 7580	2409,58 Aa	2118,79 Ab	1221,46 Ac	843,74 ABd	565,23 Bd
CV_G(%)	29,26				
CV_L(%)	16,23				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Barzotto et al. (2016) avaliando cultivar de soja BMX Ativa em diferentes níveis de água (350, 425, 525, 575 e 600 mm) observaram que o valor da produtividade máxima de grãos foi superior (4827 kg ha^{-1}) na lâmina mais elevada (575 mm) quando comparada aos valores obtidos na menor lâmina (350 mm) (4244 kg ha^{-1}).

Gomes et al. (2014) trabalhando com os genótipos de soja CD 219 e AL 55 também constataram um incremento de 11,5% na produtividade em condições ótimas de irrigação quando comparada às plantas estressadas.

O peso de mil grãos (PMG) sofreu reduções em todos os genótipos na medida em que menores lâminas de água foram fornecidas. Nos genótipos BRS 7380RR e BRS 7580 o PMG

reduziu estatisticamente a partir da lâmina 264 mm, enquanto no BRS 6980 as reduções iniciaram a partir da lâmina 400 mm (Tabela 3.5).

O genótipo BRS 7580 apresentou melhor desempenho no PMG que os demais nas lâminas 400, 264 e 207 mm, nas lâminas 421 e 174 mm os genótipos BRS 7580 e BRS 6980 BRS 7380RR não diferenciaram estatisticamente entre si, e superaram o BRS 7380RR.

Os dados apontam para o genótipo BRS 7580 como aquele que apresentou melhor desempenho em PMG quando comparados aos demais o que demonstra que mesmo sobre déficit hídrico esse genótipo mantém o padrão de qualidade de seus grãos.

Tabela 3.5 Peso de mil grãos (g) dos genótipos de soja em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	134,76 Aa	113,72 Cb	93,37 Bc	90,91 Bc	93,23 Ac
BRS 7380RR	116,96 Ba	124,31 Ba	85,79 Bb	81,69 Cb	79,16 Bb
BRS 7580	139,12 Aa	141,42 Aa	102,21 Ab	98,82 Ab	98,80 Ab
CV_G(%)	8,13				
CV_L(%)	5,66				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

O PMG pode ser utilizado para comparar qualidades de lotes de sementes de soja e também para verificar efeitos de diferentes níveis de irrigação e do estresse hídrico severo durante o ciclo da soja que promove redução da qualidade de grãos (AMARO et al., 2015).

No presente estudo, não foram identificadas influências da suplementação foliar com potássio na produtividade da soja, nem na qualidade dos grãos avaliados pelo PMG, não obstante, Oliveira et al. (2013) relataram a importância do macronutriente para a cultura, segundo os autores para a produção de uma tonelada ha⁻¹ de grão de soja, são necessários em torno de 38 kg ha⁻¹ de potássio dos quais 20 kg ha⁻¹ são exportados para os grãos.

Gabriel e Bueno (2016) avaliando a resposta da variedade de soja Dom Mario 6563 a diferentes fontes de potássio verificaram que a suplementação foliar de 2 kg ha⁻¹ com Bônus NPK (13-11-43) aos 35 DAE e 4 kg ha⁻¹ de Bônus NPK (13-11-43) aos 45 DAE não

diferenciaram estatisticamente do tratamento testemunha. No entanto, os autores obtiveram diferenças estatísticas na avaliação de PMG e número de vagens.

Serafim et al. (2012) conduzindo experimento em casa de vegetação constataram respostas positivas à adubação com doses crescentes (0; 30; 60; 120 e 180 mg dm⁻³) de cloreto de potássio aplicado em vaso, sendo registrado aumento do rendimento de grãos, massa de cem grãos, teor de potássio no grão e número de vagens viáveis decorrente de menores efeitos do déficit hídrico na soja.

3.4.3 Eficiência do uso de água aplicada (EUAA)

A EUAA foi maior nas lâminas mais elevadas (421 e 400 mm) em todos os genótipos, o que indica que não houve perda na eficiência por excesso de água (Tabela 3.6).

A partir da lâmina 400 mm a EUAA começou a decair na medida em que as menores lâminas foram fornecidas em razão do estresse hídrico; no entanto, o genótipo BRS 6980 foi o único que elevou a EUAA (5,09 kg ha⁻¹ mm⁻¹) na lâmina de maior déficit hídrico (174 mm) quando comparada a 264 mm (4,13 kg ha⁻¹ mm⁻¹), superando, inclusive, os demais genótipos. sendo, portanto, uma característica de maior tolerância à seca.

Nas lâminas 421 e 400 mm, não foram observadas diferenças significativas da EUAA entre os genótipos estudados, ao passo que nas lâminas 264 e 207, o BRS 6980 e BRS 7580 apresentaram EUAA significativamente superior ao BRS 7380RR.

Tabela 3.6 Eficiência do uso de água aplicada (kg ha⁻¹ mm⁻¹) dos genótipos de soja em função lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	5,34 Aa	4,75 Aabc	4,13 Ac	4,37 Abc	5,09 Aab
BRS 7380RR	4,77 Aa	4,67 Aa	2,60 Bb	2,79 Bb	2,89 Bb
BRS 7580	5,72 Aa	5,30 Aab	4,63 Abc	4,08 Acd	3,25 Bd
CV_G(%)	33,92				
CV_L(%)	16,35				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Oliveira (2011), ao avaliar o total de matéria seca produzida pela soja em cada fase do ciclo constatou que a eficiência do uso de água foi mínima na fase V₆ (3,5 kg ha⁻¹ mm⁻¹) e

máxima na fase R_{5.1} (19,6 kg ha⁻¹ mm⁻¹). Os valores encontrados por este autor foram semelhantes aos observados por Costa et al. (1999) que variaram de 4,3 kg ha⁻¹ mm⁻¹ até 23,5 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente, para a fase vegetativa e após o florescimento. Procópio et al. (2002), verificaram que a eficiência do uso da água pela soja após o florescimento alcançou valor máximo de 20,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

A eficiência do uso de água aplicada (EUAA) é um parâmetro utilizado para avaliar se o rendimento da cultura é afetado pelo fornecimento de água ou para verificar a adaptação da planta ao déficit hídrico e pode ser expressa pela quantidade de água necessária para produzir uma unidade de matéria vegetal (WARAICH, 2007).

Segundo Tardieu (2013) o aumento da eficiência do uso de água pode ser uma característica ideal para elevar a tolerância ao déficit hídrico, em regiões onde a disponibilidade hídrica é limitada.

3.4.4 Medidas das alturas das plantas

De um modo geral, as plantas alcançaram portes mais elevados com aplicação das lâminas 421 e 400 mm, e decaíram a partir da lâmina 264 mm. O BRS 7380RR apresentou altura estatisticamente inferior aos demais genótipos na lâmina de 400 mm (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 Altura (cm) dos genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de florescimento em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	63,07 Aa	68,07 Aa	53,81 Ab	48,67 Abc	46,48 Ac
BRS 7380RR	61,52 Aa	60,41 Ba	52,67 Ab	46,37 Ac	43,11 Ac
BRS 7580	65,00 Aa	69,26 Aa	57,56 Ab	47,19 Ac	43,41 Ac
CV_G(%)	14,63				
CV_L(%)	7,63				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

A altura de plantas avaliada na fase fenológica de desenvolvimento das vagens foi influenciada significativamente pelas lâminas aplicadas e pelos genótipos (Tabela 3.8). Em geral, foi observado decréscimos significativos no porte de todos os genótipos estudados na medida em que menores lâminas de irrigação foram fornecidas, a partir de 264 mm.

Na comparação entre os genótipos dentro de cada lâmina, o que apresentou maior altura foi BRS 7580, diferenciando significativamente dos demais nas lâminas 421 e 264 mm; esse genótipo também se diferenciou estatisticamente apenas do BRS 6980 nas lâminas 400 e 207 mm. Na lâmina 174 mm não foram observadas diferenças significativas entre os genótipos.

Tabela 3.8 Altura (cm) dos genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	68,96 Ca	69,89 Ba	53,37 Cb	49,15 Bbc	45,89 Ac
BRS 7380RR	78,59 Ba	76,22 Aa	60,19 Bb	53,04 ABc	48,89 Ac
BRS 7580	86,93 Aa	81,37 Aa	67,67 Ab	56,74 Ac	47,93 Ad
CV_G(%)	11,88				
CV_L(%)	7,32				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

A altura de plantas é uma característica que pode ser positivamente correlacionada com a produção da cultura (TOMICICH et al., 2003).

Ruviaro et al. (2011) ao comparar os efeitos de três níveis crescentes de irrigação suplementar em soja verificaram que ocorreu redução da estatura das plantas com o aumento do estresse hídrico e esses resultados foram associados a diminuição do número de nós e comprimento de entrenós.

Kron et al. (2008) verificaram que o déficit hídrico no estágio vegetativo induziu as plantas de soja a desenvolverem mecanismos de tolerância à seca, e consideraram a redução do crescimento das plantas uma estratégia de conservação de energia.

Neste trabalho não foi detectado efeito da suplementação foliar com potássio no porte da soja, na forma de carbonato de potássio, no entanto, Figueira (2010) relatou aumentos significativos do porte de genótipos de soja testados com aplicação foliar de silicato de potássio.

3.4.5 Teores de clorofilas

Na fase de florescimento, os teores de clorofilas totais ($a+b$) apresentaram diferenças significativas entre as lâminas aplicadas e os genótipos. O genótipo com maior valor de clorofila total foi o BRS 6980 (Figura 3.2a). Na lâmina 400, os teores de clorofilas totais foram significativamente mais elevados quando comparados aos encontrados nas lâminas 207 e 174 mm (Figura 3.2b).

