



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



EDILSON RAMOS GOMES

**APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA
EM ESPÉCIES DE INTERESSE AGRONÔMICO**

Botucatu

2016

EDILSON RAMOS GOMES

**APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA
EM ESPÉCIES DE INTERESSE AGRONÔMICO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. Fernando Broetto

Botucatu

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
- UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G633a Gomes, Edilson Ramos, 1985-
Aplicação de água residuária e deficiência hídrica em
espécies de interesse agrônômico / Edilson Ramos Gomes. -
Botucatu : [s.n.], 2016
157 p. : fots. color., grafs. color., ils. color.,
tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Fa-
culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Fernando Broetto
Inclui bibliografia

1. Feijão - Irrigação. 2. Soja - Irrigação. 3. Água -
Reuso. 4. Deficiência hídrica. 5. Bioestimulantes. I.
Broetto, Fernando. II. Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade
de Ciências Agrônômicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM ESPÉCIES DE INTERESSE AGRÔNOMICO

AUTOR: EDILSON RAMOS GOMES

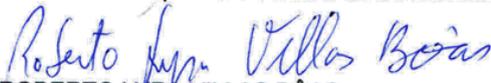
ORIENTADOR: FERNANDO BROETTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. FERNANDO BROETTO

Depto de Química e Bioquímica / Instituto de Biociências de Botucatu



Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Prof. Dr. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



DR. VALDEMÍCIO FERREIRA DE SOUSA

EMBRAPA



Prof. Dr. MARCELO LEONARDO

Depto de Desenvolvimento Rural / CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral

Botucatu, 08 de dezembro de 2016

*Aos meus pais, Severino Ramos Gomes e Leonice
Raimunda de Lima Gomes, pois sem eles não
existiria, pelo amor, cuidado, carinho, incentivo
e compreensão pela minha ausência em alguns
momentos da minha vida, dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde, força e determinação para enfrentar os obstáculos encontrados durante essa jornada, com os quais venho aprendendo e amadurecendo profissionalmente.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/UNESP) e ao Departamento de Engenharia Rural, pela oportunidade de realização do curso e qualificação profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos meus pais, Severino Ramos Gomes e Leonice Raimunda de Lima Gomes, pelo carinho, incentivo, amor e entusiasmo.

À minha noiva, Lígia Renata Almeida da Silva, pelo amor, companheirismo e incentivo. Aos meus irmãos, Vanilson Ramos Gomes e José Edson de Lima Gomes, pelo apoio e motivação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Broetto, pelos momentos de alegria, apoio, ensinamentos, atenção e dedicação, além da minha grande admiração pelo profissionalismo e visão de trabalho em grupo.

Aos Professores Dr. Roberto Lyra V. Bôas, João Carlos Cury Saad, Antônio de Pádua Sousa, Antônio Evaldo Klar e Rodrigo Máximo Sánchez Román pela atenção em todos os momentos em que foram solicitados esclarecimentos ou sugestões dentre outros.

Ao Prof. Dr. Pedro de Magalhães Padilha e a Prof^a. Luciene Maura Mascarini Serra pelo apoio na pesquisa e disponibilização dos seus laboratório para realização das análises de água.

Ao Dr. Valdemicio Ferreira de Sousa pelo incentivo, exemplo de profissional, caráter e comprometimento com as pessoas.

As empresas Acadian Seaplants Limited e Rain Bird Brasil Ltda (José Giacoia Neto) pelo o apoio na pesquisa.

Aos amigos e colegas do Departamento de Engenharia Rural e Laboratório, Dayanne Bressan, Diogo Capelin, João Queluz, Renata Coscolin, Marcos Bettini, Enrique Alonso, Luz Maria, Jéssica de Lima, Jessica Malheiros, João Victor, Natália Soares, Ricardo Favan, Cristiane Pieri e Cristiana Araújo e pelos momentos de descontração e apoio para que eu pudesse seguir na minha jornada.

Aos funcionários, Gilberto Winckler, Sérgio Theodoro Pinto, José Carlos Coelho, Rafaela, Adriana Ramos e aos funcionários da biblioteca pelo carinho, competência e eficiência quando solicitados.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que este objetivo fosse alcançado.

RESUMO

A deficiência hídrica é o principal fator limitante a produção agrícola, causando grandes impactos econômicos em regiões de clima seco ou semiárido. A baixa disponibilidade de água potável nestas regiões tem afetado a produção das culturas, bem como aumentado os níveis de elementos tóxicos para as plantas. Com a limitação dos recursos hídricos há necessidade de melhorias no gerenciamento e aplicação desse insumo de forma a garantir a biodiversidade, independente do bioma. Assim é imprescindível a busca de alternativas para minimizar a dependência do uso da água potável em sistemas de irrigação. O aproveitamento de águas residuárias na agricultura pode ser uma alternativa viável a indisponibilidade de água para irrigação, além dos benefícios adicionais relativos à sua composição mineral. Entretanto, este recurso hídrico pode apresentar aspectos negativos como a provável concentração salina, o que pode desencadear efeitos estressantes sobre o desenvolvimento vegetal. O uso de bioativadores na agricultura, como por exemplo, o extrato de algas marinhas vem trazendo novas perspectivas na mitigação dos efeitos adversos de estresses ambientais. O objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos nutricionais, osmóticos e/ou salinos derivados do uso de água residuária nas culturas de feijão e da soja, bem como o efeito do uso de extratos de algas como bioativadores durante situações de estresse. Para tanto, monitorou-se os danos provocados pela deficiência hídrica no comportamento fisiológico das plantas. A utilização de extrato de algas durante o estabelecimento do estresse teve como objetivo mitigar os efeitos da deficiência hídrica nas culturas. Os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido, sendo que os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado sendo: T1: 100% necessidade hídrica da cultura (NHC - controle), T2: 50% NHC (deficiência moderada) T3: 25% NHC (deficiência severa) com água potável e T4: água residuária e nas sub parcelas com e sem extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*; produto comercial Acadian) com cinco repetições. O uso de água residuária alterou parâmetros fisiológicos além de interferir na produtividade das plantas. A utilização de extrato de algas juntamente com água residuária potencializou esses resultados. A água residuária promoveu alteração nos parâmetros de trocas gasosas, clorofila, solo e nutricional. A deficiência hídrica causou danos às culturas de forma a alterar sua fisiologia, biometria e produção, reforçando a importância do manejo adequado da irrigação. O uso de extrato de algas nos tratamentos com deficiência

hídrica se mostrou eficiente para as variáveis de potencial hídrico foliar, teor de água nas plantas, massa fresca e seca de caule e raiz.

Palavras-chave: Ambiente protegido. Bioestimulantes. Deficiência hídrica. Feijoeiro. Reuso de água. Soja.

ABSTRACT

Water deficiency is the main limiting factor for agricultural production, causing large economic impacts in regions with a dry or semi-arid climate. The low availability of drinking water in these regions has affected crop production as well as increased levels of toxic elements to plants. With the limitation of water resources there is a need for improvements in the management and application of this input in order to guarantee biodiversity, independent of the biome. Thus, it is imperative to search for alternatives to minimize dependence on the use of potable water in irrigation systems. The utilization of wastewater in agriculture can be a viable alternative to the unavailability of irrigation water, in addition to the additional benefits related to its mineral composition. However, this water resource may present negative aspects such as the probable saline concentration, which can trigger stressful effects on plant development. The use of bio-activators in agriculture, for example seaweed extract, has brought new perspectives in mitigating the adverse effects of environmental stresses. The objective of the present study was to evaluate the nutritional, osmotic and / or saline effects derived from the use of wastewater in the bean and soybean crops, as well as the effect of the use of seaweed extracts as bioactivators during stress situations. For this, the damage caused by the water deficiency in the physiological behavior of the plants was monitored. The use of seaweed extract during the establishment of stress had as objective to mitigate the effects of water deficiency in the cultures. The experiments were conducted in a protected environment, and treatments were arranged in a completely randomized design: T1: 100% water requirement of the culture (CRW - control), T2: 50% CRW (moderate deficiency) T3: 25% CRW (severe deficiency) with drinking water and T4: wastewater and in subplots with and without seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*; commercial product Acadian) with five replicates. The use of wastewater alter physiological parameters besides interfering in the productivity of the plants. The use of seaweed extract together with residual water enhanced these results. The wastewater promoted changes in the parameters of gas, chlorophyll, soil and nutritional changes. Water deficiency caused damage to crops in order to alter their physiology, biometrics and production, reinforcing the importance of proper irrigation management. The use of algae extract in the treatments with water deficiency was efficient for the variables of leaf water potential, water content in plants, fresh and dry mass of stem and root.

Keywords: Protected environment. Biostimulants. Water deficiency. Common bean. Soybean. Water reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista lateral da área experimental no Departamento de Química e Bioquímica em Botucatu-SP	41
Figura 2 - Déficit de pressão de vapor (DPV) para ensaio de feijão para os meses de junho/2015 a setembro/2015, em ambiente protegido, Botucatu-SP.....	42
Figura 3 - Déficit de pressão de vapor (DPV) para ensaio de soja para os meses de outubro/2015 a fevereiro/2016, em ambiente protegido, Botucatu-SP	43
Figura 4 - Semeadura do feijão cv. IAC Imperador (A) e (B) plantas aos 30 DAE em ambiente protegido, Botucatu-SP	44
Figura 5. Plântulas de soja cv. Pioneer 95Y21 (A) e (B) plantas aos 08 DAE após o desbaste em ambiente protegido, Botucatu-SP	44
Figura 6 - Fertirrigação com bomba injetora modelo Dosatron (A) e Fertilizantes N e K ₂ O (B).....	47
Figura 7 - Aplicação de 200 mL de extrato de alga <i>Ascophyllum nodosum</i> por vaso na cultura da soja (A) e na cultura do feijoeiro (B)	49
Figura 8 - Curva de retenção de água do solo para os ensaios de feijão e de soja .	50
Figura 9 - Localização da Estação de Tratamento de Esgotos na Fazenda Experimental Lageado-FCA/UNESP, Botucatu-SP	52
Figura 10 - Curva de classificação da areia em função da granulometria grossa linha tracejada e granulometria fina linha contínua.....	53
Figura 11 - Sistema de filtragem de água residuária por gravidade	54
Figura 12 - Esquema do ozonizador utilizado no processo de eliminação da carga microbiana na água residuária (A e B).....	54
Figura 13 - Sistema de tratamento secundário de água residuária	55
Figura 14 - Amostras coletadas para análise (A) e (B) ponto de coleta após tratamento secundário. ECTS, Efluente com tratamento secundário; ESTS, Efluente sem tratamento secundário.....	56
Figura 15 - Amostra de água residuária acondicionada em gelo (A) e (B) saco plástico estéril 125 mL	60
Figura 16 - Análise da contagem de ovos de helmintos na água residuária não tratada e tratada, (A) sedimentação em cálice de 500 e 250 mL, (B) Tubos falcon	

após centrifugação, (C) transferência de alíquota final para câmara de McMaster, (D) Observação no microscópio em objetivas de 10x e 40x ...	63
Figura 17 - Sistema de irrigação automático, (A) controlador e display de sensor, (B) gotejadores, (C) hidrômetros e válvulas solenoide.....	64
Figura 18 - Monitoramento do teor de água no solo com tensiômetro de punção (A) e (B) sensor de umidade e temperatura do solo	65
Figura 19 - Croqui do delineamento experimento utilizado nos dois ensaios.....	67
Figura 20 - Extração de solução do solo (A), vácuo aplicado (B) e (C) armazenamento da solução	68
Figura 21 - Sensor de Umidade do Solo SMRT-Y.....	69
Figura 22 - Retirada dos discos foliares de feijão e soja para análise do CRA	69
Figura 23 - Leitura do potencial hídrico foliar com a câmara de pressão tipo Scholander, (A) corte do pecíolo da folha, (B) fixação da folha e (C) leitura do ψ_{Hf}	70
Figura 24 - Densidade estomática em função dos tratamentos hídricos, coleta do material (A), corte da folha (B), aplicação do esmalte e fita adesiva (C) e contagem de estômato (D)	73
Figura 25 - Analisador infravermelho de gases (IRGA) na cultura do feijoeiro (A) e da soja (B)	74
Figura 26 - Teor de clorofila sob diferentes tratamentos na cultura do feijoeiro e da soja.....	76
Figura 27 - Atividade da nitrato redutase (A) e (B) infiltração à vácuo das amostras	79
Figura 28 - Temperatura do solo em função dos tratamentos hídricos água residuária (AR), água potável (C), Deficiência hídrica moderada (DHM) e deficiência hídrica severa (DHS) para o ensaio de feijão	82
Figura 29 - Temperatura do solo em função dos tratamentos hídricos água residuária (AR), água potável (C), Deficiência hídrica moderada (DHM) e deficiência hídrica severa (DHS) para o ensaio de soja	82
Figura 30 - Teor de água no solo (%) no ensaio de feijão (A) e ensaio da soja (B) em função dos tratamentos hídricos de água residuária (AR), controle (C), deficiência hídrica moderada (DHM) e deficiência hídrica severa DHS ...	84
Figura 31 - Condutividade elétrica (C.E) de solução do solo no ensaio de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e sem extrato de algas (Painel	

	esquerda) e com extrato de algas (Painel direita) em diferente épocas de avaliação.....	85
Figura 32 -	Potencial hidrogeniônico (pH) de solução do solo no ensaio de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e sem extrato de algas (Painel esquerda) e com extrato de algas (Painel direita) em diferente épocas de avaliação.....	86
Figura 33 -	Condutividade elétrica (C.E) de solução do solo no ensaio de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e sem extrato de algas (Painel esquerda) e com extrato de algas (Painel direita) em diferentes épocas de avaliação.....	86
Figura 34 -	Potencial hidrogeniônico (pH) de solução do solo no ensaio de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e sem extrato de algas (Painel esquerda) e com extrato de algas (Painel direita) em diferentes épocas de avaliação.....	87
Figura 35 -	Conteúdo relativo de água na planta (CRA) em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas (sem extrato de algas-S/A e com extrato de algas-C/A) para cada época de avaliação na cultura do feijoeiro	92
Figura 36 -	Conteúdo relativo de água na planta (CRA) em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas (sem extrato de algas-S/A e com extrato de algas-C/A) para cada época de avaliação na cultura da soja	93
Figura 37 -	Potencial hídrico foliar (Ψ_H) em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação na cultura do feijoeiro. As letras minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.....	94
Figura 38 -	Potencial hídrico foliar (Ψ_H) em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação na cultura da soja. As letras minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.....	95

- Figura 39 - Assimilação líquida de CO₂ (A) em plantas de feijoeiro (A e B) e Soja (C e D) em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação 119
- Figura 40 - Valores médios de proteína solúvel total (mg g⁻¹ MF) em folhas de feijoeiro sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas 131
- Figura 41 - Valores médios de proteína solúvel total (mg g⁻¹ MF) em folhas de soja sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas 132
- Figura 42 - Atividade da enzima superóxido dismutase SOD (UI µg proteína⁻¹) em folhas de feijoeiro sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas..... 133
- Figura 43 - Atividade da enzima superóxido dismutase SOD (UI µg proteína⁻¹) em folhas de soja sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas..... 134
- Figura 44 - Atividade da enzima catalase CAT (µKat µg proteína⁻¹) em folhas de feijoeiro sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas 135

- Figura 45 - Atividade da enzima catalase CAT ($\mu\text{Kat } \mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de soja sob defici\u00eancia h\u00eddrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes \u00e9pocas de avalia\u00e7\u00e3o. As letra min\u00fasculas representam os tratamentos h\u00eddricos e as mai\u00fasculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplica\u00e7\u00e3o de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas..... 136
- Figura 46 - Atividade da enzima peroxidase POX ($\mu\text{Kat } \mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de feijoeiro sob defici\u00eancia h\u00eddrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes \u00e9pocas de avalia\u00e7\u00e3o. As letra min\u00fasculas representam os tratamentos h\u00eddricos e as mai\u00fasculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplica\u00e7\u00e3o de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas..... 137
- Figura 47 - Atividade da enzima peroxidase POX ($\mu\text{Kat } \mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de soja sob defici\u00eancia h\u00eddrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes \u00e9pocas de avalia\u00e7\u00e3o. As letra min\u00fasculas representam os tratamentos h\u00eddricos e as mai\u00fasculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplica\u00e7\u00e3o de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas..... 138
- Figura 48 - Concentra\u00e7\u00e3o de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em folhas de feijoeiro sob defici\u00eancia h\u00eddrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes \u00e9pocas de avalia\u00e7\u00e3o. As letra min\u00fasculas representam os tratamentos h\u00eddricos e as mai\u00fasculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplica\u00e7\u00e3o de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas..... 139
- Figura 49 - Concentra\u00e7\u00e3o de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em folhas de soja sob defici\u00eancia h\u00eddrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes \u00e9pocas de avalia\u00e7\u00e3o. As letra min\u00fasculas representam os tratamentos h\u00eddricos e as mai\u00fasculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplica\u00e7\u00e3o de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas 140
- Figura 50 - Atividade da enzima nitrato redutase ($\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ MF) em folhas de feijoeiro sob defici\u00eancia h\u00eddrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes \u00e9pocas de avalia\u00e7\u00e3o. As letra min\u00fasculas representam os tratamentos h\u00eddricos e as mai\u00fasculas os tratamentos com e sem extrato de

algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas;
C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas 141