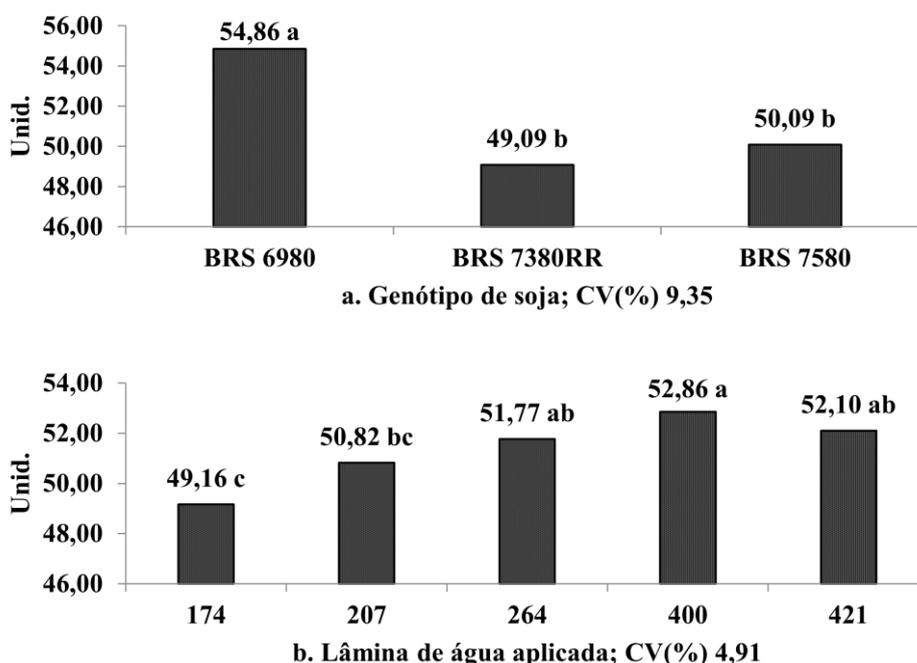


Figura 3.2 Teores de clorofilas totais medidos no estágio fenológico de florescimento em função dos genótipos de soja (a) e das lâminas de água aplicada (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Na fase de desenvolvimento das vagens, os teores de clorofila totais apresentaram interação significativa entre as lâminas de água aplicadas e os genótipos testados (Tabela 3.9).

Para o genótipo BRS 6980 a clorofila total começou a decair a partir da lâmina de 400 mm, diferenciando significativamente dos valores encontrados nas lâminas 264, 207 e 174 mm; no BRS 7580 a clorofila total encontrada na lâmina de 174 mm foi significativamente inferior a lâmina 207 mm, enquanto que no genótipo BRS 7380RR não foram observadas diferenças significativas entre as lâminas.

Na comparação entre os genótipos, o BRS 6980 apresentou menores teores de clorofila total em relação aos demais nas lâminas 264, 207 e 174 mm, não diferenciando estatisticamente nas lâminas superiores.

Assim, os genótipos que apresentaram melhor desempenho em teores de clorofilas totais nessa fase fenológica foram o BRS 7380RR e o BRS 7580.

Tabela 3.9 Teores de clorofilas totais medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	54,96 Aab	56,33 Aa	51,86 Bbc	50,37 Bc	44,62 Bd
BRS 7380RR	52,74 Aa	52,98 Aa	56,27 Aa	55,07 Aa	52,70 Aa
BRS 7580	53,57 Aab	54,23 Aab	56,06 Aab	57,09 Aa	52,69 Ab
CV_G(%)	5,01				
CV_L(%)	5,99				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Os genótipos BRS 7380RR e BRS 7580 apresentaram elevação nos teores de clorofila totais em relação à fase fenológica anterior, o que pode ser considerado uma vantagem adaptativa ao longo do ciclo.

Segundo Chaves et al. (2009) as plantas, quando são submetidas a um estresse, têm alta capacidade de homeostase dependendo da intensidade, do tempo de exposição e do número de eventos de estresse. Assim, diante de uma exposição prévia a um estresse, muitas plantas tem a capacidade de responder mais rápido a um evento de estresse recorrente (WALTER et al., 2011), esse fenômeno é conhecido como *hardening*. Isso significa que as plantas têm uma capacidade de memória (*stress imprint*) resultante de mudanças bioquímicas e/ou epigenéticas (relacionada à plasticidade fenotípica) que ocorrem após a primeira exposição ao estresse (BRUCE et al., 2007).

Sinclair et al. (2007) testando genótipos de soja (tolerantes – R01 – 581F, R01 – 416F, R02 – 1325 e sensíveis – CD 215 e BRS 317) verificaram redução de clorofilas sob restrição hídrica em todos os genótipos. No entanto, ocorreu melhor desempenho quanto ao teor de clorofila nos genótipos tolerantes à seca, indicando sua melhor capacidade de amenizar o efeito da seca e com isso manter o potencial produtivo em condições de restrição hídrica.

Assim, a análise do teor de clorofila é importante para avaliar a integridade do aparelho fotossintético interno durante a fotossíntese e fornece uma técnica rápida e precisa para se detectar e quantificar a tolerância das plantas ao estresse hídrico (LI et al., 2006).

A clorofila *a* apresentou efeitos significativos e isolados entre os genótipos (Figura 3.3a) e as lâminas estudadas (Figura 3.3b). No primeiro caso, os teores de clorofila *a* foram mais elevados no genótipo BRS 6980 diferenciando significativamente dos valores encontrados no BRS 7380RR. Quanto às lâminas, os teores desse pigmento foram mais elevados quando aplicada 400 mm e 421 mm superando estatisticamente os encontrados na lâmina 174 mm.

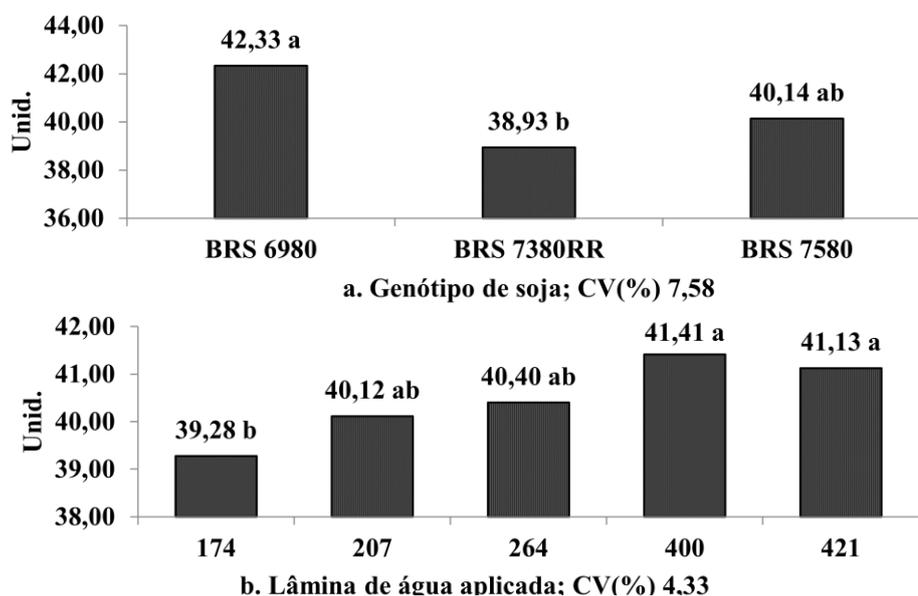


Figura 3.3 Teores de clorofilas *a* medidos no estágio fenológico de florescimento em função dos genótipos de soja (a) e das lâminas de água aplicada (b). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Os teores de clorofila *a* medidos no estágio de desenvolvimento das vagens apresentaram interação significativa entre as lâminas de água aplicadas e os genótipos de soja (Tabela 3.10).

O genótipo BRS 6980 foi o único que apresentou reduções significativas na comparação entre as lâminas, produzindo os menores teores desse pigmento nas lâminas 264, 207 e 174 mm. Nessas mesmas lâminas, esse genótipo também apresentou teores de clorofila *a* significativamente inferior aos demais genótipos.

Esses dados sugerem melhor adaptação dos genótipos BRS 7580 e BRS 7380RR às condições de estresse hídrico ao longo do ciclo. Em relação à fase fenológica anterior, em ambos os genótipos houve relativo aumento nos teores de clorofila *a*.

Tabela 3.10 Teores de clorofila *a* dos genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	43,41 Aa	43,80 Aa	41,98 Bab	41,17 Bb	37,97 Bc
BRS 7380RR	42,53 Aa	42,92 Aa	43,77 ABa	43,40 Aa	42,22 Aa
BRS 7580	43,56 Aa	43,71 Aa	44,36 Aa	44,91 Aa	42,93 Aa
CV_G(%)	5,71				
CV_L(%)	3,89				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Mesquita (2010) ao estudar as cultivares de soja Embrapa 48 (genótipo tolerante ao déficit hídrico) e BR 16 (genótipo sensível ao déficit hídrico) submetidos à irrigação, estresse hídrico moderado (-1,0 MPa) e severo (-1,5 MPa) constatou que ambas as cultivares reduziram os teores de clorofila *a* em condições de estresse severo.

As medições de clorofila *b* apresentaram interação entre genótipos, tratamentos e lâminas (Tabela 3.11). Em geral, os dados indicam que, na fase fenológica de florescimento, o genótipo BRS 6980 apresenta teores mais elevados de clorofila *b* que os demais e que essa diferença decai quando menores lâminas são aplicadas (não podendo mais ser identificadas diferenças significativas).

Isso ocorreu por que esse genótipo foi o único que apresentou decréscimo nos teores de clorofila *b* em função das lâminas, os demais, mantiveram esses pigmentos constantes ao longo do gradiente de lâminas.

Os genótipos apresentaram comportamentos diferenciados em relação ao efeito dos tratamentos. O BRS 6980 teve maior teor de clorofila *b* com a aplicação do tratamento K2 na maior lâmina de irrigação (421 mm) (14,33) e menores teores na lâmina (207 mm) (10,50) diferenciando estatisticamente, em ambos os casos, dos tratamentos K1 e testemunha.

No BRS 7380RR esse mesmo tratamento (K2) favoreceu a elevação da clorofila *b* na lâmina 400 mm (11,07) quando comparado ao K1 (9,40). Para o genótipo BRS 7580 o tratamento K1 elevou os teores de clorofila *b* na lâmina 174 mm (10,47) em comparação com tratamento testemunha (8,27). Nesse último caso, a suplementação foliar com K1 pode favorecer a planta em condições de estresse hídrico.

Tabela 3.11 Teores de clorofila *b* em genótipos de soja medidos no estágio fenológico de florescimento em função da suplementação foliar com K₂CO₃ em diferentes doses e das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Doses de potássio	L (mm)				
		421	400	264	207	174
BRS 6980	K1	12,83 β1Ba	14,43 β1Aa	13,50 β1Aa	11,43 β1ABa	10,73 β1Aa
	K2	14,33 β1Aa	14,10 β1Aab	12,23 β1Aa	10,50 β1Bb	11,73 β1Ab
	Testemunha	13,17 β1Ba	13,83 β1Aa	12,43 β1Aa	12,63 β1Aa	11,50 β1Aa
BRS 7380RR	K1	10,07 β2Aa	9,40 β2Ba	10,83 β1Aa	10,87 β1Aa	9,53 β1Aa
	K2	9,77 β2Aa	11,07 β1Aa	11,20 β1Aa	10,23 β1Aa	9,30 β1Aa
	Testemunha	9,23 β2Aa	10,43 β1ABa	10,67 β1Aa	10,30 β1Aa	9,33 β1Aa
BRS 7580	K1	9,27 β2Aa	10,03 β2Aa	11,43 β1Aa	9,17 β1Aa	10,47 β1Aa
	K2	9,73 β2Aa	9,80 β2Aa	9,57 β1Aa	10,43 β1Aa	10,17 β1ABa
	Testemunha	9,77 β2Aa	9,97 β2Aa	10,47 β1Aa	10,77 β1Aa	8,27 β1Ba

CV_G(%) 14,92
 CV_{DK}(%) 9,00
 CV_L(%) 9,49

Médias seguidas de letra gregas de mesmo índice na coluna (comparando uma mesma dose de potássio em genótipos distintos), mesma letra maiúscula na coluna (comparando diferentes doses de potássio dentro de um mesmo genótipo) e mesma letra minúscula na linha (comparando diferentes lâminas de irrigação aplicada dentro de um mesmo genótipo e mesma dose de potássio) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. K1 (0,98 litros ha⁻¹ K₂CO₃ – 32% de K₂O), K2 (1,57 litros ha⁻¹ K₂CO₃ – 32% de K₂O) e o Testemunha sem suplementação de K₂CO₃). CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_{DK}(%) – Coeficiente de variação das doses de potássio; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Durante o estágio de desenvolvimento das vagens houve interação entre as lâminas e os genótipos de soja na clorofila *b* (Tabela 3.12). No genótipo BRS 6980 os teores de clorofila *b* decaíram a partir da lâmina 400 mm ficando estatisticamente inferiores, ao serem aplicadas as lâminas 264, 207 e 174 mm.

O genótipo BRS 7580 apresentou redução significativa nos teores desse pigmento apenas na lâmina 174 mm. O BRS 7380RR apresentou menores teores de clorofila *b* nas lâminas mais elevadas 421 e 400 mm.

Na comparação entre os genótipos, o BRS 6980 apresentou teores de clorofila *b* significativamente inferiores aos demais, nas lâminas 264, 207 e 174 mm, não diferenciando estatisticamente na lâmina 421 mm e apresentou maiores valores na lâmina de 400 mm.

Tabela 3.12 Teores de clorofila *b* em genótipos de soja medidos no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	11,54 Aab	12,53 Aa	9,88 Bbc	9,20 Bc	6,64 Bd
BRS 7380RR	10,21 Ab	10,06 Bb	12,49 Aa	11,67 Aab	10,49 Aab
BRS 7580	10,01 Aab	10,51 Bab	11,70 Aab	12,18 Aa	9,76 Ab
CV_G(%)	11,90				
CV_L(%)	15,92				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Em plantas superiores, a clorofila *b* representa 15 a 25% da clorofila total e é considerada um pigmento acessório, pois absorve luz de comprimento de onda entre 425 e 475 nm e transfere a sua energia para a clorofila *a*, a qual absorve pouco nesses comprimentos (TANAKA; TANAKA, 2007). Segundo Gao et al. (2016), a deficiência hídrica atua na degradação de pigmentos nas folhas, o processo de degradação de clorofilas (*a* e *b*) tem início no cloroplasto com a conversão da clorofila *b* a clorofila *a* e convertida a feoforbídeo molécula que consome ROS gerados pelo estresse hídrico, o mecanismo de degradação envolve uma complexa rota metabólica catalisada sequencialmente por uma série de enzimas e é mediada pelo fitormônio ácido abscísico (ABA).

A razão clorofila *a/b* na fase de florescimento apresentou interação entre genótipos tratamento, lâminas e doses de potássio. O genótipo BRS 7580 apresenta teores mais elevados de razão clorofila *a/b* associada a maior lâmina de irrigação (421 mm), diferenciando em todos os tratamentos de suplementação foliar do genótipo BRS 6980 (Tabela 3.13).

Na comparação entre as lâminas, o genótipo BRS 6980 apresentou maior razão clorofila *a/b* nas menores lâminas de água aplicadas (207 e 174 mm) quando submetido ao tratamento K2. Já com os genótipos BRS 7380RR e BRS 7580 todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas na razão clorofila *a/b* entre suas lâminas, nesses dois

genótipos, em geral, os menores valores ocorreram na lâmina 264 mm com tendência de aumento a partir desse ponto no sentido das menores lâminas e também das maiores.

Os tratamentos com potássio produziram efeito nas lâminas de irrigação mais estressantes. Para o genótipo BRS 6980 o tratamento K2 elevou a razão clorofila *a/b* (3,90) na lâmina 207 mm. Esta elevação está relacionada aos menores teores de clorofila *b* decorrente da suplementação com potássio nesse genótipo, portanto pode ser considerada prejudicial.

O BRS 7580 teve a razão clorofila *a/b* reduzida (3,90) na lâmina 174 mm, com o tratamento K1, nesse caso os valores estão relacionados a elevação dos teores de clorofila *b* nesse genótipo (*ver* figura 3.11). Nesse caso pode-se inferir que a suplementação com potássio promoveu amenização dos efeitos do déficit hídrico na cultura.

Tabela 3.13 Razão clorofila *a/b* genótipos de soja avaliada estágio fenológico do florescimento em função da suplementação foliar de K₂CO₃ em diferentes doses e da lâminas de água aplicada. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Doses de potássio	L (mm)				
		421	400	264	207	174
BRS 6980	K1	3,40 β2Aa	3,10 β1Aa	3,27 β1Aa	3,67 β1ABa	3,73 β1Aa
	K2	3,10 β3Ac	3,13 β1Abc	3,47 β1Ab	3,90 β1Aa	3,60 β1Aab
	Testemunha	3,30 β2Aa	3,10 β1Aa	3,40 β1Aa	3,33 β1Ba	3,67 β1Aa
BRS 7380RR	K1	3,87 β1,2Aab	4,17 β1Aa	3,67 β1Ab	3,63 β1Ab	4,13 β1Aab
	K2	3,97 β2Aa	3,67 β1Aab	3,5 β1Ab	3,83 β1Aa	4,13 β1Aa
	Testemunha	4,17 β1Aa	3,83 β1Ab	3,67 β1Ab	3,77 β1Ab	4,03 β1Aab
BRS 7580	K1	4,33 β1Aa	4,13 β1Aa	3,63 β1Ab	4,07 β1Aa	3,90 β1Bab
	K2	4,23 β1Aa	4,23 β1Aa	3,83 β1Ab	3,90 β1Ab	4,03 β1ABab
	Testemunha	4,20 β1Aa	4,10 β1Aab	3,80 β1Ab	3,87 β1Ab	4,67 β1Aa

CV_G(%) 12,23
CV_{DK}(%) 6,42
CV_L(%) 7,35

Médias seguidas de letra gregas de mesmo índice na coluna (comparando uma mesma dose de potássio em genótipos distintos), mesma letra maiúscula na coluna (comparando diferentes doses de potássio dentro de um mesmo genótipo) e mesma letra minúscula na linha (comparando diferentes lâminas de irrigação aplicada dentro de um mesmo genótipo e mesma dose de potássio) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. K1 (0,98 litros ha⁻¹ K₂CO₃ – 32% de K₂O), K2 (1,57 litros ha⁻¹ K₂CO₃ – 32% de K₂O) e o Testemunha sem suplementação de K₂CO₃). CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_{DK}(%) – Coeficiente de variação das doses de potássio; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Em geral, valores mais elevados da razão clorofila *a/b* estão relacionados à maior conversão da clorofila *b* a clorofila *a*. Durante estresses bióticos e abióticos ocorre intensa degradação da clorofila *b*, mas também, a conversão de clorofila *b* em *a*, esse processo é considerado um mecanismo de defesa da planta para consumir espécies reativas de oxigênio

(geradas em condições de estresse) que são fitotóxicas. Isso porque a clorofila *a* tem um poder antioxidante maior do que a clorofila *b* (HÖRTENSTEINER; KRÄUTLER, 2011). Por isso, em condições mais estressantes as plantas que apresentam a razão clorofila *a/b* mais elevada tem maior poder antioxidante e, por tanto, tendem a ser mais tolerantes à seca.