Figura 51 - Atividade da enzima nitrato redutase ($\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de soja sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas 142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do solo no início e final do ensaio de feijão.....	46
Tabela 2 - Caracterização física do solo no início e final do ensaio de feijão	46
Tabela 3 - Caracterização química do solo no início e final do ensaio de soja.....	46
Tabela 4 - Caracterização física do solo no início e final do ensaio de soja	47
Tabela 5 - Calendário de adubação de cobertura via fertirrigação, aplicado ao cultivo de feijoeiro	48
Tabela 6 - Calendário de adubação de cobertura via fertirrigação, aplicado ao cultivo de soja	48
Tabela 7 - Parâmetros do modelo de Van Genuchten para camada 0 a 0,20 m de solo	50
Tabela 8 - Qualidade físico-química da água potável, utilizada para irrigação nos ensaios	51
Tabela 9 - Análise físico-química da água residuária (*), com e sem tratamento secundário do efluente final, utilizada no ensaio 1 com feijoeiro	57
Tabela 10 - Análise físico-química da água residuária (*), com e sem tratamento secundário do efluente final, utilizada no ensaio 2 com soja	58
Tabela 11 - Análise de metais pesados presentes na água residuária, com e sem tratamento secundário do efluente final no ensaio 1 de feijão	59
Tabela 12 - Análise de metais pesados presentes na água residuária, com e sem tratamento secundário do efluente final no ensaio 2 de Soja	59
Tabela 13 - Análise microbiológica de água residuária tratada (sistema misto com filtro de areia seguido de ozonização) e não tratada dos ensaios de feijão e soja. A técnica utilizada para as contagens, foi a dos Tubos Múltiplos - Portaria do Ministério da Saúde, Nº 2.914 de 12/12/2011.....	61
Tabela 14 - Análise de macronutrientes da solução do solo para dos tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas no ensaio de feijão	89
Tabela 15 - Análise de micronutriente da solução do solo para os tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas no ensaio de feijão	89
Tabela 16 - Análise de macronutrientes da solução do solo para dos tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas no ensaio de soja	90
Tabela 17 - Análise de micronutriente da solução do solo para os tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas no ensaio de soja.....	90

Tabela 18 - Tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS) nos ensaios de feijão e soja, teor de água médio, lâminas aplicadas antes da diferenciação dos tratamentos (Inicial) e após a diferenciação dos tratamentos (Irrigação), lâmina de irrigação total no ciclo da cultura (Total) e número de irrigações no ciclo da cultura (NI).....	91
Tabela 19 - Análise biométrica da altura de plantas de feijoeiro em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	96
Tabela 20 - Análise biométrica da altura de planta de soja em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	97
Tabela 21 - Análise biométrica do diâmetro do caule do feijoeiro em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.	98
Tabela 22 - Análise biométrica do diâmetro do caule da soja em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	98
Tabela 23 - Análise biométrica do número de folhas do feijoeiro em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	99
Tabela 24. Análise biométrica do número de folhas da soja em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.	99
Tabela 25 - Determinação da área foliar total do feijoeiro em função dos tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	100
Tabela 26 - Determinação da área foliar total da soja em função dos tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	101
Tabela 27 - Biomassa fresca de folha do feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.....	102
Tabela 28 - Biomassa seca de folha do feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.....	102

Tabela 29 - Biomassa fresca de folha da soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	103
Tabela 30 - Biomassa seca de folha da soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	103
Tabela 31 - Biomassa fresca de caule do feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	104
Tabela 32 - Biomassa seca de caule do feijoeiro para os tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	104
Tabela 33 - Biomassa fresca de caule do soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	105
Tabela 34 - Biomassa seca de caule da soja para os tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	105
Tabela 35 - Biomassa fresca de raiz do feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	106
Tabela 36 - Biomassa seca de raiz do feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	106
Tabela 37 - Biomassa fresca de raiz da soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	107
Tabela 38. Biomassa seca de raiz da soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.	107
Tabela 39 - Biomassa seca total da planta de feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação....	108
Tabela 40 - Biomassa seca total da planta de soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.....	108
Tabela 41 - Área foliar específica (<i>SLA</i>) em folhas de feijoeiro para os tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	109
Tabela 42 - Área foliar específica (<i>SLA</i>) em folhas de soja para os tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação....	110
Tabela 43 - Taxa de superfície foliar (<i>LAR</i>) em folhas de feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	111

Tabela 44 - Taxa de superfície foliar (<i>LAR</i>) em folhas de soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	111
Tabela 45 - Fração da biomassa total (<i>LWR</i>) em folhas de feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	112
Tabela 46 - Fração da biomassa total (<i>LWR</i>) em folhas de soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	112
Tabela 47 - Densidade estomática (número de estômatos por mm ²) em folha de feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.....	113
Tabela 48 - Densidade estomática (número de estômatos por mm ²) em folha de soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	114
Tabela 49 - Densidade estomática (número de estômatos por mm ²) em folha de feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.....	114
Tabela 50 - Densidade estomática (número de estômatos por mm ²) em folha de soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação	115
Tabela 51 - Diagnose mineral do tecido foliar em função dos tratamentos hídricos e extrato de algas no ensaio de feijão	116
Tabela 52 - Diagnose mineral do tecido foliar em função dos tratamentos hídricos e extrato de algas no ensaio de soja	117
Tabela 53 - Índice nutricional de grãos de feijão em função dos tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS), com e sem extrato de algas (C/A e S/A)	118
Tabela 54 - Índice nutricional de grãos de soja em função dos tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS), com e sem extrato de algas (C/A e S/A)	118
Tabela 55 - Assimilação líquida de CO ₂ (<i>A</i>) em plantas de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação	120

Tabela 56 - Assimilação líquida de CO ₂ (<i>A</i>) em plantas de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação.....	120
Tabela 57 - Condutância estomática (<i>g_s</i>) em plantas de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação.....	121
Tabela 58 - Condutância estomática (<i>g_s</i>) em plantas de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação.....	121
Tabela 59 - Concentração intercelular de CO ₂ (<i>C_i</i>) em plantas de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação.....	122
Tabela 60 - Concentração intercelular de CO ₂ (<i>C_i</i>) em plantas de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação.....	123
Tabela 61 - Transpiração (<i>E</i>) em plantas de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação.....	123
Tabela 62 - Transpiração (<i>E</i>) em plantas de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação	124
Tabela 63 - Concentração de clorofila <i>a</i> em folhas de feijão para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas	125
Tabela 64 - Concentração de clorofila <i>a</i> em folhas de soja para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas.....	125
Tabela 65 - Concentração de clorofila <i>b</i> em folhas de feijão para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas	126
Tabela 66 - Concentração de clorofila <i>b</i> em folhas de soja para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas.....	126
Tabela 67 - Concentração de carotenoides em folhas de feijão para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas.	127
Tabela 68 - Concentração de carotenoides em folhas de soja para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas	127
Tabela 69 - Concentração total de clorofila em folhas de feijão para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas	128

Tabela 70 - Concentração total de clorofila em folhas de soja para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas.....	128
Tabela 71 - Índice relativo de clorofila em folhas de feijão para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas	129
Tabela 72 - Índice relativo de clorofila em folhas de soja para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas	129
Tabela 73 - Parâmetros de rendimento da cultura do feijão, comprimento de vagem (CV), diâmetro de vagem (DV), massa seca de vagem com grãos (MSVG) e massa de mil grãos (MMG) em função dos tratamentos	143
Tabela 74 - Parâmetros de rendimento da cultura da soja, comprimento de vagem (CV), diâmetro de vagem (DV), massa seca de vagem com grãos (MSVG) e massa de mil grãos (MMG) em função dos tratamentos	143
Tabela 75 - Índice de rendimento do feijoeiro, número de grãos por planta (NGP), número médio de grãos por vagem (NMGV); número médio de vagem por planta (NMVP) e produtividade kg ha ⁻¹ (PROD) em função dos tratamentos	144
Tabela 76 - Índice de rendimento da soja, número de grãos por planta (NGP), número médio de grãos por vagem (NMGV); número médio de vagem por planta (NMVP) e produtividade kg ha ⁻¹ (PROD) em função dos tratamentos ...	145

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	28
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	29
2.1 Culturas	29
2.1.1 Feijoeiro	29
2.1.2 Soja.....	31
2.2 Deficiência hídrica.....	32
2.3 Águas residuárias	34
2.4 Uso de extrato de algas na agricultura	36
2.5 Metabolismo vegetal.....	37
2.6 Salinidade	39
3 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 Localização da área experimental	40
3.2 Clima.....	41
3.3 Caracterização e condição experimental.....	41
3.3.1 Ambiente protegido.....	41
3.3.2 Planta.....	43
3.3.2.1 Ensaio 1: Feijão	43
3.3.2.2 Ensaio 2: Soja.....	44
3.3.3 Solo.....	45
3.3.3.1 Características química e física	45
3.3.3.2 Adubação.....	47
3.3.3.2.1 Feijão	47
3.3.3.2.2 Soja.....	48
3.3.3.3 Aplicação de extrato de algas.....	49
3.3.3.4 Curva de retenção de água do solo	49

3.3.4 Água	50
3.3.4.1 Água potável	50
3.3.4.2 Água residuária	52
3.3.5 Processo de filtragem e ozonização da água residuária	52
3.3.5.1 Filtragem	53
3.3.5.2 Ozonização	54
3.3.6 Diagnóstico físico-químico da água residuária	55
3.3.7 Análise microbiológica da água residuária	60
3.3.8 Contagem de ovos de helmintos na água residuária	61
3.3.9 Irrigação	63
3.3.9.1 Avaliação de uniformidade do sistema	64
3.3.9.2 Manejo de irrigação e monitoramento do teor de água no solo.....	64
3.4 Delineamento experimental.....	66
3.4.1 Tratamentos	66
3.5 Períodos de coletas.....	68
3.6 Parâmetros avaliados.....	68
3.6.1 Variáveis do solo	68
3.6.1.1 Extração de solução do solo	68
3.6.1.2 Teor de água e temperatura do solo	69
3.6.2 Relações hídricas	69
3.6.2.1 Conteúdo relativo de água (CRA)	69
3.6.2.2 Potencial hídrico	70
3.6.2 Avaliação de crescimento e de biomassa	70
3.6.2.1 Altura das plantas.....	71
3.6.2.2 Diâmetro do caule	71
3.6.2.3 Número de folhas	71

3.6.2.4 Área foliar	71
3.6.2.5 Biomassa vegetal.....	71
3.6.3 Índices de crescimento	71
3.6.4 Densidade estomática	72
3.6.5 Análise de nutrientes em tecido vegetal e grãos	73
3.6.5.1 Tecido vegetal.....	73
3.6.5.2 Grãos.....	73
3.6.6 Trocas gasosas e clorofila	74
3.6.6.1 Trocas gasosas: fotossíntese e condutância estomática.....	74
3.6.7 Teor de clorofila foliar	74
3.6.7.1 Índices relativos de clorofila (IRC)	75
3.6.7.2 Teor de pigmentos foliares (TPF)	75
3.6.8 Análises bioquímicas	76
3.6.8.1 Armazenamento do material vegetal	76
3.6.8.2 Obtenção do extrato bruto	76
3.6.8.3 Determinação do teor de proteína solúvel total	77
3.6.8.4 Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD; EC 1.15.1.1).....	77
3.6.8.5 Atividade da enzima catalase (CAT; EC. 1.11.1.6).....	77
3.6.8.6 Atividade da enzima peroxidase (POX; EC 1.11.1.7)	78
3.6.8.7 Determinação do teor de L-prolina.....	78
3.6.8.8 Determinação da atividade da enzima nitrato redutase	78
3.6.9 Parâmetros de rendimento da cultura.....	79
3.6.9.1 Número de vagens por planta (NVP).....	79
3.6.9.2 Comprimento e diâmetro de vagem.....	79
3.6.9.3 Número de grãos por vagem (NGV)	80
3.6.9.4 Número total de grãos por planta (NTGP)	80

3.6.9.5 Massa de mil grãos (MMG)	80
3.6.9.6 Massa de vagem com grãos (MVG).....	80
3.6.9.7 Produtividade	80
3.7 Análises estatísticas.....	81
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
4.1 Variáveis do solo	81
4.1.1 Teor de água e temperatura do solo	81
4.1.2 Extração de solução do solo	85
4.2 Relações hídricas.....	91
4.2.1. Conteúdo relativo de água (CRA)	91
4.2.2 Potencial hídrico foliar	94
4.3 Avaliação de crescimento e biomassa	96
4.3.1 Altura de plantas	96
4.3.2 Diâmetro de caule	97
4.3.3 Número de folhas	98
4.3.4 Área foliar	100
4.3.5 Biomassa fresca e seca de folha.....	101
4.3.6 Biomassa fresca e seca de caule.....	103
4.3.7 Biomassa fresca e seca de raízes.....	105
4.3.8 Biomassa seco total das plantas	107
4.4 Índices de crescimento.....	108
4.4.1 Área foliar específica.....	109
4.4.2 Taxa de superfície foliar	110
4.4.2 Fração da biomassa total	111
4.5 Densidade estomática	112
4.6 Análise de nutrientes em tecido vegetal e grãos	115

4.7 Trocas gasosas	119
4.7.1 Assimilação líquida de CO ₂ (A).....	119
4.7.2 Condutância estomática (gs)	120
4.7.3 Concentração intercelular de CO ₂ (Ci).....	122
4.7.4 Transpiração (E)	123
4.8 Teor de clorofila	124
4.8.1 Clorofila a.....	124
4.8.2 Clorofila b.....	125
4.8.3 Concentração de carotenoides	126
4.8.4 Clorofila total.....	128
4.8.5 Índice relativo de clorofila	129
4.8 Análises bioquímicas	130
4.8.1 Teor de proteína solúvel total (PST)	130
4.8.2 Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD; EC 1.15.1.1).....	132
4.8.3 Atividade da enzima catalase (CAT; EC.1.11.1.6).....	134
4.8.4 Atividade da enzima peroxidase (POX; EC 1.11.1.7)	136
4.8.5 Teor de L-prolina.....	138
4.8.6 Atividade da enzima nitrato redutase.....	140
5 Parâmetros de rendimento da cultura.....	142
6 CONCLUSÕES.....	145
REFERÊNCIAS	146

1 INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos continua crescendo em todo o mundo, as previsões de disponibilidade de água potável indicam crescente escassez e baixa qualidade deste recurso, o que exigirá uma melhor gestão e aproveitamento do mesmo para garantir diversidade biológica independentemente do ecossistema. Neste sentido, a produção de grãos poderá ser afetada nas próximas décadas em função da baixa disponibilidade dos recursos hídricos e maior nível de salinidade e alta concentração de alguns elementos tóxicos para as plantas.

Salienta-se que o feijoeiro é uma das principais culturas produzidas no Brasil e no mundo, onde sua importância excede o aspecto econômico, devido a sua importância nutricional, na culinária e na cultura de diversos países (SILVA et al. 2012). Um dos fatores primordiais para o sucesso produtivo da cultura é o suprimento hídrico ideal, fornecendo sua necessidade de acordo com os estádios fenológicos (KOBAYASHI et al. 2016).

Nota-se ainda que a produção de feijão, ocorre em alguns estados da região Nordeste, em duas safras, diferentemente da soja que é cultivada uma safra por ano. Essa dinâmica no sistema de cultivo afeta o preço desses produtos de forma regionalmente. Assim, o cultivo é dividido entre os meses de agosto a novembro para a safra do período de seca sob irrigação e nos meses de dezembro a abril para a safra de chuva. Esse sistema interfere no custo de produção regional em relação à nacional.

O feijão juntamente com o arroz, compõe a base alimentar do brasileiro e tomando-se por referência os dois produtos na safra 2014/15, onde o consumo deverá ser de 15,5 milhões de toneladas, ambos com grande importância nas políticas agrícolas e de abastecimento (CONAB, 2015). Assim como feijão, a soja apresenta grande valor agregado e é responsável por 57% da área cultivada em grãos do país, com projeção de crescimento de 3,4%, para a safra 2015/2016 (CONAB, 2015).

O consumo de grãos de soja representa cerca de 1% da produção mundial, no qual se destaca o farelo de soja, bastante utilizado na fabricação de ração animal, na nutrição de aves e bovinos, sendo que, seu principal aproveitamento é a produção de óleos e margarinas para o consumo humano (CONAB, 2015).

Esse incremento na produção de grãos se dar principalmente com o uso de tecnologia de irrigação. Nota-se que a obtenção de altos índices de produtividade está

atrelado ao bom manejo de irrigação e sistema de cultivo que juntamente fornecem uma estabilidade na produção (FLUMIGAN et al., 2015).

Com a limitação dos recursos hídricos disponíveis abriram-se precedentes sobre os cuidados a serem tomados à preservação desse bem. A má gestão da água tem provocado sérios danos ao meio ambiente, agravando-se ainda mais esta situação em regiões com baixa pluviosidade. Desta forma é previsível que durante os próximos anos, a água destinada para irrigação seja ainda mais escassa, o que certamente ocasionará impactos sobre a agricultura e a produção de alimentos.

O estudo da aplicação de água residuária como alternativa ao suprimento hídrico na produção agrícola é indispensável, pois tem a finalidade de determinar sua viabilidade e aproveitamento de seu valor nutricional para as plantas. As águas residuárias podem ser de origem industrial, urbana ou rural. O seu uso ainda é restrito no Brasil, devido à falta de legislação apropriada para seu uso agrícola. A utilização desse recurso como fonte de irrigação, pode trazer efeitos positivos e negativos ao desenvolvimento das culturas. O aspecto negativo seria a provável concentração salina, típica de águas residuárias de origem urbana. Entretanto, este tipo de recurso pode trazer benefícios às plantas, face sua composição mineral como, por exemplo, a presença de nitrogênio, potássio e fósforo.

Neste estudo, utilizou-se água residuária proveniente da área urbana de Botucatu (SP), com a finalidade de estudar seu impacto fisiológico para irrigar as culturas de feijão e soja. Paralelamente, estudou-se os efeitos da imposição de deficiência hídrica sobre as culturas. Além disso, estudou-se o efeito da aplicação de bioestimulantes (extrato de algas), visando a determinação de seus efeitos na mitigação da deficiência hídrica e/ou salinidade proveniente da água residuária sobre o metabolismo vegetal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os itens 2.1 a 2.6 exploram a literatura do tema abordado na pesquisa.

2.1 Culturas

2.1.1 Feijoeiro

Os maiores produtores mundiais de feijão são Myanmar, Índia, Brasil, China, Estados Unidos e México, os quais são responsáveis por cerca de 61% da produção

mundial. Em relação ao Mercosul, o Brasil é o principal produtor, com 3,1 milhões de toneladas, Argentina, com 350 mil toneladas, Paraguai, com 56 mil toneladas e Uruguai, com 3,5 mil toneladas (CONAB, 2015).

Mundialmente, o Brasil permanece entre os grandes produtores e consumidores de grãos de feijão. No mercado interno apresenta alta visibilidade, pois o feijão retrata uma importante fonte de proteína e ferro na alimentação da população, além da valor socioeconômico (AZEVEDO et al. 2015).

O Brasil apresenta maior consumo per capita de feijão em todo o mundo com 18,29 kg habitante ano⁻¹ (AGRIANUAL, 2013). Em relação às propriedades da cultura, o feijão carioca é uma planta anual herbácea de crescimento determinado ou não, trepadora ou não e ciclo de desenvolvimento curto, variando entre 65 a 100 dias de acordo com a região, época de plantio e cultivar (FANCELLI; NETO, 2007).

O feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.), pertencente à família Fabaceae é uma fonte rica de nutrientes e elementos essenciais a alimentação humana como: ferro, proteínas, cálcio, vitaminas do complexo B, carboidratos e fibras. Os grãos apresentam de 20 a 28% de proteínas, sendo bastante consumido na dieta humana em quase todo o mundo, com evidência para as Américas e leste do sul da África. Ainda que grande parte da produção seja originária da agricultura familiar, nota-se certo interesse dos grandes produtores, que apresentam maior poder aquisitivo e facilidade na aquisição de modernas tecnologias, o que tem colaborado para a ampliação da cultura nas regiões Norte e Nordeste, tal como, para as regiões Centro-Oeste e Sudeste, como cultivo de outono e inverno (CASTELLETTI; COSTA, 2013).

O feijoeiro é uma planta sensível a deficiência hídrica, especialmente pela baixa capacidade de recuperação que a planta apresenta quando submetida a restrição hídrica. Como nas demais espécies vegetais o feijoeiro apresenta exigência por água de acordo com o estágio de desenvolvimento, portanto, as condições ambientais, de solo, época de cultivo e cultivar devem apresentar características condizentes com o local a ser cultivado. A necessidade hídrica por ciclo da cultura varia de 300 a 500 mm para alcançar grandes produtividades (YAGI et al. 2015).

O nitrogênio (N) é o elemento mais requerido em quantidade pelo feijoeiro, sendo também um dos principais nutrientes absorvido pela planta (SORATTO et al. 2013). O N quando em baixos níveis, afeta o desenvolvimento da planta, o florescimento, enchimento de grãos e produção (SORATTO et al. 2013).

2.1.2 Soja

A soja (*Glycine max* L.) está entre as culturas mais importantes economicamente no mundo. É originária da Manchúria, na China e destaca-se pelo alto teor de proteína no grão, cerca de 40% e de óleo em torno de 20% (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2011). Esses componentes são aproveitados pela agroindústria para a fabricação de ração animal, óleo vegetal e pela indústria química como fonte alternativa de biocombustível e de alimentação humana na forma *in natura*, na Ásia Oriental (MISSÃO, 2006).

Para alcançar grandes produtividades, a soja necessita de uma disponibilidade hídrica em torno de 7 a 8 mm dia⁻¹ nos estádios de crescimento vegetativo e de enchimento de grão ou 450 a 800 mm ciclo⁻¹, com temperaturas variando entre 20 a 30 °C, boa radiação solar para o crescimento e produção (EMBRAPA, 2011). As condições ambientes (radiação solar, temperatura, nutrientes, concentração de CO₂ e disponibilidade de água) apresentam influência direta na fotossíntese das plantas que é verificado pela disposição fotossintética das folhas, na extensão de radiação solar, absorvida no dossel da planta (EGLI, 2010).

Um dos principais fatores responsável pela diminuição na germinação, vigor das sementes e plântulas é a ocorrência de deficiência hídrica (DH) nos plantios. Em condição de deficiência hídrica severa, as plantas são induzida a fechar os estômatos e com isso a assimilação líquida de CO₂ diminui de forma a prejudicar o processo fotossintético, portanto, quando ocorre DH de forma moderada, não há grande prejuízo nas reações fotossintéticas no cloroplasto (EGLI, 2010).

Os maiores produtores de soja na safra 2015/16 são Estados Unidos da América, com 106,59 milhões de toneladas, Brasil com 97 milhões de toneladas e Argentina, 57 milhões de toneladas. Esses países são responsáveis por 81,42% de toda produção mundial (CONAB, 2015).

Em 2014, o Brasil exportou cerca de US\$ 225,10 bilhões em produtos derivados de soja como: grãos, óleo e farelo de soja, que foram os principais produtos exportados em 2014, representando 14% de toda a exportação brasileira, ficando à frente de produtos como minérios, petróleo e combustíveis (CONAB, 2015).

No Brasil, nos últimos dez anos, ocorreu um incremento na safra de soja em torno 74,8%, aumento da área produtiva em 40,4% e produtividade de 24,5%. Portanto, destacam-se no cenário nacional os seguintes estados produtores: Mato Grosso, com 28,13 milhões de toneladas; Paraná, com 17,12 milhões de toneladas;

Rio Grande do Sul, com 14,79 milhões de toneladas e Goiás, com 8,75 milhões de toneladas para safra 2014/15 (CONAB, 2015).

A indústria brasileira processa cerca de 30,7 milhões de toneladas de soja por ano, onde, 5,8 milhões de toneladas são transformados em óleo vegetal e 23,5 milhões de toneladas de farelo proteico (ração animal), colaborando na produção de carnes, leite e ovos. Ao mesmo tempo, o grão e o farelo de soja brasileiro oferecem elevado teor de proteína e padrão de qualidade, consentindo a sua entrada nos mercados muito rigoroso como Japão e União Europeia (BOURSCHEIT, 2012).

2.2 Deficiência hídrica

A deficiência hídrica (DH) é uma dada disponibilidade de água para as plantas em nível aquele que a planta possa realizar suas funções fisiológicas. Um vegetal quando submetido ao longo período de estresse, apresenta propriedades adaptativas para a preservação do metabolismo e tecido celular da planta. Nota-se que os genótipos de feijoeiro tolerantes à DH exibiram potenciais hídricos foliares mais altos e sistemas radiculares bem desenvolvidos no perfil do solo, bem como maior área foliar, maior massa seca da parte aérea e boa produção, que os qualificam como genótipos tolerantes ao estresse hídrico (GUIMARÃES et al. 2011).

O impacto da DH sobre as plantas é cada vez mais alarmante, tanto em ambientes naturais como em ambientes de produção. Isto deve-se em função da necessidade de aumentar produção e ao impacto ambiental gerado pelas mudanças climáticas em relação a distribuição de chuvas. Faz-se necessário avaliar culturas tolerantes à DH, por meio de variáveis morfofisiológicas, hídrica e parâmetros osmóticos com a finalidade de gerar um banco de plantas tolerantes à DH severa (MELO et al. 2010; GUIMARÃES et al. 2011).

De acordo com MARTINS et al. (2010), a deficiência hídrica interfere no desenvolvimento das culturas agrícolas, fator esse relacionado com a redução do rendimento das culturas. Assim, plantas sob DH tem suas funções metabólicas afetada juntamente com o desenvolvimento vegetal em função da baixa disponibilidade de água no solo (LIMA et al. 2012).

Existem diversos fatores que dificultam o desenvolvimento e a estabilidade das culturas agrícolas. Dentre eles, a DH destaca-se como um elemento importante, pois

compromete drasticamente no rendimento das culturas e suas funções fisiológicas (ASHRAF, 2010).

A DH é o principal fator restritivo na obtenção de elevadas produtividades e produtos de alta qualidade, no entanto, o excesso de água também causa danos. Portanto, a irrigação das plantas no momento e quantidade adequada favorece a obtenção da máxima produção (MONTEIRO et al. 2010). O excesso ou a falta de água causam danos na fisiologia das plantas de forma a restringir suas funções metabólicas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Assim, é imprescindível a realização do manejo adequado da irrigação de forma à fornecer a quantidade de água no momento certo. A boa prática de irrigação pode garantir o desenvolvimento regular da planta, aumentando a produção, qualidade dos produtos e minimizando o consumo de água e custos de produção (TORRES et al. 2013).

As plantas se diferenciam quanto a DH, naquelas que são capazes de superar esse estresse ou tolerar essa deficiência e aquelas que apresentam reação negativa, consideradas suscetíveis (CHAKRABORTY et al. 2015). Assim, qualquer desequilíbrio que ocorra entre fatores como assimilação de CO₂, transpiração e morfologia das plantas podem sinalizar efeitos causados pela DH, provocando com isso, danos superficiais, ou até mesmo irreversíveis à fisiologia da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013; SCHOPPACH; SADOK, 2012). Um dos maiores desafios para a agricultura atual, é adaptar as plantas à condições de estresse adversos (LIZAMA et al. 2006).

A redução na assimilação de CO₂ é um dos principais efeitos da deficiência da água no solo, em que, mesmo com uma deficiência hídrica moderada, ocorre o fechamento dos estômatos (CHAVES e OLIVEIRA, 2004). Outro dano também provocado pela DH é a degradação das clorofilas. Sabe-se que a clorofila (a, b e carotenoides) constitui os pigmentos acessórios, que desempenham importante função nas reações fotoquímicas, sendo essenciais na fotoproteção das células da planta, pois a DH desregula inúmeros processos celulares, como na expansão celular e provocando danos a diversos elementos celulares, dentre eles, os lipídeos (STREIT et al. 2005; TAIZ; ZEIGER, 2009; SILVA et al. 2014).

Contudo, existem mecanismos das plantas que reduzem e minimizam esses efeitos provocados por essa falta de água, são os chamados, mecanismos de tolerância, por exemplo, a redução do potencial osmótico, em resposta ao déficit (MORANDO et al. 2014); ativação dos canais na membrana celular, alterando a

conformação e justaposição de proteínas responsáveis pela percepção do estresse (YAMAGUCHI-SHINOZAKI et al. 2002); a condutância estomática é mútua à resistência estomática e varia em função do processo difusivo da transpiração, assimilação fotossintética do mesófilo e abertura estomática (LAWLOR; TEZARA, 2009), e mais recente a identificação de genes de referência para análise de expressão de tolerância a estresse hídrico (STOLF-MOREIRA et al. 2011), entre outros.

Souza e Lima (2010), observaram que a restrição hídrica em feijoeiro prejudica principalmente a fase vegetativa e promove a redução do número de vagens por planta e o número de grãos por vagem.

Na cultura da soja, a disponibilidade de água interfere desde a germinação, até a formação dos grãos (FARIAS et al. 2009). A deficiência hídrica expõem a planta a estresses ambientais no decorrer do seu ciclo (ALBRECHT, 2008). A CONAB (2012) descreve que durante o período de seca nos estados produtores brasileiros, houve perda de até 43,8% (5,09 milhões de toneladas) no Rio Grande do Sul, podendo-se afirmar que tal fato atribui-se a sensibilidade da cultura a DH. A fixação biológica de nitrogênio, na soja, é um fator de grande destaque que também é comprometido pela DH, pois quase 14% do carbono absorvido é utilizado para as bactérias diazotróficas converter em compostos nitrogenados (KASCHUK et al. 2010).

2.3 Águas residuárias

A água é um insumo limitante para o desenvolvimento e evolução das plantas. Após sua absorção pelas plantas é utilizada durante o processo fotossintético, sendo que parte se perde durante a transpiração. Na forma líquida, permite a difusão e fluxo de massa de solutos tornando-se essencial para o transporte e distribuição de nutrientes e metabólitos, além disso, exerce importantes funções no protoplasma e na parede celular, mantendo a turgescência nos órgãos das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O Brasil é um país que apresenta boa disponibilidade hídrica em seu território, onde estão situadas grandes reservas de água do planeta. Contudo, a distância entre as bacias hidrográficas dos centros urbanos, faz com que esse recurso seja mal aproveitado. Deste modo, o uso eficiente da água é indispensável e necessário para manutenção do ambiente. O crescimento populacional em regiões de baixa

disponibilidade hídrica, contaminações de mancais, ineficiência na distribuição, má gerenciamento dos recursos hídricos e zonas com épocas de estiagem prolongadas tornou-se um condição limitante. O fornecimento da água com qualidade, preservação ambiental e desenvolvimento sustentável, induz a buscar alternativas para o uso racional dos recursos hídricos (HESPANHOL, 2015).

Uma das alternativas para minimizar a escassez da água seria o aproveitamento de águas residuárias, previamente tratadas para fins agrícolas. De acordo com Mancuso e Santos (2003), a água residuária proporciona benefícios econômicos para fins agrícolas como redução de lançamento de esgoto em corpos de água, alta carga de nutrientes do efluente, conservação do solo, maior acúmulo de matéria orgânica, dentre outros.

Na linha de tratamento de água residuária, múltiplos métodos efetivos e seguros de desinfestação de esgoto que são usados para remoção de microrganismos patogênicos. A ozonização é um dos métodos artificiais químicos mais efetivos no extermínio de bactérias. Contudo, este procedimento de acordo com Bressan et al. (2012), oferece algumas desvantagens por ser um procedimento mais complexo do que ao processo de cloração habitual utilizados nas Estações de Tratamentos de Esgoto (ETE).

A água residuária previamente tratada é rica em nutrientes básicos para o crescimento e desenvolvimento das plantas, destacando-se os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio e outros elementos como: As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn, sendo que alguns destes são imprescindíveis ao crescimento e outros potencialmente tóxicos (LEAL et al. 2010).

A utilização da água residuária em um sistema de irrigação fechado pode ser empregado na produção de grãos, frutas, plantas medicinais e outros tipos de alimentos por conter boa quantidade de nutrientes, porém, existe um certo risco de contaminação (CAMARA, 2012).

Segundo Leal et al. (2010), a água residuária além de suprir parcialmente a adubação nitrogenada mineral, pode proporcionar a elevação da produtividade das culturas. Entretanto, dependendo da origem e das propriedades do efluente (doméstico ou industrial), quando a técnica de irrigação é empregada por extensos períodos, pode haver acúmulo de compostos, minerais, tóxicos, orgânicos, inorgânicos e até mesmo salinizando o solo (HESPANHOL, 2015). No entanto, quando a água residuária for previamente tratada possibilita seu uso na irrigação de

plantas sem maiores riscos. Contudo, é importante considerar a origem desta água, pois deve ser de origem principalmente doméstica, que na maior parte das vezes oferecem baixos teores de metais pesados, complexos orgânicos e fitotóxicos (BAÑON et al. 2011).

2.4 Uso de extrato de algas na agricultura

As algas marinhas são estruturas autotróficas, avasculares e que podem ser unicelulares ou pluricelulares. Entre elas, *Ascophyllum nodosum* destaca-se por sua utilização na agricultura (GUIRY; GUIRY, 2014). O uso de extrato de algas em plantas proporciona alguns benefícios como: tolerância a estresses abióticos (como seca e salinidade), bióticos, melhor formação raízes laterais e pelos absorventes e desenvolvimento vegetativo (SHARMA et al. 2014).

A utilização de extratos de algas em diversos cultivos no Brasil, especificamente em algumas hortaliças, feijoeiro, soja, trigo, batata, tomate, citros, cafeeiro entre outros, propiciou maior desenvolvimento de plantas e aumento da produtividade em relação as que não receberam aplicações do extrato de algas. O mesmo foi observado que quando submeteu-se plantas de cafeeiro a DH, as maiores produtividade foram registadas para as plantas não irrigadas e aquelas irrigadas que receberam aplicação de extrato de algas *Ascophyllum nodosum* (OLIVEIRA et al. 2011; FERNANDES et al. 2014).

Em estudos de tolerância a deficiência hídrica em mudas de laranja notou-se um maior desenvolvimento e maior resistência das mudas que receberam extrato de algas. Tal resultado pode estar ligado ao sistema radicular das plantas que se desenvolveu melhor, a concentração de compostos de defesa, ao equilíbrio osmótico e a regulação da condutância estomática (SPANN; LITTLE, 2011).

O emprego de extrato de algas marinhas apresentam indícios de que as plantas que recebem o composto apresentam maior resistência ao estresse salino e hídrico, e que estão relacionados aos mecanismos de vigor natural dos vegetais (JITESH et al, 2012). Já em relação aos efeitos bioquímicos de acordo com Carvalho et al. (2014), nota-se que as plantas sob DH, que recebem extrato de algas ocorre a concentração de L-prolina em feijoeiro. Nair et al. (2012) também observaram maior acúmulo e síntese de L-prolina, betaínas e glicinas nas plantas sob estresses que receberam extratos de algas.

O uso de *Ascophyllum nodosum* na irrigação de plantas trazem alguns benéficos como: induz a resistência, tolerância ao estresse salino, maior capacidade de retenção de água, desenvolvimento vegetativo, menor degradação de clorofilas e produtividade (KUMAR, 2014).

Entre os diferentes tipos de algas a *Ascophyllum nodosum* está entre as espécies de algas marinhas, usualmente empregadas como indutor de resistência de planta, proporcionando as seguintes características: aminoácidos (prolina, alanina, glicina, triptofano e valina), matéria orgânica, carboidratos e concentração de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Cu e Zn), hormônios de crescimento (giberélicas, auxinas, ácido abscísico, citocininas), elicitores de resistência e auxilia no transporte de micronutrientes. O produto (extrato de alga) é comercializado como fertilizante organomineral como estabilizante da formulação (ACADIAN, 2009; RODRIGUES, 2008).