A elevação da razão clorofila *a/b* nas lâminas de irrigação mais elevadas pode estar associada ao estresse hídrico por excesso de água. Segundo Ladygin (2004) plantas que passam períodos de hipoxia radicular apresentam diminuição da concentração de clorofila, acarretando uma redução em sua eficiência fotossintética.

No estágio de desenvolvimento das vagens avaliação da razão clorofila *a/b* apresentou efeito significativo na comparação entre as lâminas em interação com os genótipos (Tabela 3.14). O genótipo BRS 6980 apresentou teores de clorofila *a/b* mais elevados na medida em que menores lâminas de água foram aplicadas, sendo que, a de 174 mm induziu a maiores valores. Os demais genótipos mantiveram esse parâmetro estável ao longo das lâminas aplicadas.

Na comparação entre os genótipos, o BRS 6980 apresentou razão clorofila *a/b* significativamente mais elevada na medida em que menores lâminas foram fornecidas, não diferenciando significativamente do BRS 7580 na lâmina 264 mm, mas foi inferior na lâmina 400 mm. Na lâmina 421 mm a razão clorofila *a/b* não apresentou diferenças estatísticas entre os genótipos.

Tabela 3.14 Razão clorofila *a/b* em genótipos de soja avaliada no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens em função das lâminas de água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	3,82 Acd	3,62 Bd	4,56 Abc	4,80 Ab	6,37 Aa
BRS 7380RR	4,26 Aa	4,46 Aa	3,60 Ba	3,87 Ba	4,26 Ba
BRS 7580	4,43 Aa	4,28 ABa	3,89 ABa	3,77 Ba	4,55 Ba
CV_G(%)	14,64				
CV_L(%)	16,06				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Petter et al. (2012) avaliando aplicação de potássio via solo em latossolo amarelo distrófico não detectou incremento nos teores relativos de clorofila na cultivar de soja Monsoy 9350 em função das lâminas de água aplicadas.

3.4.6 Concentração de prolina nas folhas

De acordo com os resultados a concentração de prolina apresentou interação entre lâminas de água aplicada e genótipos de soja (Tabela 3.15).

Em geral, as concentrações de prolina foram muito reduzidas, apresentando aumento na medida em que menores quantidades de água foram aplicadas, mas esse efeito só foi significativo no genótipo BRS 6980 nas lâminas 207 e 174 mm em que as concentrações do aminoácido foram superiores às encontradas na lâmina 421 mm. Sob condições controladas, Ramos et al. (2005) também obtiveram baixos valores de prolina na cultura da soja sob estresse hídrico, entre 4,28 e 4,68 $\mu\text{mol g}^{-1}$, nos nódulos e folhas, respectivamente.

Esses dados mostram que o genótipo BRS 6980 apresentou melhor osmorregulação por prolina, conferindo-lhe uma capacidade de respostas de curto prazo que segundo Rejeb et al. (2014) é papel-chave na comunicação intracelular que provoca a capacidade de aclimação das plantas a condições ambientais desfavoráveis.

Na comparação entre os genótipos, o BRS 7380RR apresentou concentrações de prolina mais elevadas em todas as lâminas superando significativamente o BRS 6980, nas lâminas 421 e 264 mm e o BRS 7580, na lâmina 207 mm. Na lâmina 400 mm não houve diferenças estatísticas nas concentrações do aminoácido entre os genótipos.

A prolina é um aminoácido soluto-compatível e o aumento líquido na concentração dessas moléculas não é nocivo ao metabolismo celular e auxilia na manutenção de sua turgescência já que a elevação da pressão osmótica no interior das células mantém o fluxo de água na planta, permitindo continuidade dos processos fisiológicos nos vegetais (ainda que em níveis menores) em condições de baixo potencial hídrico do solo (MARIJUAN; BOSCH, 2013). Segundo Rejeb et al. (2014) a rota de produção desse aminoácido consome o NADH da fotossíntese que originalmente iria para o ciclo de Calvin.

Assim, a manutenção de níveis elevados de prolina no genótipo BRS 7380RR pode indicar um uso contínuo da rota metabólica de prolina o que pode favorecer uma maior

adaptação aos estresses ambientais, mas pode igualmente afetar o desempenho fotossintético do genótipo.

Tabela 3.15 Concentração de prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$) nas folhas dos genótipos de soja em função das lâminas água aplicadas. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2014.

Genótipos	Lâminas (mm)				
	421	400	264	207	174
BRS 6980	0,67 Bb	1,35 Aab	1,28 Bab	2,41 Aa	2,21 Aa
BRS 7380RR	2,07 Aa	2,52 Aa	2,60 Aa	3,28 Aa	2,22 Aa
BRS 7580	1,01 ABa	1,29 Aa	1,57 ABa	0,69 Ba	1,61 Aa
CV_G(%) 91,11					
CV_L(%) 51,22					

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e Médias seguidas de letra maiúscula na coluna (comparando genótipos diferentes dentro de uma mesma lâmina) e minúscula na linha (comparando as lâminas dentro de um mesmo genótipo) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV_G(%) – Coeficiente de variação do genótipo; CV_L(%) – Coeficiente de variação da lâmina.

Gonçalves (2017) avaliando a resposta das cultivares de soja MG/BR 46 Conquista (convencional) e a BRS Valiosa (transgênica) a diferentes manejos de água no solo em dois estádios vegetativos (V₂ e V₄) detectou um aumento do teor de prolina com o incremento do estresse hídrico, sendo que, na condição de estresse mais severo (-0,5 MPa) verificou-se maior conteúdo de prolina em ambas as cultivares. Devi e Giridhar (2015) também estudando genótipos de soja verificaram um aumento no nível de prolina em cultivares após 5 dias em condições de estresse hídrico.

3.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em síntese, em condições de déficit hídrico, o genótipo BRS 6980 apresentou maiores produtividades e EUAA que se relacionaram com menor porte, maiores teores de clorofila totais, *a* e *b* (no estágio fenológico de floração), maior razão clorofila *a/b* (no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens) e elevação das concentrações de prolina.

Enquanto o genótipo BRS 7580, nas maiores lâminas de irrigação, apresentou elevada produtividade e PMG associados a maior razão clorofila *a/b* (no estágio fenológico de floração) e maiores teores de clorofila totais, *a* e *b* (no estágio fenológico de desenvolvimento das vagens).

Em condições de déficit hídrico, a suplementação foliar com tratamento 1,57 litros ha⁻¹ K₂CO₃ promoveu a redução nos teores da clorofila *b* do genótipo BRS 6980, o que pode ser considerado um efeito desfavorável para adaptação à seca. Enquanto a suplementação foliar com 0,98 litros ha⁻¹ K₂CO₃, no genótipo BRS 7580, elevou os teores da clorofila *b* indicando que a suplementação foliar de potássio pode minimizar os efeitos do estresse hídrico nesse genótipo, no entanto, são necessários mais estudos que ratifiquem esses resultados.

3.6 CONCLUSÕES

A aplicação das lâminas de irrigação afetou de maneira diferenciada o desempenho agrônômico e as características morfofisiológicas de todos os genótipos avaliados.

Em condições de maior déficit hídrico o genótipo BRS 6980 apresentou melhor desempenho produtivo e EUAA que os demais. O genótipo BRS 7580 apresentou maior desempenho produtivo e de PMG que os demais nas lâminas de irrigação mais elevadas.

Em condições de déficit hídrico, a suplementação foliar com tratamento com potássio pode minimizar os efeitos do estresse hídrico em soja, dependendo da interação do genótipo com dose do produto.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUJA, I.; DE VOS, R. C. H.; BONES, A. M.; HALL, R. D. Plant molecular stress responses face climate change. **Trends in plant science**, v. 15, p. 664–674, 2010.

AMARO, H. T. R.; DAVID, A. M. S. S.; ASSIS, M. O.; RODRIGUE, B. R. A.; CANGUSSÚ, L. V. S.; OLIVEIRA, M. B. Testes de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 38, n. 3, p. 383-389, 2015.

BARZOTTO, F.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; KIRCHNER, J. H.; ROSSO, R. B.; GIRARDI, L. B.; MEZZOMO, W. Efeito da irrigação e da adubação nitrogenada nos parâmetros de desenvolvimento e nos componentes de produção da cultura da soja. **Revista Espacios**. v. 37, n. 21, 2016.

BRUCE, T. J. A., METTHES, M. C., NAPIER, J. A., PICKETT, J. A. Stressful “memories” of plants: Evidence and possible mechanisms. **Plant Science**, v. 173, 603-608, 2007.

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. Potassium for better crop production and quality. **Plant and Soil**, The Hague, v. 335, n. 1-2, p. 1-2, 2010.

CALONEGO, J. C.; OCANI, K.; OCANI, M.; SANTOS, C. H. Adubação boratada foliar na cultura da soja. **Colloquium Agrariae**, v. 6, n.2, p. 20-26, 2010.