A utilização de produtos a partir de *A. nodosum* visa a obtenção de maior produtividade comercial e pegamento dos frutos em vários cultivos. Esses resultados são avaliados, especialmente, no fortalecimento da estrutura de vegetais (refinamento da ação dos insumos; promove aumento no vigor da planta, resistência ao estresse e melhor qualidade no produto final) e incremento no desenvolvimento de raízes laterais saudáveis.

2.5 Metabolismo vegetal

As diferentes mudanças no meio ambiente tem induzido as plantas a adaptações, de forma a manter o equilíbrio homeostático celular. O equilíbrio celular representa o condição em que se encontra a célula ou a planta. Contudo, em situações naturais, as plantas apresentam estruturas que mantêm as espécies reativas de oxigênio (ERO) em condições reduzidas (SCANDALIOS, 2005). No processo fotossintético, os níveis internos de oxigênio são mais elevados, ocasionando a probabilidade de acréscimo na produção de ERO (MILLER et al. 2010).

As espécies reativas de oxigênio (EROs) causam danos celulares, oxidação de lipídios e proteínas, rompimento na cadeia do DNA, podendo induzir a morte das células (AGUIRRE et al. 2005). O procedimento de oxidação ocorre especialmente em membranas, alterando de forma imediata, a permeabilidade seletiva e o fluxo de

íons (ALSCHER et al. 1997). De acordo com a espécie, as plantas podem oferecer um sistema eficaz para controlar a atuação deletéria dos radicais livres.

As EROs são capazes de agir como sinalizadores que acionam múltiplas defesas na planta (SOARES; MACHADO, 2007). De acordo com Miller et al. (2010), a concentração de H_2O_2 está correlacionado com aclimatação das plantas, bem como a tonificação celular, sendo imprescindível para a biossíntese de lignina.

FELIPE et al. (2009) e MILLER et al. (2010), quando ocorre a superprodução das EROs, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), para prevenir a destruição celular, mecanismos antioxidativos são acionados, como exemplo, a síntese de enzimas antioxidativas, dentre elas a ascorbato peroxidase (APX, E.C. 1.11.1.11), superóxido dismutase (SOD, E.C. 1.15.1.1), peroxidase (POX E.C 1.11.1.7) e catalase (CAT, E.C. 1.11.1.6).

A superóxido dismutase (SOD) é catalisadora da formação do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) pela a dismutação de $O_2^{\circ-}$ a H_2O_2 e O_2 , exercendo o papel eminente no sistema de defesa antioxidante. Já a catalase (CAT) desempenha a função de degradar o H_2O_2 gerado nos peroxissomos durante a fotorrespiração, procedendo em água e oxigênio estável (OZIEMBLOWSKI et al. 2013). Entre as enzimas degradantes de H_2O_2 , a catalase é a única que não utiliza equivalentes redutores da célula e que tem uma estrutura eficiente para a remoção do H_2O_2 formado em condição de estresse (SCANDALIOS, 2005).

Em estudos com salinidade e estresse hídrico em plantas observou-se que ocorre a produção de ERO na forma de H_2O_2 , que em menores concentrações, induzem aumento na ação da enzima catalase em diferentes culturas. Nota-se que as plantas em condições de estresse hídrico super-expressão a atividade da SOD em respostas aos fatores estressantes (BROETTO et al. 2002; OZIEMBLOWSKI et al. 2013).

No metabolismo primário, um aminoácido essencial é a L-prolina, que proporciona proteção para as plantas em situação de estresse. Pesquisas tem evidenciado o acúmulo de prolina em diferentes espécies de plantas em resposta aos múltiplos tipos de estresse ambiental (BOSE et al. 2014).

Segundo Szabados e Savoure (2010), plantas em condições de estresse hídrico e salino apresentam alterações no teor de prolina no tecido vegetal, que atua como um sinalizante na manifestação de genes específicos, onde, a concentração de prolina apresenta efeitos positivos na tolerância a diferentes espécies halófitas que são

capazes de absorver o cloreto de sódio. Os aminoácidos tem a função de ajuste osmótico e também na preservação das proteínas e das membranas. Uma característica da proteína é o efeito antioxidante que age na eliminação de ERO e na inibição do oxigênio singlete (MATYSIK et al. 2002).

2.6 Salinidade

Os solos salinos são comuns principalmente nas regiões semiáridas e áridas do Brasil e no mundo. Essas zonas apresentam baixo índice pluviométrico e quando associado a drenagem deficiente, favorece à formação de sais em alta concentração no solo (PEDROTTI et al. 2015). O solo quando apresenta grandes índices de sais na sua composição causa o comprometimento da germinação de sementes, assim como o impedimento na absorção de água e efeitos tóxicos quando absorvido altos níveis de Na^+ e Cl^- (SOARES et al. 2015).

Analisando o fator salinização, estima-se que cerca de 3,0 % de toda superfície terrestre apresenta índices de salinização, por procedimentos naturais intrínsecos ou em decorrência atividades antrópicas distribuídos nos continentes como a Ásia, América do Sul, Austrália e África (FAO 2011). No Brasil, o estado do Rio Grande do Sul, região do Pantanal Mato-grossense e a região semiárida do Nordeste apresentam zonas com solos salinos e sódicos (PEDROTTI et al. 2015).

A salinidade causa diferentes efeitos nas plantas como redução no crescimento das folhas, raízes, altura da planta, bem como diminuição na condutância estomática e fotossíntese. Pois os sais acumulam-se nos tecidos em desenvolvimento em concentrações que inibem o crescimento meristemáticos que é alimentado em grande parte pelo floema (TAIZ; ZEIGER, 2013).

No feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) a salinidade acima de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ causa redução nas dimensão do hipocótilo e radicular, ocasionando também redução da área foliar, bem como menor massa seca e estiolamento das folhas (XAVIER et al. 2014; AYERS; WESTCOTT, 1976). Tais sinais são idênticos ao provocado pelo estresse hídrico, isso ocorre porque em solo salino, o potencial mátrico será menor do que o potencial hídrico das células vegetais, nesse caso, por osmose, o feijoeiro perderá água para o solo. (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Alguns pesquisas tem verificado que o aumento da salinidade no solo muitas vezes é ocasionado em função da baixa qualidade da água de irrigação. Essa água

quando utilizada para irrigar plantas causam danos expressivos na formação de matéria seca, área foliar, taxa de assimilação líquida CO_2 , condutância estomática, transpiração, eficiência do uso de água e produtividade nas plantas (BARBIERI et al. 2014). No entanto, a cultura de soja tolera índice de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ aos efeitos da salinidade (AYERS; WESTCOTT, 1976).

De acordo com o nível de tolerância das plantas à salinidade no ambiente que vivem as plantas são classificadas em glicófitas e halófitas. As glicófitas são aquelas que não toleram a salinidade e não finalizam seu ciclo de vida, quando submetidas a altas concentrações de cloreto de sódio (até 40 mM). Já as plantas halófitas são aquelas que toleram altos níveis de salinidade (200 mM de NaCl ou mais) e mesmo assim completam o seu ciclo de vida (CHINNUSAMY; JAGENDORF; ZHU, 2005).

O estresse salino interfere no desenvolvimento e metabolismo vegetal em função do desequilíbrio nutricional ocasionado pelo excesso de sais absorvido e transportado pelas plantas (CAVALCANTE et al. 2010). Neste contexto, FARIAS et al. (2009) observaram que os teores de macronutrientes nas folhas e raízes reduzem em função de possível inibição antagonista destes nutrientes com a adição de cloreto de sódio presente no mesmo ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os itens 3.1 a 3.7 descrevem a metodologia utilizada na pesquisa.

3.1 Localização da área experimental

Os ensaios foram conduzidos no período de junho/2015 a fevereiro/2016 na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, no Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências-IB/UNESP, Campus de Botucatu-SP, em uma estufa agrícola com 63 m^2 e pé direito de 3 metros que encontra-se nas coordenadas geográficas $22^\circ 53' 42.4''$ de latitude Sul e $48^\circ 29' 36.6''$ de longitude Oeste e a 840 m de altitude (Figura 1).

Figura 1 - Vista lateral da área experimental no Departamento de Química e Bioquímica em Botucatu-SP



Fonte: Edilson R. Gomes

3.2 Clima

O clima segundo o método de Köppen para a região de Botucatu é classificado como temperado quente e úmido, com verão chuvoso, inverno seco e com precipitação média anual de 1.428 mm. As maiores precipitações pluviométricas ocorrem entre os meses de dezembro a fevereiro, a estação seca entre os meses de junho a agosto. A temperatura, no mês quente é superior a 23 °C e no mês frio menor que 17 °C, a umidade relativa do ar média anual é 75% e podendo chegar valores inferior 15% (GOMES et al. 2015).

3.3 Caracterização e condição experimental

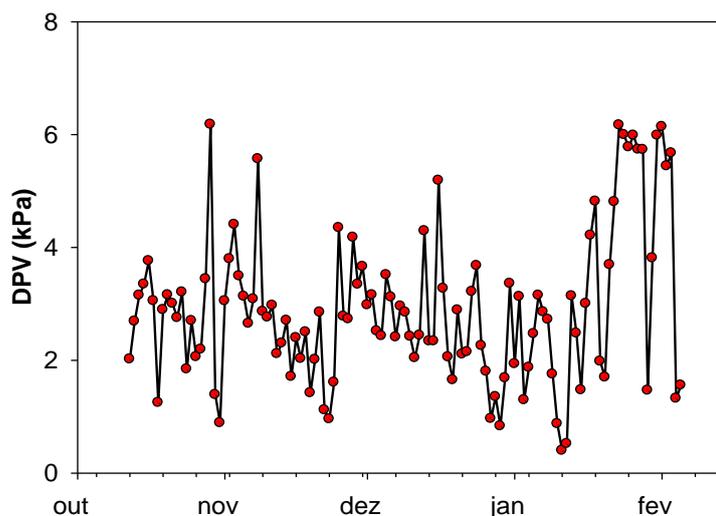
3.3.1 Ambiente protegido

O valores de temperatura e a umidade relativa do ar (UR) no ambiente protegido foram registrados por um *datalogger* localizado no centro da estufa agrícola a uma altura de 1,5 m do solo programado para realizar leitura a cada 30 minutos. Depois, calculou-se a pressão de saturação de vapor d'água no ar para a temperatura e pressão parcial de vapor de água para umidade relativa do ar (Equações 1 e 2). Posteriormente, determinou-se o déficit de pressão de vapor (DPV) para os dois ensaios (Equação 3), em que a diferença entre esses parâmetro descreve a capacidade de absorção de água do ar segundo Alvarenga et al. (2014) (Figura 2 e 3).

$$e_s = 0,6107 * 10^{(7,5 * T / 237,3 + T)} \quad (1)$$

No ensaio da soja, pode-se notar alguns picos no DPV para os meses de novembro, dezembro e fevereiro. No entanto, o maior DPV foi no mês de outubro de 2015 com valor de 6,18 kPa e o menor foi registrado para o mês de janeiro de 2016 com 0,87 kPa (Figura 3).

Figura 3 - Déficit de pressão de vapor (DPV) para ensaio de soja para os meses de outubro/2015 a fevereiro/2016, em ambiente protegido, Botucatu-SP



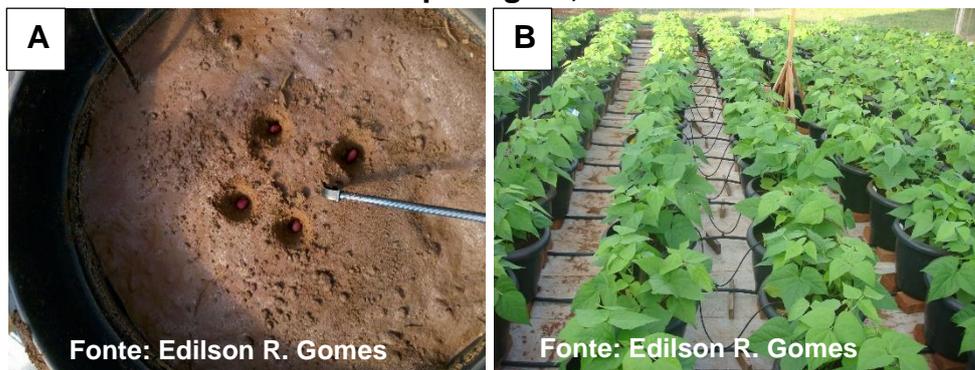
3.3.2 Planta

3.3.2.1 Ensaio 1: Feijão

O cultivo foi realizado entre 29 de junho a 26 de setembro de 2015, com feijão carioca da cv. IAC Imperador ciclo precoce de 90 dias. A cultivar apresenta resistência ao *Fusarium oxysporum*, patógeno da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), crescimento determinado e sensível a deficiência hídrica.

Antes da semeadura as sementes foram tratadas com Cruiser: 200 mL 100 kg⁻¹, Vitavax: 250 mL 100 kg⁻¹, Comal: 80 mL 100 kg⁻¹ e sem inoculação, em seguida semeou-se 4 sementes por vaso de 22 L a uma profundidade de 3 cm (Figura 4). Aos 7 dias após a emergência (DAE) realizou-se desbaste de plantas deixando-se duas por vaso. O solo foi mantido em capacidade de campo durante o estágio vegetativo da cultura e aos 35 DAE, quando cerca de 75% das plantas emitiram botão floral, iniciou-se os tratamentos propostos de deficiência hídrica.

Figura 4 - Semeadura do feijão cv. IAC Imperador (A) e (B) plantas aos 30 DAE em ambiente protegido, Botucatu-SP



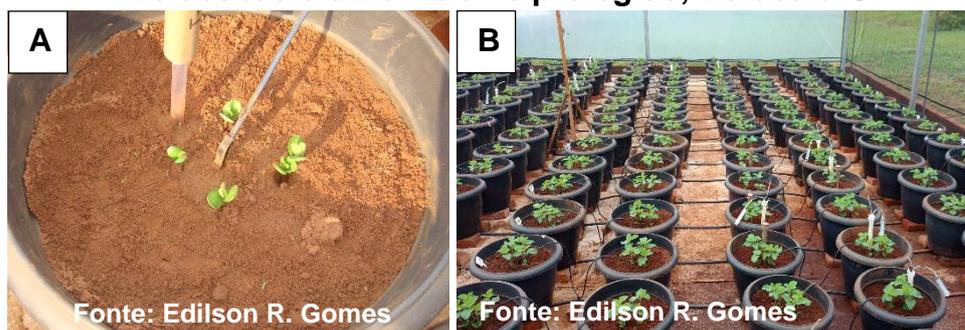
Para controle fitossanitário no feijão, realizou aplicação de Tiametoxam (1 g L^{-1}) e Chlorfenapyr ($0,5 \text{ mL L}^{-1}$) aos 09 DAE.

3.3.2.2 Ensaio 2: Soja

O plantio foi estabelecido entre 13 de outubro/2015 a 14 de fevereiro/2016 com soja da cultivar Pioneer 95Y21, com ciclo superprecoce de 110 dias. A cultivar apresenta tolerância ao herbicida glifosato, acamamento, resistência ao nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*), habito de crescimento indeterminado e sensível a deficiência hídrica. Antes da sementeira, as sementes foram tratadas com Cruiser: $200 \text{ mL } 100 \text{ kg}^{-1}$, Vitavax: $250 \text{ mL } 100 \text{ kg}^{-1}$ e Comal: $80 \text{ mL } 100 \text{ kg}^{-1}$. Inoculou-se as sementes com Masterfix: $100 \text{ g } 50 \text{ kg}^{-1}$, em seguida semeou-se 4 sementes por vasos de 22 L a uma profundidade de 3 cm.

Após 8 dias da emergência (DAE) realizou-se desbaste de plantas deixando-se duas plantas por vaso. O solo foi mantido em capacidade de campo durante o estágio vegetativo da cultura. Aos 35 DAE quando cerca de 75% das plantas haviam emitido o botão floral, iniciou-se os tratamentos com deficiência hídrica (Figura 5).

Figura 5. Plântulas de soja cv. Pioneer 95Y21 (A) e (B) plantas aos 08 DAE após o desbaste em ambiente protegido, Botucatu-SP



Para controle fitossanitário nas plantas de soja efetuou-se aplicação de Tiametoxam (1 g L^{-1}) e Chlorfenapyr ($0,5 \text{ mL L}^{-1}$) aos 10 DAE e uma aplicação de Mancozeb (1 g L^{-1}), Trifloxistrobina + Protioconazol ($0,5 \text{ mL L}^{-1}$) e Epoxiconazole + Piraclostrobina ($0,5 \text{ mL L}^{-1}$) aos 25 DAE.

3.3.3 Solo

3.3.3.1 Características química e física

O solo utilizado para os ensaios foi proveniente da Fazenda Experimental São Manuel (FCA/UNESP), classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa (EMBRAPA, 2013). Para as caracterizações química e física, (Tabela 1, 2, 3 e 4) coletou-se amostra composta de 20 pontos na camada de 0 - 0,20 m. Em seguida, a amostra de solo foi encaminhada ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP – Botucatu, SP, para a realização das análises.

Após o resultado da análise do solo, calculou-se a necessidade de calcário dolomítico (10 g vaso^{-1}) para elevar o V% a 70% e fertilizantes para atender à necessidade da cultura do feijoeiro e da soja conforme a recomendação de adubação de Aguiar et al. (2014).

Foi realizada a adubação apenas para solo dos tratamentos que foram irrigados com água potável. Já o solo do tratamento irrigado com água residuária, não recebeu fertilizante, pois a finalidade foi verificar em quanto a água residuária contribuí em nutrientes para o solo. Assim, aplicou-se apenas calcário para correção da acidez do solo.

Repetiu-se o processo de amostragem, análises química e física do solo ao final de cada ensaio, onde, coletou-se uma amostra composta (10 pontos) por tratamentos, para caracterização da fertilidade do solo.

Para os tratamento de DH houve acúmulo de fertilizante no solo em função da redução da irrigação nos ensaios de feijão e de soja.

Tabela 1 - Caracterização química do solo no início e final do ensaio de feijão

Trat.	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
	Ca Cl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³		
S/T	5,6	13	95	0,0	14,3	1,8	14	4,8	21	35	59	16,9
AR S/A	6,1	10	87	0,0	11,8	1,9	31	8,1	41	53	77	4,6
AR C/A	6,2	11	93	0,0	11,7	3,0	32	8,5	42	54	78	8,7
DH S/A	5,9	10	85	0,0	15,7	4,4	36	11,1	52	67	76	33,4
DH C/A	6,1	11	89	0,0	9,9	4,8	36	11,8	54	44	77	39,7

Trat.	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³				
S/T	0,2	1,3	59,8	4,9	2,2
AR S/A	0,2	1,3	34,6	11,1	4,5
AR C/A	0,2	1,2	34,2	14,3	5,5
DH S/A	0,3	1,1	33,3	13,3	5,7
DH C/A	0,2	1,1	33,1	10,0	4,7

Início do experimento: S/T: Sem tratamentos; Fim do experimento: AR C/A: Água Residuária com extrato de algas; AR S/A: Água Residuária sem extrato de algas; DH S/A: Controle e Deficiência Hídrica sem extrato de algas; DH C/A: Controle e Deficiência Hídrica com extrato de algas.

Tabela 2 - Caracterização física do solo no início e final do ensaio de feijão

Trat.	Areia			Argila	Silte	Umidade (%)	Textura
	Grossa	Fina	Total				
							g kg ⁻¹
S/T	----	----	855	85	60	----	Arenosa
AR S/A	----	----	876	46	78	----	Arenosa
AR C/A	----	----	871	96	33	----	Arenosa
DH S/A	----	----	886	42	72	----	Arenosa
DH C/A	----	----	882	35	83	----	Arenosa

Início do experimento: S/T: Sem tratamentos; Fim do experimento: AR C/A: Água Residuária com extrato de algas; AR S/A: Água Residuária sem extrato de algas; DH S/A: Controle e Deficiência Hídrica sem extrato de algas; DH C/A: Controle e Deficiência Hídrica com extrato de algas.

Tabela 3 - Caracterização química do solo no início e final do ensaio de soja

Trat.	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
	Ca Cl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³		
S/T	5,9	10	89	0,0	15	4,8	36,3	11,1	52	67	76	3,4
AR S/A	6,1	9	80	0,0	11	5,5	42	13,5	55	66	83	12,1
AR C/A	6,0	9	81	0,0	11	5,6	54	24,2	84	96	87	12,4
DH S/A	6,1	8	82	0,1	11	5,1	47	19,5	80	91	87	12,4
DH C/A	6,1	8	86	0,0	10	5,9	51	23,4	68	78	86	36,2

Trat.	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³				
S/T	0,3	1,1	33,3	13,3	5,7
AR S/A	0,2	1,3	41,7	8,0	5,5
AR C/A	0,4	1,2	44,2	12,7	5,9
DH S/A	0,3	1,1	39,4	10,5	5,7
DH C/A	0,3	1,3	37,8	11,2	6,2

Início do experimento: S/T: Sem tratamentos; Fim do experimento: AR C/A: Água Residuária com extrato de algas; AR S/A: Água Residuária sem extrato de algas; DH S/A: Controle e Deficiência Hídrica sem extrato de algas; DH C/A: Controle e Deficiência Hídrica com extrato de algas.

Tabela 4 - Caracterização física do solo no início e final do ensaio de soja

TRAT.	Areia			Argila	Silte	Umid. (%)	Textura
	Grossa	Fina	Total				
----- g kg ⁻¹ -----							
S/T	----	----	886	42	72	----	Arenosa
AR S/A	----	----	876	46	78	----	Arenosa
AR C/A	----	----	886	42	72	----	Arenosa
DH S/A	----	----	882	35	83	----	Arenosa
DH C/A	----	----	871	96	33	----	Arenosa

Início do experimento: S/T: Sem tratamentos; Fim do experimento: AR C/A: Água Residuária com extrato de algas; AR S/A: Água Residuária sem extrato de algas; DH S/A: Controle e Deficiência Hídrica sem extrato de algas; DH C/A: Controle e Deficiência Hídrica com extrato de algas.

3.3.3.2 Adubação

3.3.3.2.1 Feijão

Para o primeiro ensaio cultivou-se feijão e no plantio não houve necessidade de repor fertilizante, deste modo, realizou-se a calagem com 60 dias antes da semeadura. Com base na análise de solo da Tabela 1, observou-se que o solo apresentava elevada fertilidade. Portanto, foi realizado apenas uma suplementação de Nitrogênio (N) e Potássio (K₂O) via fertirrigação com o uso de uma bomba injetora de ação hidráulica por pistão modelo Dosatron (Figura 6).

Figura 6 - Fertirrigação com bomba injetora modelo Dosatron (A) e Fertilizantes N e K₂O (B)



A adubação de cobertura aplicou-se 222 kg ha⁻¹ de ureia e 83 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio branco seguindo a curva de absorção da cultura (Aguiar et al. 2014). O início da aplicação de fertilizante foi aos 18 dias após emergência conforme dados apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Calendário de adubação de cobertura via fertirrigação, aplicado ao cultivo de feijoeiro

DATA	DAE	N %	K ₂ O %	Uréia kg ha ⁻¹	KCl branco kg ha ⁻¹
14/07/15	18	8,0	4,0	17,76	3,32
21/07/15	25	10,0	5,0	22,20	4,15
28/07/15	32	25,0	13,0	55,50	10,79
04/08/15	39	25,0	15,0	55,50	12,45
11/08/15	46	10,0	25,0	22,20	20,75
18/08/15	53	10,0	20,0	22,20	16,60
25/08/15	60	8,0	10,0	17,76	8,30
01/09/15	67	4,0	8,0	8,88	6,64

DAE: dias após emergência.

3.3.3.2.2 Soja

No segundo ensaio (soja), utilizou-se o mesmo solo do primeiro ensaio(feijão), constatou-se que o solo estava com os índices de fertilidade aceitáveis, como observou-se na análise resumida na Tabela 3. Assim, realizou-se apenas adubação de cobertura via fertirrigação com N (ureia) e K₂O (KCl branco) com frequência de aplicação semanal, conforme a curva de absorção da cultura (Aguiar et al. 2014). Aplicou-se 200 kg ha⁻¹ de ureia e 41,5 kg ha⁻¹ de KCl branco, com início aos 17 dias após emergência conforme dados apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Calendário de adubação de cobertura via fertirrigação, aplicado ao cultivo de soja

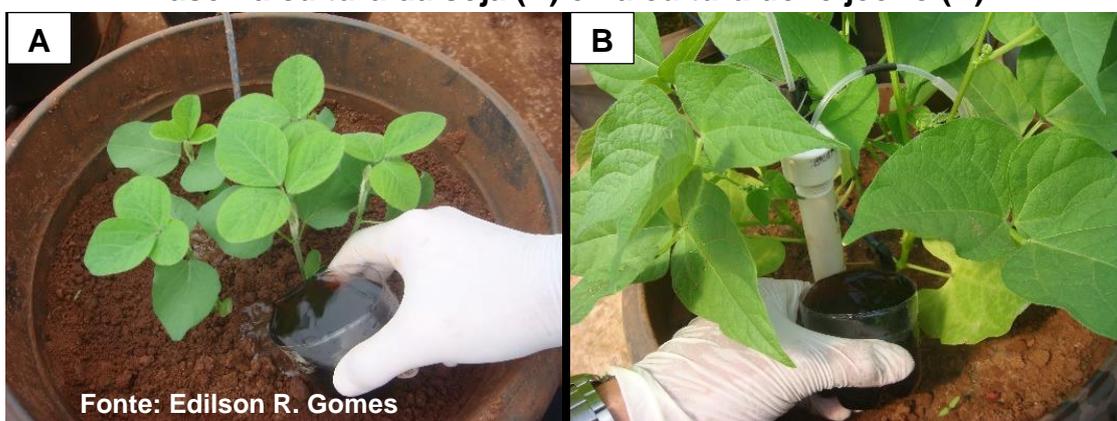
DATA	DAE	N %	K ₂ O %	Ureia kg ha ⁻¹	KCl Branco kg ha ⁻¹
05/11/2015	17	5,0	2,5	10,00	1,04
12/11/2015	24	5,0	2,5	10,00	1,04
19/11/2015	31	5,0	5,0	10,00	2,08
26/11/2015	38	7,5	10,0	15,00	4,15
03/12/2015	45	7,5	10,0	15,00	4,15
10/12/2015	52	10,0	12,5	20,00	5,19
17/12/2015	59	15,0	12,5	30,00	5,19
24/12/2015	66	15,0	17,5	30,00	7,26
31/12/2015	73	15,0	17,5	30,00	7,26
07/01/2016	80	15,0	10,0	30,00	4,15

DAE: dias após emergência.

3.3.3.3 Aplicação de extrato de algas

A aplicação do extrato de algas iniciou-se aos 15 DAE tanto para o ensaio de feijão quanto para o de soja. Utilizou-se uma concentração de 0,3% por litro de extrato solúvel concentrado de *Ascophyllum nodosum* (200 mL por vaso), com aplicação semanal (Figura 7), conforme recomendação comercial do fabricante, Acadian SeaPlants Ltd. Realizou a suspensão da aplicação do extrato de algas aos 75 DAE no ensaio de feijão e aos 100 DAE no ensaio de soja.

Figura 7 - Aplicação de 200 mL de extrato de alga *Ascophyllum nodosum* por vaso na cultura da soja (A) e na cultura do feijoeiro (B)



3.3.3.4 Curva de retenção de água do solo

Coletou-se duas amostras de solo na profundidade de 0,20 m, as quais foram encaminhadas para o Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP para obtenção da curva de retenção de água no solo. Utilizando-se o método da câmara de pressão de Richards, foi determinado o conteúdo de água no solo para os pontos 10, 30, 50, 100, 300, 500 e 1500 kPa.

Os pontos foram modelados no software SWRC versão 3.0 de Dourado Neto et al. (1995) para gerar os parâmetros de α , n , m , θ_r e θ_s (Tabela 7). Depois, para ajuste da curva de retenção aplicou-se o modelo proposto por Van Genuchten (1980), equação (4).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (|\Psi_m| * \alpha)^n]^m} \quad (4)$$

Em que:

θ - teor de água atual à base de volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_r - teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s - teor de água de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Ψ_m - potencial de água no solo (kPa);

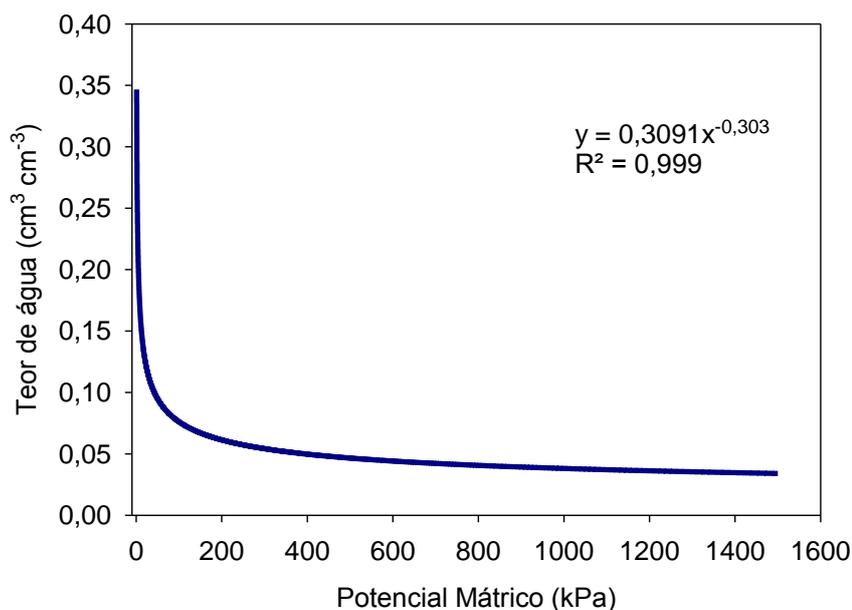
α - parâmetro de ajuste (cm^{-1});

m e n - parâmetros empíricos do modelo matemático.

Tabela 7 - Parâmetros do modelo de Van Genuchten para camada 0 a 0,20 m de solo

Camada (m)	θ_r ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	θ_s ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	α (cm^{-1})	m	n	ρ (g cm^{-3})
0 - 0,20	0,007	0,470	2,422	0,092	3,766	1,44

Figura 8 - Curva de retenção de água do solo para os ensaios de feijão e de soja



Após a obtenção da curva de retenção de água do solo, determinou-se o ponto de capacidade de campo. Para isso, saturou-se o solo e depois esperou-se o excedente parar de drenar. Em seguida, aguardou-se 48 h, coletou três amostras e determinou o conteúdo de água no solo presente para aquela situação. Depois correlacionou com a curva de retenção.

3.3.4 Água

3.3.4.1 Água potável

A água potável utilizada nos ensaios foi fornecida pela Estação de Tratamento de Água (ETA) de Botucatu-SP, coordenado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Apenas os tratamentos de deficiência hídrica receberam água potável com características físico-química apresentado na Tabela 8, após análise realizada no CEAQUIM – IBB/UNESP.

Em relação a qualidade da água para irrigação, foi classificada como C₁S₁ com baixa salinidade e teor de sódio presente na água (AYERS; WESTCOT, 1976). Assim, os índices estão dentro dos parâmetros de qualidade de água para uso na agricultura irrigada.

Tabela 8 - Qualidade físico-química da água potável, utilizada para irrigação nos ensaios

Parâmetros	Unidades	Resultado	VMP ¹ (NTA60)	VMP ² (DAEE)	VMP ³ (P2914)
Aspecto	-	Límpido	Nenhum	-	NO
Odor	-	NO	Nenhum	-	NO
Cor	mg Pt-Co L ⁻¹	0	30	15	15
Turbidez	NTU	0,40	10	5	5
Resíduo seco	mg L ⁻¹	108	500	-	1000
pH	-	6,65	5,0 a 10	6,0-9,5	6,0-9,5 ⁴
Alcalinidade	mg CaCO ₃ L ⁻¹	64,74	120	-	-
Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	34	200	300	300
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ L ⁻¹	22	75	150	150
Dureza de magnésio	mg CaCO ₃ L ⁻¹	10,08	75	150	150
Ferro	mg L ⁻¹	0,056	0,3	0,3	0,3
Cloreto	mg L ⁻¹	14,790	100	250	250
Sulfato	mg L ⁻¹	0,207	-	-	250
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,719	1	1,5	1,5
Condutividade Elétrica	µS cm ⁻¹	72,71	-	-	-
Fósforo total	mg L ⁻¹	0,768	-	-	-
Nitrato	mg L ⁻¹	0,018	1	-	-
Nitrito	mg L ⁻¹	0,174	10	-	-
Sódio	mg L ⁻¹	0,653	≤ 200,0	≤5,0	≤5,0
Cloro Residual Total	mg L ⁻¹	0,05	1	3	3
TOC	mg L ⁻¹	9,298	-	-	-

¹ VMP = Valor Máximo Permitido (NTA-60 Águas de Consumo Alimentar – Água de Fonte - Decreto Estadual No. 12.486, de 20/10/78); ²VMP = Valor Máximo Permitido (Anexo III, da Portaria DAEE No. 2.292 de 14/12/2006, retificado em 03/08/2012, São Paulo- SP – Parâmetros de análise Físico-química da Água Bruta – Padrões organolépticos da água bruta para consumo humano). ³VMP = Valor Máximo Permitido (Portaria No. 2914 de 12/12/2011 – Ministério da Saúde). ⁴ Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 (Portaria No. 2914); TOC: Carbono orgânico total.

3.3.4.2 Água residuária

A água residuária utilizada nos ensaios foi originária da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE-SABESP) localizada na Fazenda Experimental Lageado-FCA/UNESP, Botucatu-SP. A ETE recebe todo o esgoto doméstico da cidade o qual passa por sistema misto de tratamento composto por um desarenador, seguido de tanque de equalização, reator anaeróbico de fluxo ascendente e decantadores (Figura 9).

Após passar pelo sistema de tratamento primário o efluente tratado foi coletado seguindo os critérios do Decreto nº 10.755 de 22/11/1977 (enquadra-se sobre os corpos da água) e transportado em caminhão pipa até a área experimental no Departamento de Química e Bioquímica do IB/UNESP onde foi armazenado em reservatório de 3 mil litros. A classificação da água residuária para irrigação foi classificada como C₂S₁ com média salinidade e baixo teor de sódio presente na água (AYERS; WESTCOT, 1976).

Figura 9 - Localização da Estação de Tratamento de Esgotos na Fazenda Experimental Lageado-FCA/UNESP, Botucatu-SP



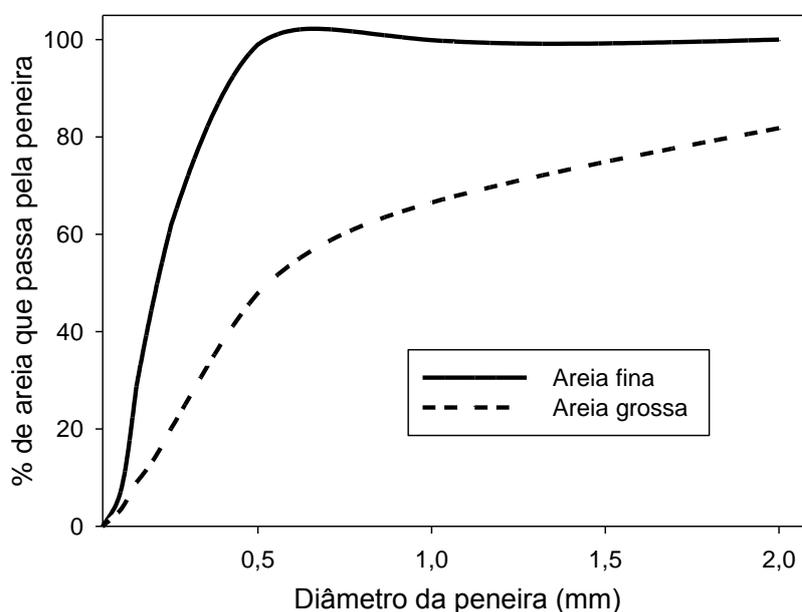
3.3.5 Processo de filtragem e ozonização da água residuária

3.3.5.1 Filtragem

O efluente do reservatório passou por filtro de areia de 0,20 m de diâmetro e 0,70 m de altura composto por uma coluna mista de areia com granulometria grossa e fina de 0,60 m, uma cama de 0,01 m de material esponjoso e por último uma camada de 0,09 m de brita nº 0. A finalidade deste fase foi à remoção física de ovos de helmintos remanescentes na água residuária, pois, o sistema convencional de tratamento de esgoto não remove estes ovos de parasitas (WHO, 2006).