CHAVES, M. M., FLEXAS, J., PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of botany**, v. 103, p. 551-560, 2009.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Safra 2016/17. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.4, n 7, Brasília, p. 1-160, abril 2017.

COSTA, L. C.; CONFALONE, A.; PEREIRA, C. R. Effect of water stress on the efficiency of capture of water and radiation by soybean. **Tropical Science**, Hoboken, v. 39, p. 91-97, 1999.

DEVI, M. K. A.; GIRIDHAR, P. Variations in physiological response, lipid peroxidation, antioxidant enzyme activities, proline and isoflavones content in soybean varieties subjected

to drought stress. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 85, n. 1, p. 35-44, 2015.

EMBRAPA – Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja BRS 6980. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/3066/soja---brs-6980>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

EMBRAPA – Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja BRS 7380RR. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cerrados/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/2115/soja---brs-7380rr>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

EMBRAPA – Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja BRS 7580. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cerrados/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/183/soja---brs-7580>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011**. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 255 p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 14).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil**. Brasília, 2013. 266 p. (Sistema de Produção, 16).

ERTEK, A.; SENSOY, S.; GEDIK, I. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 81, n. 1-2, p. 159-172, 2006.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames, Iowa State University, p. 12, 1977.

FIGUEIRA, C. R. Aplicação de silicato de potássio e fungicida sobre o desenvolvimento de plantas de soja. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 03, n. 02, p. 95-105, 2010.

GABRIEL, S. G.; BUENO, R. F. D. S. Resposta da soja (*glycine max*) à duas diferentes fontes de potássio. **Revista Uningá Review**. v.25, n.1, p.05-09. 2016.

GAO, S.; GAO, J.; ZHU, X.; SONG, Y.; LI, Z.; REN, G.; ZHOU, X.; KUAI, B. ABF2, ABF3, and ABF4 promote ABA-mediated chlorophyll degradation and leaf senescence by

transcriptional activation of chlorophyll metabolic genes and senescence-associated genes In *Arabidopsis*. **Molecular Plant**, v. 9, 1272–1285, 2016.

GOMES, A. C. S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; SOARES, F. C.; PARIZI, A. R. C. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 43-49, 2014.

GONÇALVES, C. G. **Modificações morfológicas, fisiológicas e seletividade da soja a diferentes herbicidas em resposta ao estresse hídrico**. 2017. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 2017.

GRZEBISZ, W.; GRANSEE, A.; SZCZEPANIAK, W.; DIATTA, J. The effects of potassium fertilization on water-use efficiency in crop plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 176, 355–374, 2013.

HÖRTENSTEINER, S.; KRÄUTLER, B. Chlorophyll breakdown in higher plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics**, v. 1807, p. 977-988, 2011.

JÁKLI, B.; TAVAKOL, E.; TRÄNKNER, M.; SENBAYRAM, M.; DITTERT, K. Quantitative limitations to photosynthesis in K deficient sunflower and their implications on water-use efficiency. **Journal of Plant Physiology**, v. 209, 20-30, 2017.

KHATOON, A.; REHMAN, S.; HIRAGA, S.; MAKINO, T.; KOMATSU, S. Organ-specific proteomics analysis for response mechanism in soybean seedlings under flooding stress. **J. Proteomics**, V. 75 2012, p. 5706–5723.

KOMATSU, S.; HIRAGA, S.; YANAGAWA, Y. Proteomics techniques for the development of flood tolerant crops. **Journal of proteome research**, v.11, p. 68–78, 2012.

KÖPPEN, W. Klassifikation der klimare nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. **Petermanns Geographische Mitteilungen**, Gotha, v. 64, p. 193-203, 1918.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of *Glycine max* can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p.43-49, 2008.

LADYGIN, V. G. The Effect of Root Hypoxia and Iron Deficiency on the Photosynthesis, Biochemical Composition, and Structure of Pea Chloroplasts. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.51, n. 1, p. 28-40, 2004.

LI, R. H.; GUO, P. G.; BAUM, M.; GRANDO, S.; CECCARELLI, S. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. **Agricultural Sciences in China**, v. 10, p. 751–757, 2006.

MANAVALAN, L. P.; GUTTIKONDA, S. K.; TRAN, L. S .P.; NGUYEN, H. T. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Plant Cell Physiology**, v. 50, p. 1260–1276, 2009.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v.18, p.660-666, 2013.

MESQUITA, R. O. **Caracterização fisiológica e análise proteômica diferencial de genótipos de soja submetidos à déficit hídrico**. 2010. 71 f. Dissertação (Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, UFV, Minas Gerais, 2010.

MOHAMMADI, P. P.; MOIENI, A.; HIRAGA, S.; KOMATSU, S. Organ specific proteomic analysis of drought-stressed soybean seedlings. **J. Proteomics**, v. 75, p. 1906–1923, 2012.

NELSON, K. A.; MOTAVALLI, P. P.; NATHAN, M. Response of No-Till Soybean [(L.) Merr.] to Timing of Preplant and Foliar Potassium Applications in a Claypan Soil. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 03, p. 832–838, 2005.

NUNES, A. S. Adubação de culturas. 2012. 72 p. Livro-texto. Disponível em: <<http://anisionunesdotcom.files.wordpress.com/2012/07/apostilaadubacao.pdf>> Acesso em 18 out. 2015.

OLIVEIRA, A. J.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; JORDÃO, L. T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes . **IPNI-International plant nutrition institute (Informações agronômicas n. 143)**. Piracicaba-SP, 10 p, 2013.

OLIVEIRA, E. C. de. **Balço de carbono e energia para uma lavoura de soja: método da covariância dos vórtices turbulentos e a estimativa do modelo cropgro-soybean**. 2011. 158 f. Tese (Doutorado em meteorologia Agrícola) – UFV, Viçosa, 2011.

PETTER, F. A.; SILVA, J. A.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. de; ALCÂNTARA NETO, F. de; ZUFFO, A. M.; LIMA, L. B. de. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 3, p. 190-196, 2012.

POTCHANASIN, P.; SRINGARM, K.; SRUAMSIRI, P.; BANGERTH, K.F. Floral induction (FI) in longan (*Dimocarpus longan*, Lour.) trees: Part I. Low temperature and potassium chlorate effects on FI and hormonal changes exerted in terminal buds and subapical tissue. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 122, n. 2, p. 288-294, 2009.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A., COSTA, L. C. Análise do crescimento e eficiência no uso da água pelas culturas de soja e feijão e por plantas daninhas. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1345-1351, 2002.

RAMOS, M. L. G.; PARSONS, R., SPRENT, J. I. Differences in ureide and amino acid content of water stressed soybean inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* and *B. elkanii*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.453-458, 2005.

REJEB, K. B.; ABDELLY, C.; SAVOURÉ, A. How reactive oxygen species and proline face stress together. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 278-284, 2014.

RIGON, J. P. G.; CAPUANI, S.; BELTRÃO, N. M.; BRITO NETO, J. F.; SOFIATTI, V.; FRANÇA, V. F. Non-destructive determination of photosynthetic pigments in the leaves of castor oil plants. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 325-329, 2012.

RÖMHELD, V.; KIRKBY, E. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. **Plant and Soil**, The Hauge. v. 335, n. 1/2, p. 155-180, 2010.

RUVIARO, C.; DORNELES, J. G. L.; SILVA, A. M.; BEN, C. A. V. Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídrico e viabilidade da irrigação suplementar na região do Vale do Jaguarí - RS. **Perspectiva**, v. 35, n. 131, p. 79-90, 2011.

SADOK, W.; SINCLAIR, T. R. Crops yield increase under water limited conditions: review of recent physiological advances for soybean genetic improvement. **Adv. Agron.**, v. 113, p. 313–337, 2011.

SERAFIM, M. E.; ONO, F. B.; ZEVIANI, W. M.; NOVELINO, J. O.; SILVA, J. V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 222-227, 2012.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; OLIVEIRA, A. D. de; MULLER A. G.; **Climatologia da estação principal da Embrapa Cerrados: 1974 a 2013**. Brasília: Embrapa, 2016.

SINCLAIR, T. R.; PURCELL, L. C.; KING, C. A.; SNELLER, C. H.; CHEN, P.; VADEZ, V. Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N₂ fixation. **Field Crops Research**, v. 101, n. 1, p. 68-71, 2007.

SOBHANIAN, H.; RAZAVIZADEH, R.; NANJO, Y.; EHSANPOUR, A.A.; JAZII, F.R.; MOTAMED, N.; KOMATSU, S. Proteome analysis of soybean leaves, hypocotyls and roots under salt stress. **Proteome Science**, v. 8, n. 1, p. 19, 2010.

SOUZA, A. P.; PEREIRA, J. B. A.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011.

STAUT, L. A. **Adubação foliar com nutrientes na cultura da soja**. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=413>>07/12/2007>. Acesso em: 31 jan. 2017.

STOLF-MOREIRA, R.; MEDRI, M. E.; NEUMAIER, N.; LEMOS, N. G.; PIMENTA, J. A.; TOBITA, S.; BROGIN, R. L.; MARCELINO-GUIMARAES, F. C.; OLIVEIRA, M. C. N.; FARIAS, J. R.; ABDELNOOR, R. V.; NEPOMUCENO, A. L. Soybean physiology and gene expression during drought. **Genetics and Molecular Research**, v. 9, n. 4, p. 1946-1956, 2010.

SUZANA, C. S.; BRUNETTO, A.; MARANGON, D.; TONELLO, A. A.; KULCZYNSKI, S. M. Influência da adubação foliar sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 2385-2392, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed. pg. 243-269, 2013.