Os dois tipos de areia utilizados na montagem do filtro foram encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo da FCA/UNESP e submetidas a peneiras com malhas de diâmetros de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25, 0,15, 0,106 e 0,053 mm. A areia fina (% de areia que passa pela peneira foram: 100, 99,9, 99, 61,9, 28,7, 7,5 e 00) para areia grossa (% de areia que passa pela peneira foram: 81,8, 66,5, 47,9, 20,1, 9,0, 3,5 e 0,0) e as areias foram classificação granulométrica como areia fina (Figura 10).

Figura 10 - Curva de classificação da areia em função da granulometria grossa linha tracejada e granulometria fina linha continua



O processo de filtragem da água residuária ocorreu por gravidade, com vazão de 1 L min^{-1} (Figura 10). A cada 1500 L de água que passava pelo o sistema de filtragem, realizava-se a troca de todos os componentes do filtro. A areia foi lavada em água corrente por 12 h, autoclavada, sendo os demais componentes apenas autoclavados.

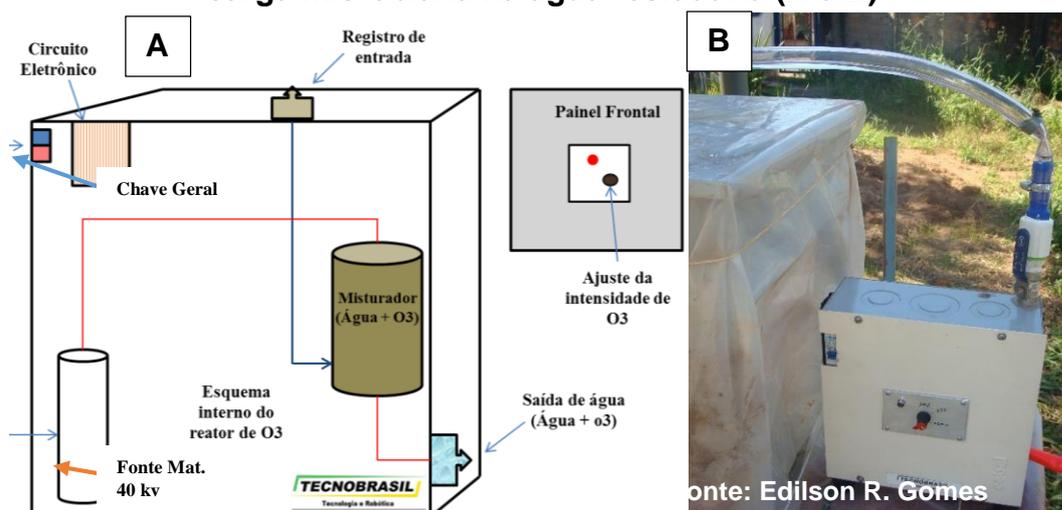
Figura 11 - Sistema de filtragem de água residuária por gravidade



3.3.5.2 Ozonização

Após a água residuária passar pelo filtro de areia, a mesma foi transferida via tubo até o tratamento final com reator de ozônio, produzido pela empresa TECNOBRASIL (Botucatu-SP), visando a eliminação da carga microbiana (Figura 12). O ozonizador processa uma vazão média de 1 L min^{-1} de água residuária, a qual foi armazenada em caixa de 1000 L.

Figura 12 - Esquema do ozonizador utilizado no processo de eliminação da carga microbiana na água residuária (A e B)



Todo o tratamento secundário consumia um tempo médio de 15 h, onde, o ozonizador estava ajustado com 100% de intensidade de liberação de ozônio (O_3) e o filtro com fluxo de 100% de água (Figura 13).

Ao final dos tratamentos, os parâmetros da água residuária para irrigação tinham que atender os critérios estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde, N° 2.914 de 12 de dezembro de 2011.

Figura 13 - Sistema de tratamento secundário de água residuária



3.3.6 Diagnóstico físico-químico da água residuária

Para a análise físico-química de água residuária, realizou-se 3 coletas (início, meio e fim) de cada ensaio, onde, dividia-se em duas amostras cada coleta, uma sem tratamento secundário (antes de passar pelo filtro de areia e ozonizador) e outro com tratamento secundário (após passar pela filtragem e ozonização) no local do experimento.

Coletou-se um volume de 2 L para cada amostra para análise de nutrientes e metais pesados (Figura 14). Em seguida, o efluente sem tratamento secundário (ESTS) e o efluente com tratamento secundário (ECTS) foram conduzidos para o CEAQUIM no Departamento de Química e Bioquímica do IB/UNESP para a realização das análises Físico-Químicas e metais pesados, baseado no protocolo do *Standard Method*. Os resultados estão resumidos nas Tabelas 9, 10, 11 e 12.

Figura 14 - Amostras coletadas para análise (A) e (B) ponto de coleta após tratamento secundário. ECTS, Efluente com tratamento secundário; ESTS, Efluente sem tratamento secundário

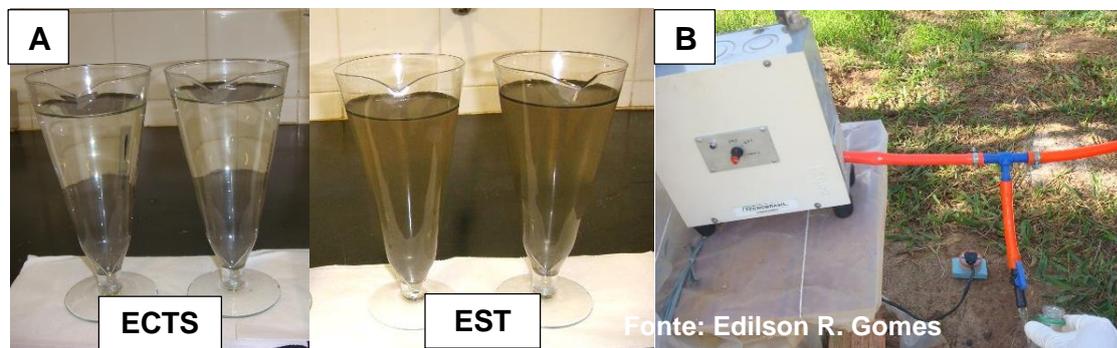


Tabela 9 - Análise físico-química da água residuária (*), com e sem tratamento secundário do efluente final, utilizada no ensaio 1 com feijoeiro

Parâmetros	Unidades	Resultado coleta 1		Resultado coleta 2		Resultado coleta 3	
		S.T.S	C.T.S	S.T.S	C.T.S	S.T.S	C.T.S
Aspecto	-	Amarelo	Amarelo	Am./Turva	Amarela	Esc. c/ precip.	Amarelada
Odor	-	Objetável	Objetável	Objetável	Objetável	Objetável	Objetável
Cor	Mg Pt-Col L ⁻¹	40,0	15,0	24,5	10,0	>70	10,0
Turbidez	NTU	8,78	2,77	3,04	1,04	7,44	1,44
pH	-	7,36	7,77	6,56	6,52	6,11	5,11
Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	68	60	56	50	82	68
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ L ⁻¹	58	50	34	26	34	32
Dureza de magnésio	mg CaCO ₃ L ⁻¹	33,6	28,4	30	20,2	40,32	30,24
Ferro	mg L ⁻¹	0,057	0,056	0,046	0,035	0,037	0,031
Cloreto	mg L ⁻¹	64,42	63,04	27,6	27,14	28,923	28,09
Sulfato	mg L ⁻¹	43,18	39,18	18	15,301	22,152	16,967
Fluoreto	mg L ⁻¹	1,22	0,76	2,74	0,337	0,253	0,292
Cond. Elétrica	µS cm ⁻¹	734,4	729,4	314,5	279,5	298,4	211,6
Fósforo total	mg L ⁻¹	21,5	19,8	20,04	18,06	17,03	16,44
Nitrato	mg L ⁻¹	25,9	20,1	26,3	23,6	27,51	25,52
Nitrito	mg L ⁻¹	2,22	2,1	3,1	2,1	2,2	1,365
TOC	mg L ⁻¹	19,1	19,1	17,44	32,06	9,507	8,216
TN	mg L ⁻¹	20	33,33	15	14,89	11,22	13,39
Óleos e graxas	mg L ⁻¹	11	4	4,6	5,1	3,9	61
DQO	mg L ⁻¹	31,84	27,15	0,426	ND	ND	0,272
Sulfeto	mg L ⁻¹	0,213	0,213	0,12	0,12	0,213	0,213
Sódio	mg L ⁻¹	2,138	2,048	2,018	1,945	2,03	1,943
Cloro Residual Total	mg L ⁻¹	0,41	0,07	0,04	0,03	0,0012	ND

STS: sem tratamento secundário; CTS: com tratamento secundário; (*) água coletada em Maio/2015); TOC= Carbono Orgânico Total (matéria orgânica); TN= Nitrogênio Total; DQO=Demanda Química de Oxigênio.

Tabela 10 - Análise físico-química da água residuária (*), com e sem tratamento secundário do efluente final, utilizada no ensaio 2 com soja

Parâmetros	Unidades	Resultado coleta 1		Resultado coleta 2		Resultado coleta 3	
		S.T.S	C.T.S	S.T.S	C.T.S	S.T.S	C.T.S
Aspecto	-	Am/Turva	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarela	Amarela
Odor	-	Objetável	Objetável	Objetável	Objetável	Objetável	Objetável
Cor	Mg Pt-Col L ⁻¹	30	20	40	15	20	10
Turbidez	NTU	19,5	7,05	20,2	1,4	31,2	0,88
pH	mg CaCO ₃ L ⁻¹	7,74	7,57	7,33	7,21	6,25	6,19
Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	58	60	60	58	86	72
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ L ⁻¹	34	56	41	40	68	38
Dureza de magnésio	mg L ⁻¹	20,16	5,04	15,96	15,12	15,12	28,56
Ferro	mg L ⁻¹	0,365	0,14	0,333	0,246	0,21	0,173
Cloreto	mg L ⁻¹	51,1	47,96	52,54	48,97	48,5	45,57
Sulfato	mg L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,69	0,46	0,42	0,43	0,67	0,39
Cond. Elétrica	µS cm ⁻¹	563,2	543,7	559,3	561,5	497,1	452,9
Fósforo total	mg L ⁻¹	24,48	24,43	29,024	24,91	28,506	26,7
Nitrato	mg L ⁻¹	29,3	27,3	29	24,41	29,24	28,14
Nitrito	mg L ⁻¹	0,299	0,377	0,99	1,14	1,99	3,13
TOC	mg L ⁻¹	28,42	29,85	16,94	19,1	2,309	1,431
TN	mg L ⁻¹	34,38	33,91	32,99	33,33	2,998	2,474
Óleos e graxas	mg L ⁻¹	63	77	73	44	45	72
DQO	mg L ⁻¹	20,01	31,37	42,7	10,37	ND	ND
Sulfeto	mg L ⁻¹	0,852	0,852	0,852	0,213	3,408	2,556
Sódio	mg L ⁻¹	2,154	2,054	2,194	2,013	2,24	2,104
Cloro Residual Total	mg L ⁻¹	0,36	0,11	0,07	0,05	ND	ND

STS: sem tratamento secundário; CTS: com tratamento secundário; (*) água coletada em Maio/2015); TOC= Carbono Orgânico Total (matéria orgânica); TN= Nitrogênio Total; DQO=Demanda Química de Oxigênio.

Índices padronizados, para as Tabelas 11 e 12, segundo CONAMA N° 20 de 1986= nível máximo de metais na água: Zinco: 0,18 mg L⁻¹; Arsênio: 0,05 mg L⁻¹; Bário: 1,0 mg L⁻¹; Cádmio: 0,001 mg L⁻¹; Chumbo: 0,03 mg L⁻¹; Cobre: 0,02 mg L⁻¹; Cromo: 0,05 mg L⁻¹; Estanho: 2,0 mg L⁻¹; Manganês: 0,1 mg L⁻¹; Mercúrio: 0,0002 mg L⁻¹; Níquel: 0,025 mg L⁻¹; Prata: 0,01 mg L⁻¹; Selênio: 0,01 mg L⁻¹; Zinco: 0,18 mg L⁻¹.

Tabela 11 - Análise de metais pesados presentes na água residuária, com e sem tratamento secundário do efluente final no ensaio 1 de feijão

Parâmetros	Unidades	Resultado coleta 1		Resultado coleta 2		Resultado coleta 3	
		S.T.S	C.T.S	S.T.S	C.T.S	S.T.S	C.T.S
Bário	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0017	≤ 0,0009
Cádmio	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Chumbo	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Cobre	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0000	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Crômio Total	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0000	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Estanho	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0000	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Mercúrio	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	0,0005	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Níquel	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	0,0003	≤ 0,0001	≤ 0,0004	≤ 0,0001
Prata	mg L ⁻¹	≤ 0,0017	≤ 0,0001	0,0008	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Selênio	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Zinco	mg L ⁻¹	0,0057	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,00017	0,0007	0,0085
Arsênio	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0000	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Manganês	mg L ⁻¹	0,444	0,377	0,251	0,141	0,503	0,456

STS: sem tratamento secundário; CTS: com tratamento secundário.

Tabela 12 - Análise de metais pesados presentes na água residuária, com e sem tratamento secundário do efluente final no ensaio 2 de Soja

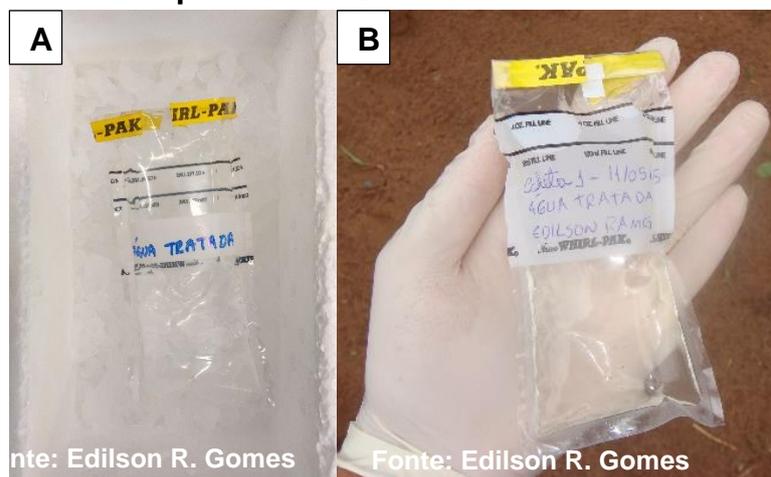
Parâmetros	Unidades	Resultado coleta 1		Resultado coleta 2		Resultado coleta 3	
		S.T.S	C.T.S	S.T.S	C.T.S	S.T.S	C.T.S
Bário	mg L ⁻¹	0,0013	0,0063	0,0013	0,0003	0,009	0,0071
Cádmio	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	0,001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Chumbo	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Cobre	mg L ⁻¹	0,0072	≤ 0,0060	0,0072	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Crômio Total	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Estanho	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Mercúrio	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Níquel	mg L ⁻¹	0,0022	≤ 0,0001	0,0022	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Prata	mg L ⁻¹	0,026	0,0062	0,026	0,062	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Selênio	mg L ⁻¹	0,0017	0,0002	0,0017	0,0014	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Zinco	mg L ⁻¹	≤ 0,0201	≤ 0,0101	≤ 0,0151	≤ 0,0110	≤ 0,0200	≤ 0,0100
Arsênio	mg L ⁻¹	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0001
Manganês	mg L ⁻¹	0,015	0,0118	≤ 0,0121	0,01	0,02	0,015

STS: sem tratamento secundário; CTS: com tratamento secundário.

3.3.7 Análise microbiológica da água residuária

Para a determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais (CTo) e termotolerantes (CTe) de água residuária, realizou-se 3 coletas (início, meio e fim) de cada ensaio, onde, dividia-se em duas amostragens, sendo uma sem tratamento secundário (antes de passar pelo filtro de areia e ozonizador) e outro com tratamento secundário (após passar pelo filtragem e ozonização). Coletou-se um volume de 125 mL para cada amostra que era acondicionada no gelo (Figura 15). Em seguida, as amostras foram levadas ao Laboratório Microbiologia de Alimentos no Departamento de Microbiologia e Imunologia-IB/UNESP.

Figura 15 - Amostra de água residuária acondicionada em gelo (A) e (B) saco plástico estéril 125 mL



Utilizou-se 10 mL de cada amostra de água residuárias tratada e não tratada que foi homogeneizado em 90 mL de água tamponada esterilizada e, a partir desta diluição inicial a 10^{-1} , foi organizada uma série de diluições decimais, empregando-se o mesmo diluente. A diluição da amostra foi armazenada em volumes de 1 mL, em cada fileira de três tubos por diluição, englobando 10 mL de caldo lauril sulfato (Difco) com um tubo de Durham invertido. Após incubação a 35°C por 24-48 horas, realizou-se a leitura dos tubos e os inóculos positivos expressaram-se na presença de gás no tubo de Durham.

Em seguida, três fragmentos de cada tubo positivo foram repicadas em tubos de ensaio incluindo 10 mL de caldo lactose bile verde brilhante (CLBVB) e Difco para a confirmação da presença de CTo, mais três fragmentos eram recriados em tubos de 5 mL de caldo EC (Difco) para a confirmação de CTe. Todos os tubos de CLBVB e de

EC apresentavam tubos de Durham invertidos. O CLBVB foi incubado a 35°C por até 48 horas e o caldo EC, a 45°C/24 horas.

Após o período de incubação, realizou a leitura pela observação da presença de gás no tubo de Durham invertido. Na tabela 13, consta o NMP onde foram calculados os CTo e CTe por mL de amostra analisada de acordo com (RACE, 2012). Os valores obtidos de coliformes estão abaixo dos estabelecido pela portaria do ministério da saúde, assim viabilizando o uso da água residuária para irrigação.

Tabela 13 - Análise microbiológica de água residuária tratada (sistema misto com filtro de areia seguido de ozonização) e não tratada dos ensaios de feijão e soja. A técnica utilizada para as contagens, foi a dos Tubos Múltiplos - Portaria do Ministério da Saúde, Nº 2.914 de 12/12/2011

Ensaio de Feijão				
Coleta	A.R.N.T.		A.R.T.	
	Coliformes Totais (NMP mL⁻¹)	Coliformes Termotolerantes (NMP mL⁻¹)	Coliformes Totais (NMP mL⁻¹)	Coliformes Termotolerantes (NMP mL⁻¹)
1	1,1 x 10 ⁵	1,5 x 10 ⁴	460	21
2	1,1 x 10 ⁵	1,5 x 10 ⁴	93	21
3	2,4 x 10 ⁵	9,5 x 10 ⁴	150	93

Ensaio de soja				
Coleta	A.R.N.T.		A.R.T.	
	Coliformes Totais (NMP mL⁻¹)	Coliformes Termotolerantes (NMP mL⁻¹)	Coliformes Totais (NMP mL⁻¹)	Coliformes Termotolerantes (NMP mL⁻¹)
1	1,1 x 10 ⁵	2,3 x 10 ⁴	150	90
2	4,6 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁴	460	93
3	9,1 x 10 ⁴	9,3 x 10 ³	0	0

A.R.N.T: água residuária não tratada; A.R.T: água residuária tratada; NMP: número mais provável.

3.3.8 Contagem de ovos de helmintos na água residuária

A verificação da presença de ovos de helmintos na água residuária foi feita pela metodologia de AYRES et al. (1991) com algumas modificações. Realizou-se 5 coletas em cada ensaio, dividido em duas amostragens, uma sem tratamento secundário (antes de passar pelo filtro de areia e ozonizador) e outro com tratamento secundário (após passar pela filtração e ozonização).

Coletou-se 1 L de água residuária para cada amostra e em seguida as amostras foram levadas ao Laboratório de Epidemiologia do Departamento de Parasitologia do IBB/UNESP.

Para a análise parasitária, seguiu a seguinte metodologia.

a) As amostras foram colocadas em cálice de 500 e 250 mL para sedimentar por 2 horas;

b) Retirou-se aproximadamente 90% do sobrenadante usando um sifão, garantindo um volume de aproximadamente 100 mL de água residuária tratada e não tratado. Teve-se o cuidado para não ressuspender o sedimento;

c) Transferir cuidadosamente o sedimento para tubos falcon de 15 mL e ajustou-se o peso de todos os tubos;

d) Levou-se os tubos para a centrifugação a 1000 G por 15 minutos. Após a primeira centrifugação, descartou-se o sobrenadante; transferiram-se todos os sedimentos para um único tubo e centrifugou-se novamente a 1000 G por mais 15 minutos;

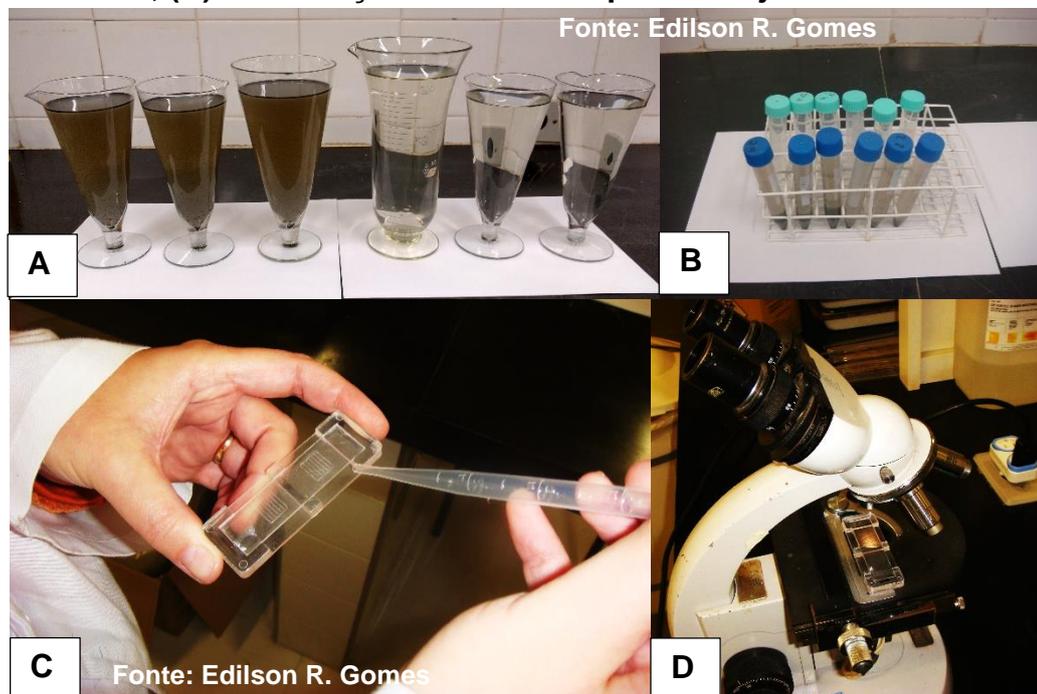
e) Rejeitou-se todo o sobrenadante com um único movimento firme e rápido, deixando no tubo apenas o sedimento. Acrescentou-se um volume de solução de sulfato de zinco igual a 5 vezes o volume do sedimento. Em seguida homogeneizou-se a amostra com equipamento tipo vortex;

f) Removeu-se uma alíquota da amostra final com o auxílio de uma pipeta de Pasteur e transferir para a câmara de McMaster. Deixou a câmara de contagem em repouso por 5 minutos para permitir que os ovos flutuarem e atingirem a superfície do retículo de contagem;

g) Observou-se no microscópio com lentes objetivas de 10x e 40x se havia presença de ovos de helmintos e contagem.

Nas análises realizadas não constatou a presença de ovos de helmintos na água residuária tratada e não tratada. Bressan (2015), obteve resultados semelhante na irrigação de manjerição com água de reuso em Botucatu/SP.

Figura 16 - Análise da contagem de ovos de helmintos na água residuária não tratada e tratada, (A) sedimentação em cálice de 500 e 250 mL, (B) Tubos falcon após centrifugação, (C) transferência de alíquota final para câmara de McMaster, (D) Observação no microscópio em objetivas de 10x e 40x



3.3.9 Irrigação

A irrigação com água potável e residuária foi realizada por um sistema automático formado por um reservatório de 1000 L interligado a bomba de $\frac{1}{4}$ de CV, manômetros, filtro de disco, válvulas de pressão, ventosa, linha principal em PVC, válvulas solenoide elétricas para abertura e fechamento de setor, hidrômetros por setor, linhas secundárias em mangueiras de polietileno com espaçamento de 0,40 m entre linha e 0,10 m entre plantas e diâmetro de 16 mm.

Utilizou-se gotejador PCJ com vazão 2 L h^{-1} integrado a um manifold de 2 saídas, no qual cada saída era composta de microtubo interligado a um gotejador tipo flecha de 2 L h^{-1} . O sistema de irrigação era interligado a uma central composta de controlador e display de sensor de umidade Rain Bird (Figura 17).

Figura 17 - Sistema de irrigação automático, (A) controlador e display de sensor, (B) gotejadores, (C) hidrômetros e válvulas solenoide



3.3.9.1 Avaliação de uniformidade do sistema

Após a instalação do sistema de irrigação realizou-se o teste de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para verificação da uniformidade de distribuição de água no sistema a uma pressão de serviço de 15 mca. Em seguida, calculou-se o CUC (Equação 5) e constatou um coeficiente de distribuição de 98 %. Segundo Mantovani (2001), a classificação da uniformidade de distribuição de água é excelente.

$$CUC = \left[\frac{\sum_{i=L}^N X_i - \bar{X}}{N * \bar{X}} \right] \quad (5)$$

Em que:

N: número de coletores;

X_i : lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

\bar{X} : lâmina média aplicada.

3.3.9.2 Manejo de irrigação e monitoramento do teor de água no solo

O manejo de irrigação adotado visava manter o teor de água do solo em capacidade de campo (CC) até a prefloração da cultura para cada ensaio. Portanto, foram estabelecidos os seguintes limites de armazenamento de água no solo após o estágio vegetativo da planta: tratamento controle (C): 100% da necessidade hídrica da cultura (NHC), deficiência hídrica moderada (DHM): 50% da necessidade hídrica da cultura (NHC), deficiência hídrica severa (DHS): 25% da necessidade hídrica da cultura (NHC) e água residuária (AR): 100% da necessidade hídrica da cultura (NHC).

O monitoramento do teor de água do solo foi realizado no período da manhã (8 a 10 h) para determinar quando e quanto irrigar. Foi instalado um sensor de umidade e 5 tensiômetros de punção por tratamentos a 0,15 m de profundidade, onde o sensor armazenava informação de temperatura e umidade (%) do solo a cada 15 minutos (Figura 18). Os dados foram coletados diariamente, depois calculava-se a lâmina de irrigação com base na CAD (Capacidade de água disponível) (Equação 6) e metodologia de Gomes (2015).

$$\text{CAD} = (\text{CC} - \text{PM}) * \text{Z} * \text{d} \quad (6)$$

Em que:

CAD - capacidade de água disponível (mm);

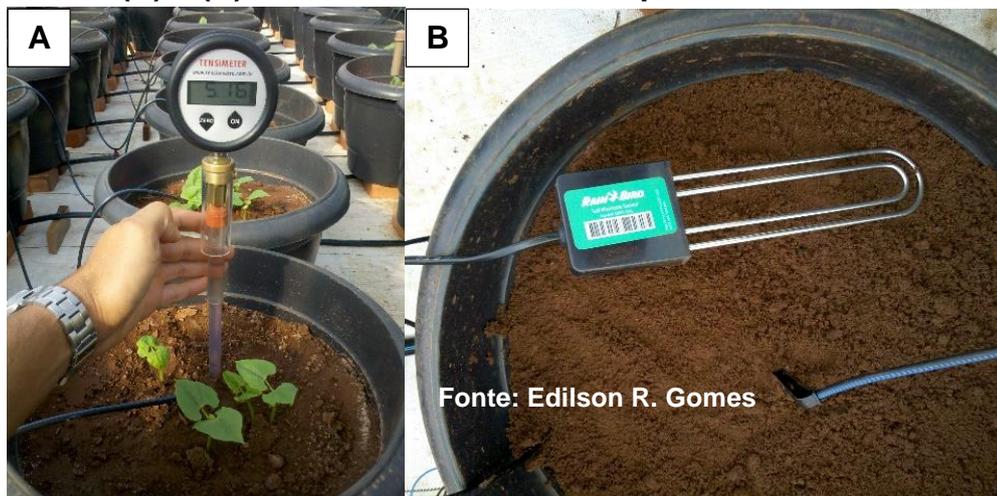
CC - teor de água volumétrico na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

PM - teor de água volumétrico atual no momento da leitura ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Z - profundidade efetiva do sistema radicular (mm);

d - densidade do solo.

Figura 18 - Monitoramento do teor de água no solo com tensiômetro de punção (A) e (B) sensor de umidade e temperatura do solo



A lâmina de irrigação a ser aplicada (mm), foi determinada conforme a Equação 7. Para obtenção do tempo de irrigação para cada tratamento, em minutos, utilizou-se a Equação 8.

$$L_i = \frac{CAD}{E_f} \quad (7)$$

Em que:

L_i - lâmina de irrigação aplicada (mm);

CAD - capacidade de água disponível (mm);

E_f - eficiência do sistema de irrigação (0,98).

$$T_i = \left[\frac{L_i * A}{n * q} \right] * 60 \quad (8)$$

Em que:

T_i - tempo de irrigação (minuto);

L_i – lâmina de irrigação aplicada (mm);

A - área ocupada por planta (0,18 m²);

n - número de emissores por planta (1);

q - vazão do gotejador (1,0 L h⁻¹).

3.4 Delineamento experimental

Os ensaios foram instalados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), constituídos de oito tratamentos com cinco repetições tanto para o ensaio do feijoeiro como o de soja. Cada linha de plantio foi composta por 10 vasos de 22 L, dividido em 5 vasos com e 5 vasos sem extrato de algas, totalizando-se 25 vasos por tratamento sem extrato de algas e 25 vasos para os tratamentos com extrato de algas (Figura 19).

3.4.1 Tratamentos

Os tratamentos propostos (Ensaio 1 e 2) foram com deficiência hídrica, água residuária nas parcelas e com extrato de algas nas subparcelas, sendo eles:

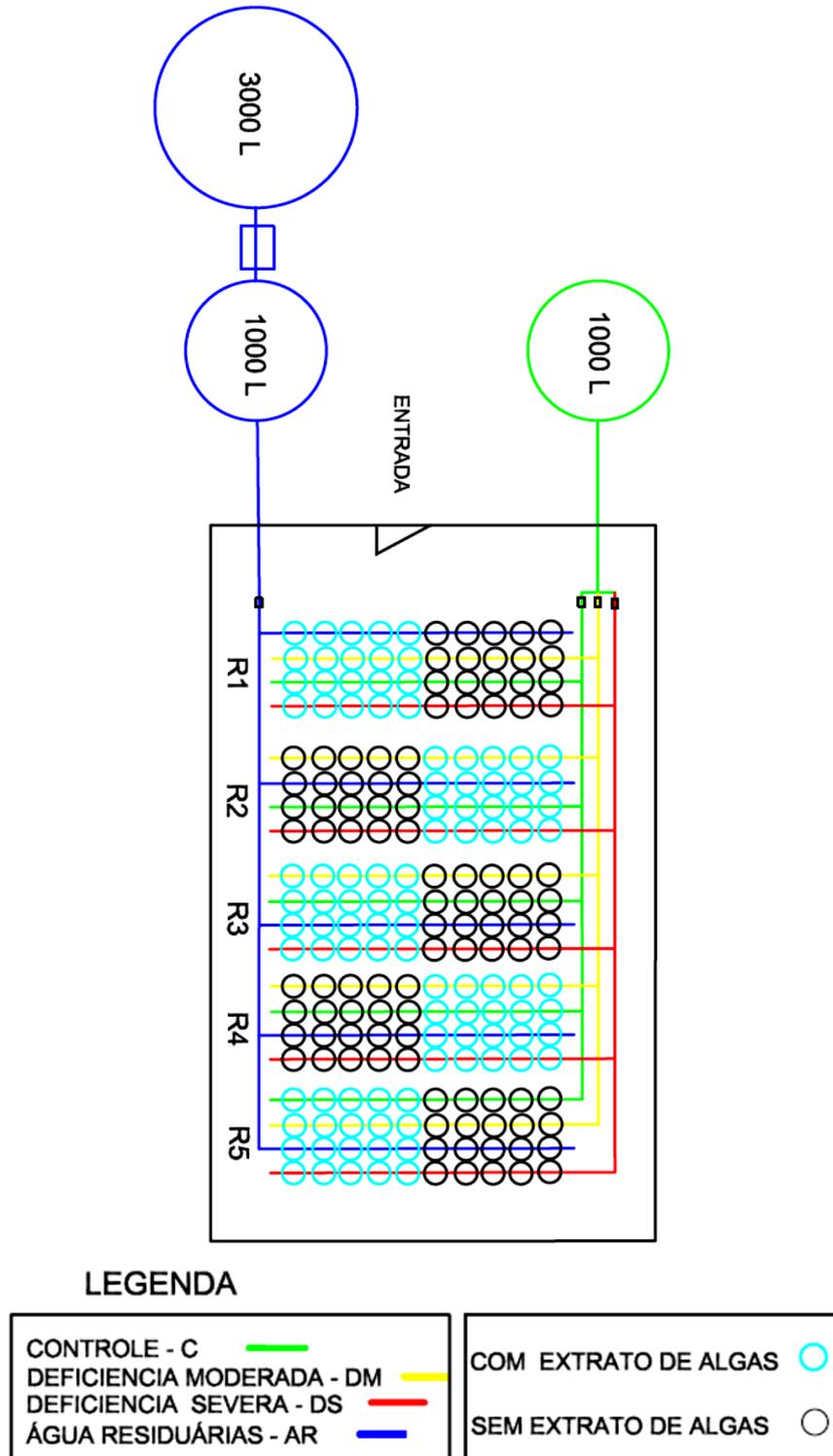
Água residuária – 100% da necessidade hídrica da cultura, com e sem aplicação de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*);

Controle – irrigação com água potável, 100% da necessidade hídrica da cultura, com e sem aplicação de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*);

Deficiência moderada – irrigação com água potável, 50% da necessidade hídrica da cultura, com e sem aplicação de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*);

Deficiência severa – irrigação com água potável, 25% da necessidade hídrica da cultura, com e sem aplicação de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*).