TANAKA, R.; TANAKA, A. Tetrapyrrole biosynthesis in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 321-46, 2007.

TARDIEU, F. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand and negative effects of water deficit. **Frontiers in physiology**, [S.l.], v.4, p.1-7, 2013.

TOMICH, T. R.; RODRIGUES, J. A. S.; Gonçalves, L. C.; TOMICH, R. G. P. CARVALHO, A. U. Potencial forrageiro de cultivares de girassol produzidos na safrinha para ensilagem. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, p. 756-762, 2003.

WALTER, J., NAGY, L., HEIN, R., RASCHER, U., BEIERKUHNLIN, C., WILLNER, E., JENTSCH, A. Do plants remember drought? Hints towards a drought memory in grasses. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, n. 1, p. 34-40, 2011.

WANG, H.; ZHOU, L.; FU, Y.; CHEUNG, M. Y.; WONG, F. L.; PHANG, T. H.; SUN, Z.; LAM, H. M. Expression of an apoplast-localized BURP-domain protein from soybean (GmRD22) enhances tolerance towards abiotic stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 35, p. 1932–1947, 2012.

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, pp 7370–7390, 2013.

WARAICH, E. A.; AHMAD, R.; SAIFULLAH; SABIR, M. Nitrogen nutrition and water stress effects on growth, yield and water use efficiency of wheat (*Triticum aestivum*). **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v.44, n.1, p.64-73, 2007.

4 CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação das lâminas de irrigação afetou desempenho agrônômico e as características morfofisiológicas de todos os genótipos de trigo e de soja avaliados.

O genótipo de trigo PF 080492 (de cultivo irrigado) apresentou melhor desempenho agrônômico (elevados produtividade, PH e EUAA) em condições de lâminas de irrigação elevadas e sob déficit hídrico.

O genótipo de soja BRS 6980 destacou-se por apresentar melhor desempenho produtivo e EUAA que os demais genótipos em condições de estresse hídrico. A aplicação do Trinexapac-ethyl não afetou a produtividade nem a EUAA, mas elevou o porte dos genótipos estudados. Também promoveu, em alguns genótipos, à elevação do PMG, dos teores de prolina e a estabilização da razão clorofila *a/b* o que pode favorecer a adaptação das plantas ao déficit hídrico.

Nas condições de maior déficit hídrico o genótipo BRS 6980 destacou-se por apresentar melhor desempenho produtivo e EUAA que os demais. Em condições de déficit hídrico, a suplementação foliar com tratamento com potássio pode minimizar os efeitos do estresse hídrico em soja, dependendo da interação do genótipo com a dose do produto.

5 ANEXOS

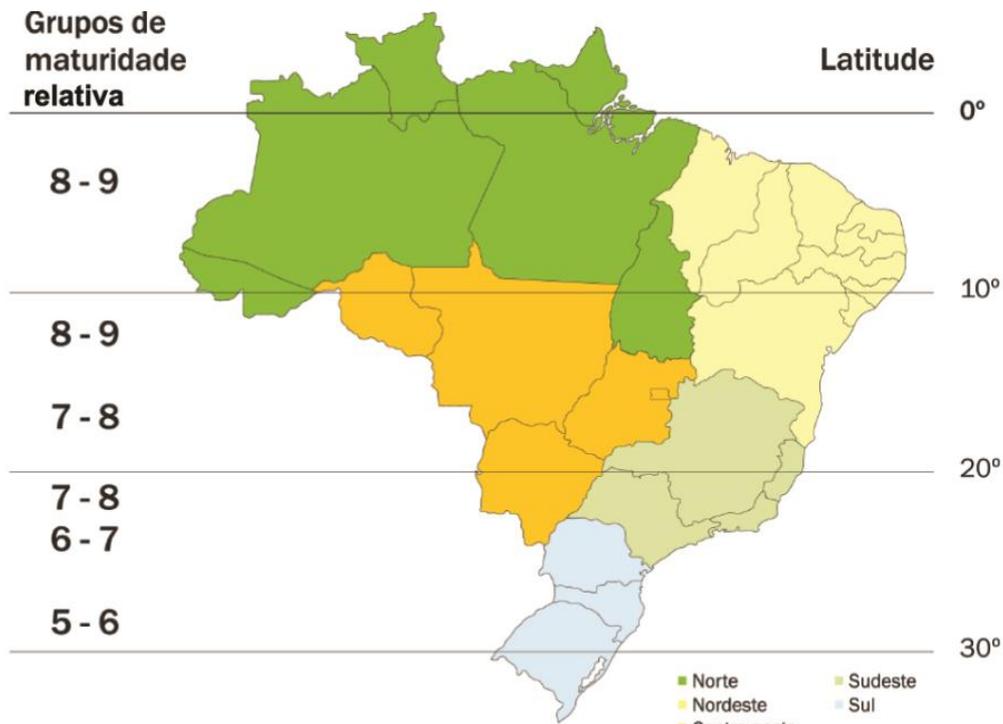


Figura 5.1A Distribuição geográfica dos grupos de maturidade relativa de soja no Brasil em função da latitude.

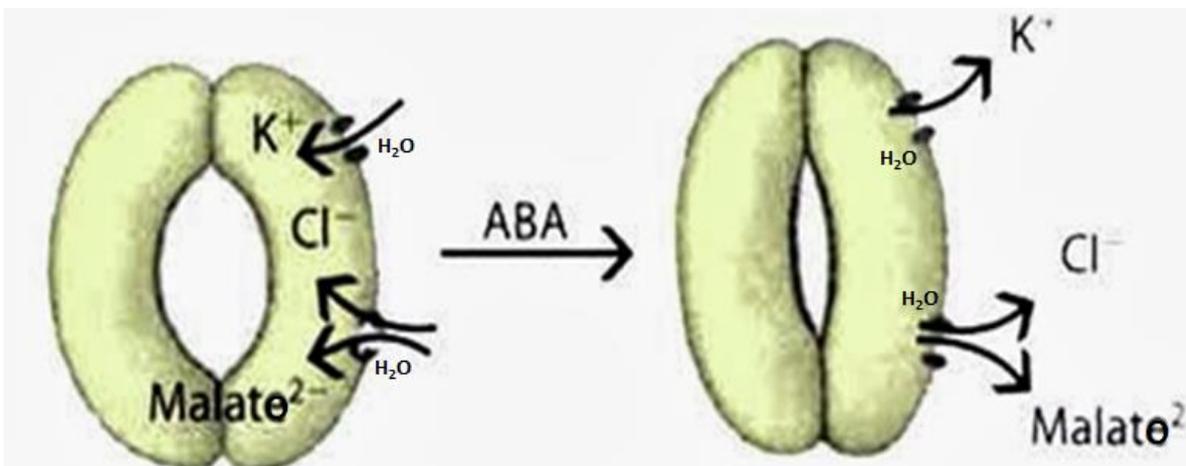


Figura 5.2A Movimentos estomáticos. Em condições de estresse hídrico, o ácido abscísico (ABA) promove a saída dos íons cloro e potássio do interior das células-guarda dos estômatos para as células companheiras. A água, dessa forma, flui para as células companheiras, as quais ficaram mais hipertônicas. A flacidez das células-guarda, que perderam água, força o fechamento dos estômatos.

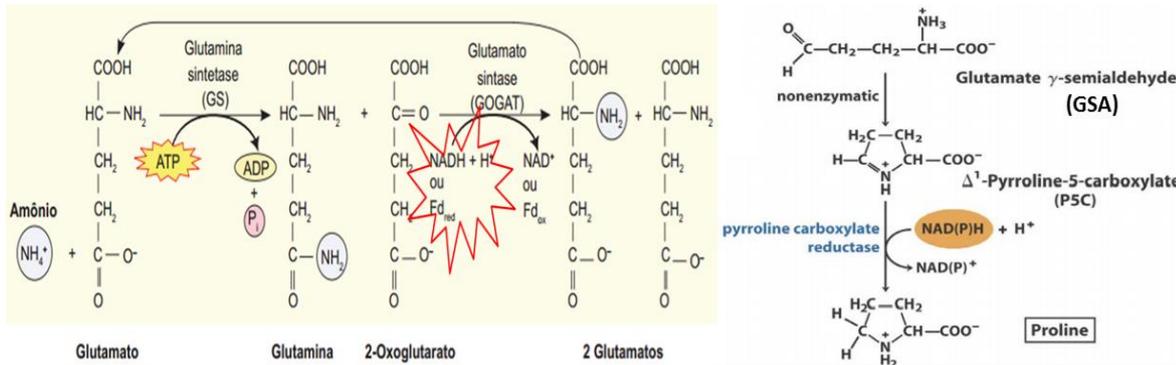


Figura 5.4A Síntese de prolina. A prolina é sintetizada a partir da glutamina (rota GS/GOGAT de assimilação metabólica do nitrogênio nos cloroplastos) utilizando o NADH₂ e ATP originados da cadeia de transporte de elétrons do fotossistema I (PSI) na fase clara da fotossíntese.

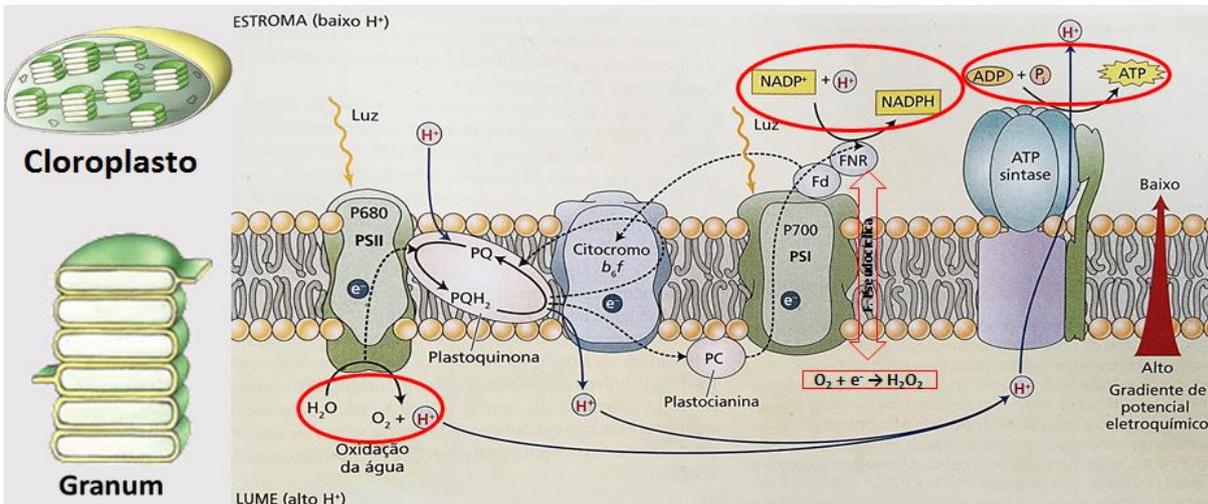


Figura 5.5A Geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) em condições do estresse hídrico. O NADH₂ e o ATP gerado na fase clara da fotossíntese são encaminhados para o ciclo de Calvin ou, em condições de estresse hídrico, podem alimentar a rota metabólica da prolina que é uma alternativa a rota pseudocíclica de elétrons que pode levar a fotoinibição devido a síntese de ROS.

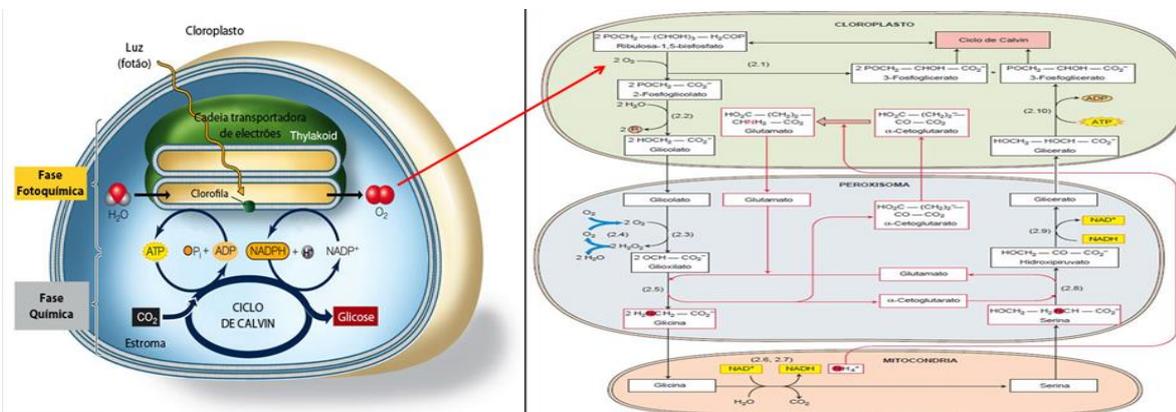


Figura 5.6A O ciclo de Calvin e as espécies reativas de oxigênio (ROS). Com fechamento estomático o ciclo de Calvin pode se afetado pelas ROS em condições de estresse hídrico produzido na fase clara da fotossíntese conduzindo plantas C₃ a fotorrespiração (ou ciclo C₂) (à direita).

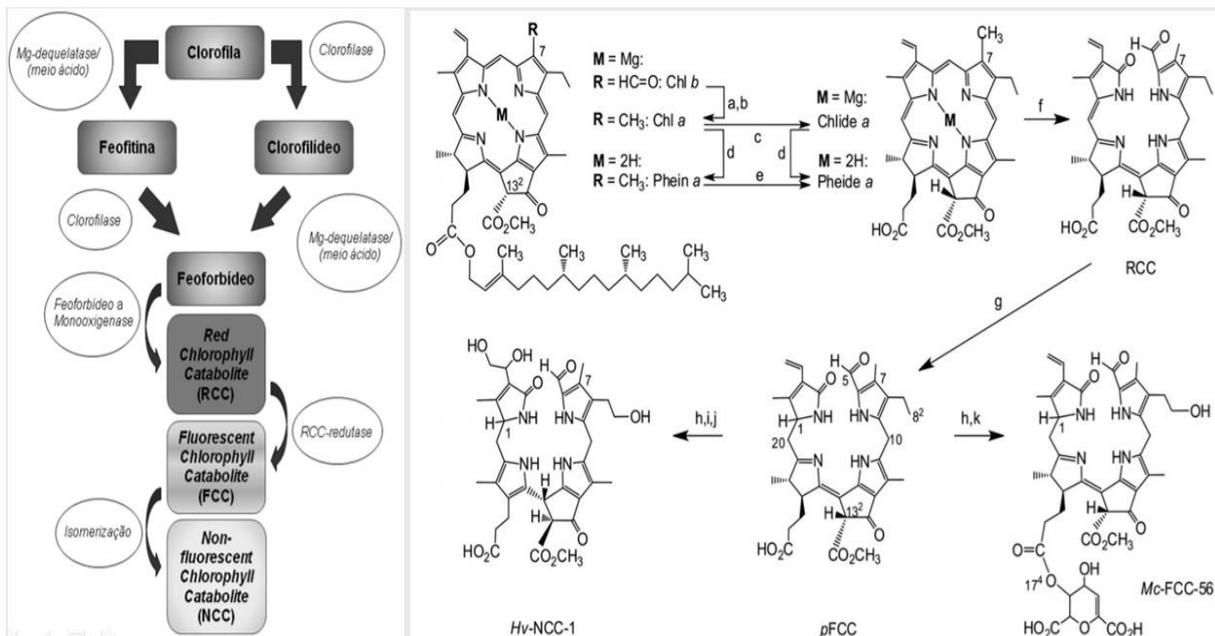


Figura 5.7A Mecanismo de degradação das clorofilas. 1) A enzima clorofila *b* redutase converte clorofila *b* (grupamento metil) a clorofila *a* (grupamento aldeído) e formação de feoforbídeo); 2) f (enzima feoforbídeo *a* oxigenase – PaO) introduz um átomo de oxigênio na posição C5 dos feoforbídeos *a* formando RCC (*red chlorophyll catabolites*); 3) g RCC redutase (RCCR) formando FCC (*fluorescent chlorophyll catabolites*); 4) h, i (enzimas não identificadas) e j, k (ácidos) atuam no FCC formando o NCC (*nonfluorescent chlorophyll catabolites*).

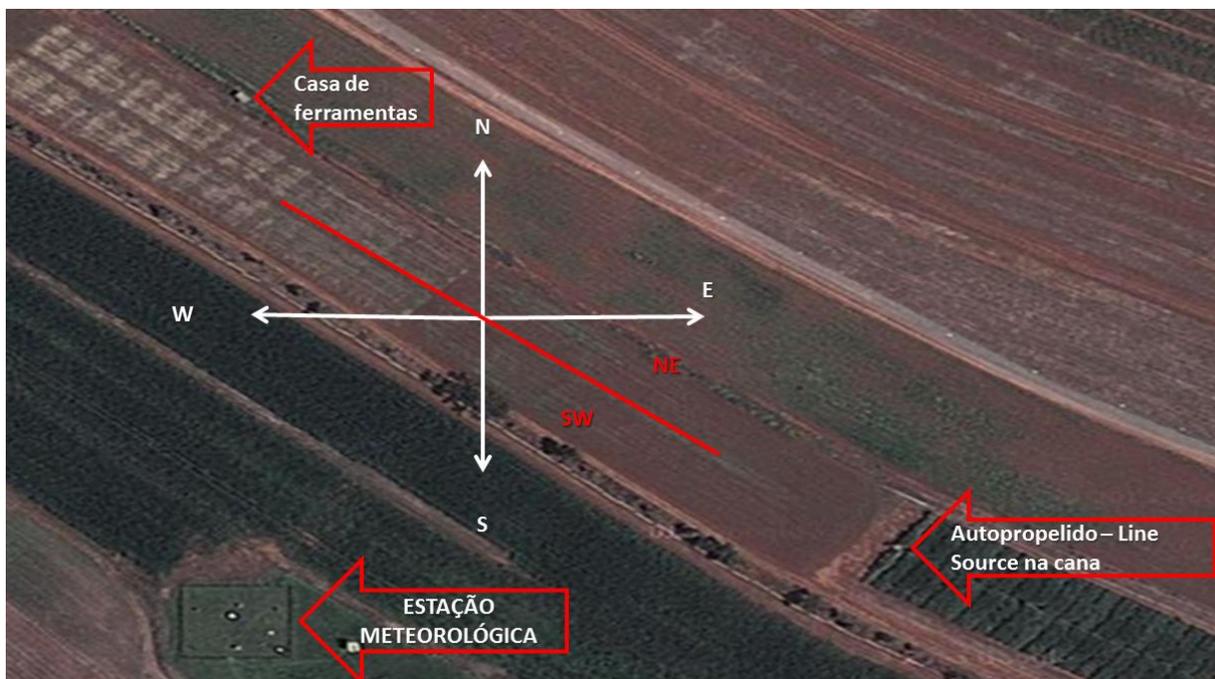


Figura 5.8A Imagem de satélite do campo experimental dos projetos de trigo e soja na Embrapa Cerrados. (voltar ao texto: 1, 2, 3).

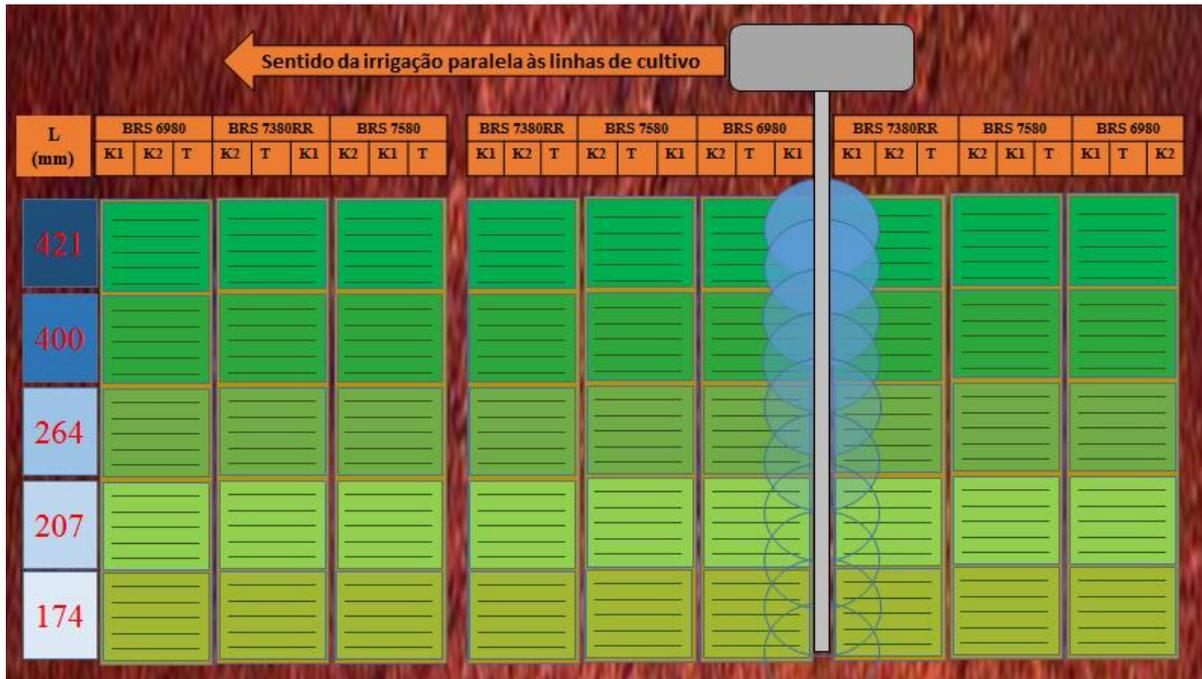


Figura 5.11A Croqui da área de plantio de soja do projeto de tolerância à seca com suplementação foliar com carbonato de potássio (K_2CO_3).

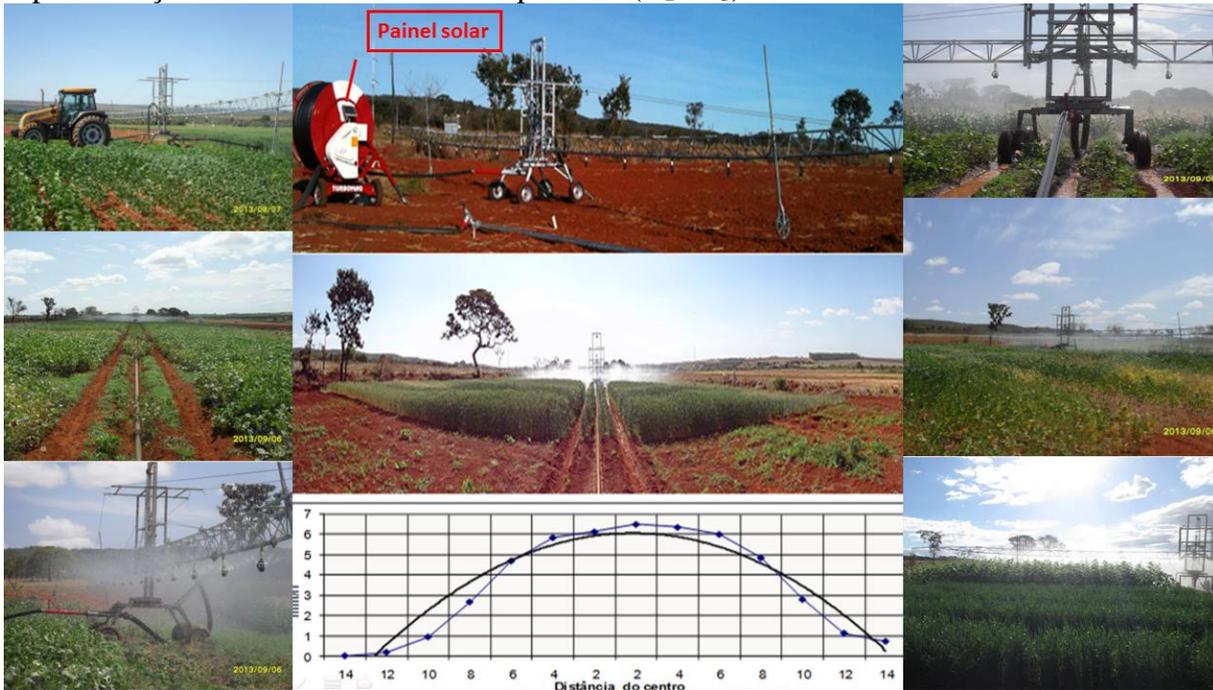


Figura 5.12A Sistema de irrigação. (voltar ao texto: 1, 2, 3)

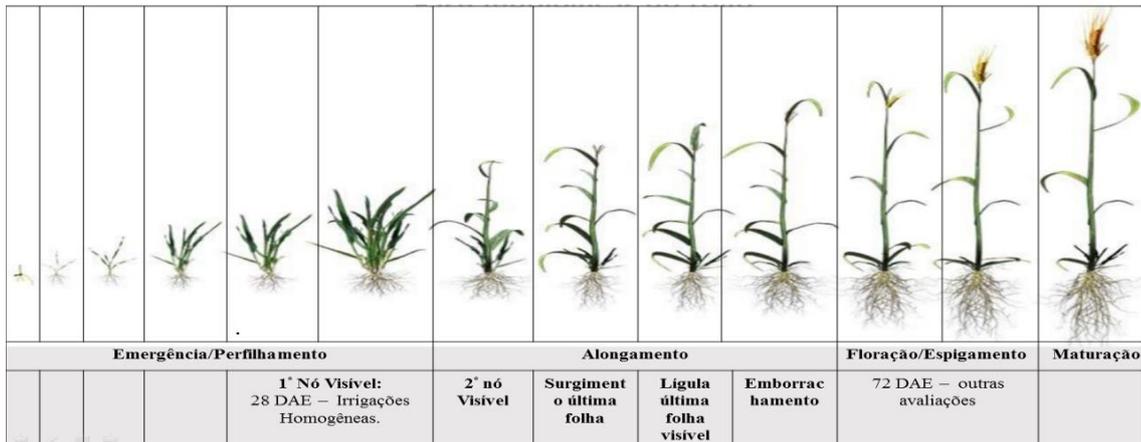


Figura 5.13 A Fases fenológicas e avaliações realizadas na cultura do trigo.

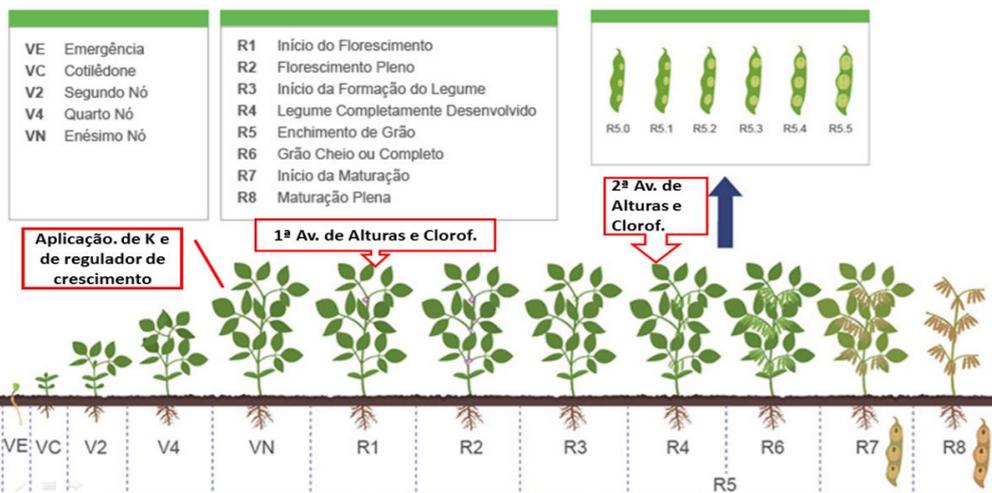


Figura 5.14A Fases fenológicas e avaliações realizadas na cultura da soja. (voltar ao texto: 1, 2).



Figura 5.15A Manejos e análises em geral. (voltar ao texto: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13).



Figura 5.16A Análise de prolina. (voltar ao texto: 1, 2, 3)



Figura 5.17A Efeito do regulador de crescimento na cultura da soja. O Trinexapac-ethyl promoveu alongamento na região apical na cultura da soja (duas fotos superiores à esquerda). (voltar ao texto: 1, 2).