Figura 19 - Croqui do delineamento experimento utilizado nos dois ensaios



3.5 Períodos de coletas

Após a germinação das sementes de feijão e soja, foi realizada a programação de épocas de avaliações para cada ensaio. No ensaio de feijão a 1° época de avaliação (08/08/2015) iniciou-se aos 35 DAE, 2° época de avaliação aos 50 DAE, 3° época de avaliação aos 65 DAE e a 4° época de avaliação aos 70 DAE. Já para o ensaio de soja a 1° época de avaliação (22/11/2015) iniciou-se aos 35 DAE, 2° época de avaliação aos 55 DAE, 3° época de avaliação aos 75 DAE e a 4° época de avaliação aos 95 DAE. Após os 78 DAE para o cultivo de feijão e 100 DAE para a soja realizou-se a suspensão da irrigação para secagem dos grãos na planta e aos 90 DAE e 115 DAE realizou-se a colheita para os respectivos ensaios de feijão e soja, respectivamente.

3.6 Parâmetros avaliados

3.6.1 Variáveis do solo

3.6.1.1 Extração de solução do solo

Foi instalado um extrator de solução por tratamento a uma profundidade de 0,15 m. A primeira avaliação iniciou-se 7 DAE no feijão e na soja aos 14 DAE. As coletas de solução do solo eram realizadas no período da manhã (9 h) com repetição a cada 15 dias para o ensaio de feijão e 20 dias para o ensaio de soja (Figura 20). Após a irrigação esperava-se uma hora para aplicar um vácuo com pressão de 70 kPa, por 1 minuto, em cada extrator por meio de uma bomba a vácuo. Depois de 24 h realizava-se a extração da solução do solo e mensurava pH e condutividade elétrica (dS m^{-1}). Foram analisados macro e micronutrientes para a primeira e última coleta no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP.

Figura 20 - Extração de solução do solo (A), vácuo aplicado (B) e (C) armazenamento da solução



3.6.1.2 Teor de água e temperatura do solo

Para monitoramento do teor de água (%) e temperatura do solo (°C) foi instalado um sensor a uma profundidade de 0,15 m para os tratamentos de deficiência hídrica e água residuária. As leituras foram realizadas diariamente pela manhã, onde utilizou-se o Sensor de Umidade do Solo SMRT-Y da marca Rain Bird (Figura 21).

Figura 21 - Sensor de Umidade do Solo SMRT-Y



3.6.2 Relações hídricas

3.6.2.1 Conteúdo relativo de água (CRA)

A determinação do CRA se deu pela a relação da massa de tecido vegetal fresco, turgido e seco. Pela manhã (8 h) coletou-se uma folha do terço médio da planta e retiraram-se cinco discos (1 cm²) para cada repetição, totalizando 25 discos por tratamento (Figura 22).

Figura 22 - Retirada dos discos foliares de feijão e soja para análise do CRA



Após a remoção dos discos, pesou-se a massa fresca dos mesmos (MF). Na sequência, os discos foram mergulhados em água deionizada e mantidos na geladeira

por 6 horas para determinação da massa túrgida (MT). Depois, os discos foram levados para estufa de circulação forçada de ar (60 °C) por 24 h, obtendo-se assim a massa seca (MS) e conforme a Equação 9 determinou-se o CRA.

$$\text{CRA} = [(MF - MS) / (MS - MT)] * 100 \quad (9)$$

Em que:

CRA- Conteúdo relativo de água;

MF - massa fresca (mg);

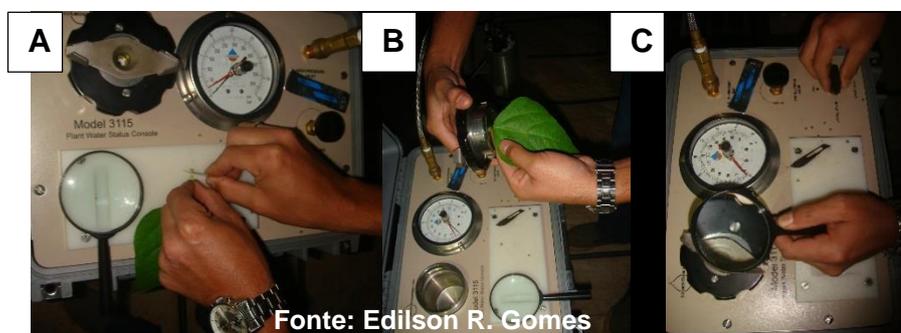
MT - massa túrgida (mg);

MS - massa seca (mg).

3.6.2.2 Potencial hídrico

Para o potencial hídrico foliar (ψ_{Hf}) utilizou-se uma folha peciolada do terço médio de cada planta e com auxílio de uma câmara de pressão, aplicou-se pressão crescente com gás de nitrogênio até que ocorresse a exsudação da seiva do xilema pelo corte feito no pecíolo da folha. As leituras (bar) correspondem ao potencial hídrico foliar (Figura 23). A pressão necessária para a exsudação da seiva foi avaliada como a pressão de fixação da água no xilema das plantas (-). As leituras foram realizadas na antemanhã de acordo com Gomes et al. (2014).

Figura 23 - Leitura do potencial hídrico foliar com a câmara de pressão tipo Scholander, (A) corte do pecíolo da folha, (B) fixação da folha e (C) leitura do ψ_{Hf}



3.6.2 Avaliação de crescimento e de biomassa

Para avaliação de crescimento e biomassa foram utilizados 5 plantas por tratamento, sendo uma planta por repetição.

3.6.2.1 Altura das plantas

As plantas foram medidas com auxílio de uma fita métrica graduada em cm, a partir do nível do solo até o ápice da planta.

3.6.2.2 Diâmetro do caule

O diâmetro do caule foi medido a um cm do nível do solo no colo da planta com auxílio de um paquímetro digital (mm).

3.6.2.3 Número de folhas

Foram retiradas todas as folhas adultas expandidas e contadas.

3.6.2.4 Área foliar

Após contar o número de folhas de cada planta, com auxílio do integrador modelo LICOR LI- 3000 determinou-se a área foliar total das plantas. Os resultados foram expressos em $\text{m}^2 \text{ planta}^{-1}$.

3.6.2.5 Biomassa vegetal

Para cada avaliação foi verificado a massa da matéria fresca (MMF) e massa da matéria seca (MMS) de folha, caule e raiz expressa em g planta^{-1} . Onde, MMF foi determinada assim que a planta foi coletada da estufa agrícola. Já para MMS as plantas foram mantidas em sacos de papel e em seguida levadas a estufa com circulação de ar forçado a $50 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5$ até atingirem o peso constante.

3.6.3 Índices de crescimento

Com base nos valores analisados para biomassa vegetal dos diferentes partes vegetais e área foliar, efetivou-se o estudo de alocação de recursos por índices de crescimento. Estes parâmetros permitem avaliar frações de biomassa investidos em diferentes órgãos da planta, o que pode refletir em táticas de desenvolvimento e tolerância aos fatores físicos ambientais (deficiência hídrica e elementos de água residuárias). A partir dos parâmetros de crescimento e biomassa vegetais obtidos, foram determinados os seguintes índices de crescimento de acordo com Hunt (1982):

a) SLA, (Specific Leaf Area ou área foliar específica) que indica a relação entre a área foliar (AF) e a massa seca foliar (MSF), calculando-se mediante a equação 10:

$$\mathbf{SLA = AF / W} \text{ (área foliar / MSF), expresso em m}^2 \text{ folhas g}^{-1} \text{ MS total.} \quad (10)$$

b) LWR (Leaf Weight Ratio é a relação inversa de SLA) que informa a fração da biomassa total alocada nas folhas, podendo ser calculada conforme a Equação 11:

$$\mathbf{LWR = MSF / MST} \text{ (Massa seca de folhas/Massa seca total), expresso em g MS folhas g}^{-1} \text{ MS total.} \quad (11)$$

c) LAR (Leaf Area Ratio é a relação da superfície foliar) que reflete no tamanho da superfície fotossintética em relação a massa respiratória de acordo com a Equação 12:

$$\mathbf{LAR = AF / MST} \text{ (Área foliar/Massa seca total), expresso em m}^2 \text{ folhas g}^{-1} \text{ MS plantas.} \quad (12)$$

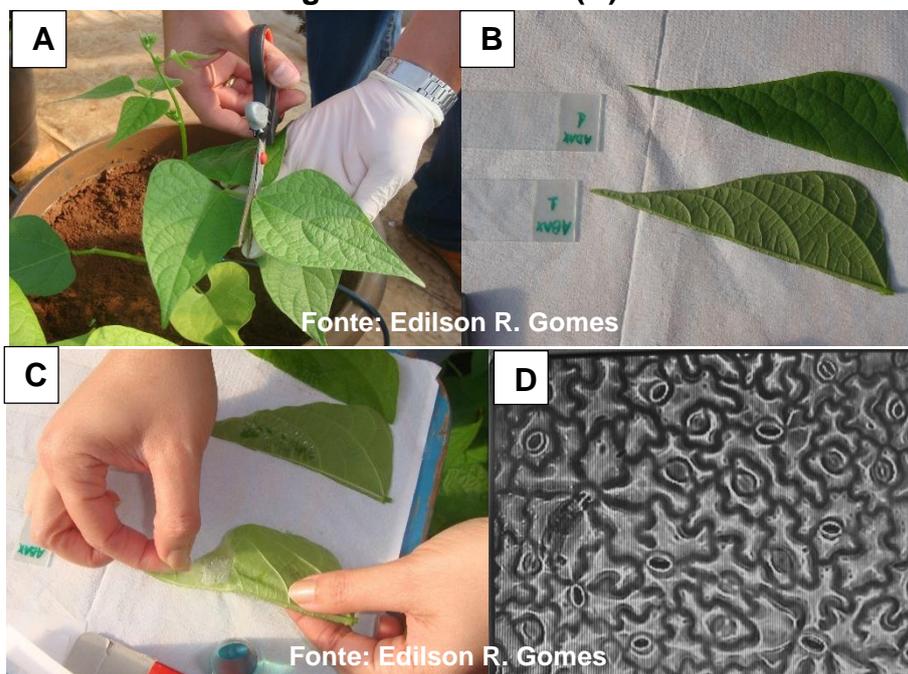
3.6.4 Densidade estomática

Para as avaliações de densidade estomática foi coletado o folíolo central da terceira folha trifoliolada distendida da planta, em cada repetição, totalizando cinco por tratamento no período da manhã (9 h). Utilizou-se uma secção de aproximadamente 1 cm² retirado da região mediana da lâmina de cada folíolo, para identificação e contagem dos estômatos nas epidermes adaxial e abaxial.

Para montagem das lâminas, utilizou-se a técnica de impressão de epidermes criada por Sampson (1961), modificada, substituindo o "silicone rubber plastic" por esmalte e fita adesiva transparente.

A contagem dos estômatos (mm²) foi realizada com auxílio de Microscópio digital com visor MDV-100, com objetiva de 40x e campo de visão de 0,0744 mm², para cada epiderme da lâmina foliar anotou-se o número de células estomáticas (Figura 24).

Figura 24 - Densidade estomática em função dos tratamentos hídricos, coleta do material (A), corte da folha (B), aplicação do esmalte e fita adesiva (C) e contagem de estômato (D)



3.6.5 Análise de nutrientes em tecido vegetal e grãos

3.6.5.1 Tecido vegetal

Na análise de nutrientes selecionaram-se cinco plantas por tratamento, onde separou-se folha, caule e raiz na coleta inicial e final de cada ensaio. As amostras foram embaladas em sacos de papel e levadas a estufa à 50 °C até o peso constante. Depois, as amostras foram moídas e encaminhadas ao laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da FCA/UNESP – Botucatu, SP, para determinar macronutrientes e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na) de acordo com Malavolta et al. (1997).

3.6.5.2 Grãos

Para análise de nutrientes em grãos, foi realizada amostragem (100 g) composta por tratamento. Em seguida, os grãos foram triturados e embalados em saco de papel. Depois, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da FCA/UNESP, para determinação de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) segundo Malavolta et al. (1997).

3.6.6 Trocas gasosas e clorofila

3.6.6.1 Trocas gasosas: fotossíntese e condutância estomática

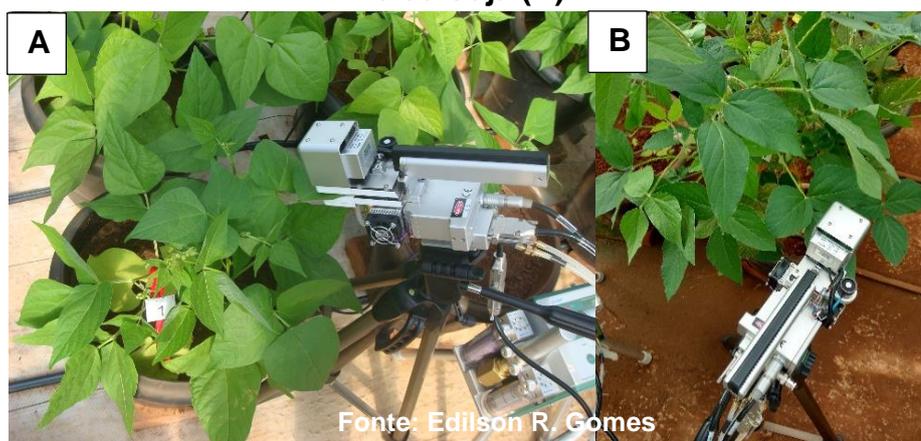
Para as análises de trocas gasosas foram selecionadas cinco plantas por tratamento e escolheu-se a folha central do trifólio. As leituras tiveram como finalidade avaliar o efeito dos tratamentos hídricos sobre os seguintes parâmetros: assimilação líquida de CO₂ (*A*) expressa em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; concentração interna de CO₂ (*C*) expressa em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$; condutância estomática ao vapor de água (*g*s) expressa em $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; e taxa transpiratória (*E*) expressa em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

As leituras foram realizadas no período da manhã entre as 9 h:30 min e 11 h, com auxílio de um sistema fechado de medição de trocas gasosas equipado com um analisador infravermelho de gases (IRGA) modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska – USA) (Figura 25).

Os parâmetros microclimáticos na câmara foram mantidos constantes durante as medições realizadas nos diferentes tratamentos, usando 1400 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de PAR (photosynthetic active radiation) e umidade relativa entre 50 e 60%.

A atmosfera de referência do IRGA foi captada e direcionada para um recipiente homogeneizador de 5 L (buffer) antes de alcançar a câmara foliar, a fim de impedir grandes oscilações no CO₂ de referência e temperatura da câmara foliar.

Figura 25 - Analisador infravermelho de gases (IRGA) na cultura do feijoeiro (A) e da soja (B)



3.6.7 Teor de clorofila foliar

3.6.7.1 Índices relativos de clorofila (IRC)

O IRC foi realizado em cinco plantas por tratamento, sendo duas folhas por planta e uma leitura por folha, totalizando 80 leituras em cada avaliação. Utilizou-se um aparelho de medida automática (modelo Chlorophyll Meter SPAD-502 Minolta Co Japão), denominado Índice Relativo de Clorofila em unidade SPAD.

Os valor de comprimento de onda na região do vermelho (Máximo em 650 nm) numa área foliar de 0,70 cm² da planta, região de alta absorbância pelas moléculas de clorofila, segundo Godoy et al. (2003).

3.6.7.2 Teor de pigmentos foliares (TPF)

Para a análise de pigmentos, coletaram-se folhas do terço médio da planta no período da manhã (9 h) e foram utilizados dez discos foliares com diâmetro de 10 mm (1,04 cm²) por tratamento, os quais cada disco foi mantido em um volume de 2 mL dimetilformamida (DMF) por 24 h, no escuro, para extração de clorofila (a, b), total e carotenoides (Figura 26).

As medidas foram realizadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 480, 646,8 e 663,8 nm para clorofila total e carotenoides (Equações 13, 14,15 e 16). Os resultados foram expressos em µg cm⁻², conforme método de Lee et al. (1987).

$$\text{Clor. } a = ((12 * A_{663,8} - 3,11 * A_{646,8}) * V) / (1000 * W) \quad (13)$$

$$\text{Clor. } b = ((20 * A_{646,8} - 4,68 * A_{663,8}) * V) / (1000 * W) \quad (14)$$

$$\text{Clor. total} = ((A_{646,8} * 1000 * V) / 34,5) * 1000 * W \quad (15)$$

$$\text{Caroten.} = [(1000 * A_{480} - 1,12 * \text{Cl } a - 34,07 * \text{Cl } b) / 245] / 1000 * W \quad (16)$$

Em que:

A = absorbância no comprimento de onda indicado (nm);

V = volume final do extrato clorofila – DMF (mL);

W = área do disco fresco do material vegetal utilizado (cm²).

Figura 26 - Teor de clorofila sob diferentes tratamentos na cultura do feijoeiro e da soja



Fonte: Edilson R. Gomes

3.6.8 Análises bioquímicas

3.6.8.1 Armazenamento do material vegetal

As amostras de tecido vegetal (4 folhas/planta) para as análises bioquímicas foram coletadas em cinco plantas por tratamento, no período da manhã entre as 9 h e 30 min e 10 h. O material vegetal fresco (MF) era acondicionado em envelope de papel alumínio e rapidamente imerso em nitrogênio líquido. Os envelopes foram armazenados em biofreezer (-80 °C) até o momento da realização das análises.

3.6.8.2 Obtenção do extrato bruto

As amostras (folhas) foram trituradas em nitrogênio até atingir o ponto de pó e acondicionado em tubo falcon e armazenado em freezer a (-80 °C).

Primeiramente, realizaram-se as análises de proteína solúvel total, atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase. O processamento para obtenção do extrato bruto foi por meio da ressuspensão do material vegetal moído (300 mg) em 5,0 mL de tampão fosfato de potássio 0.1 M, pH 6.8, suplementado com 200 mg de polivinilpolipirrolidona (PVPP). Em seguida, centrifugação por 15 minutos a 5.000 x G, o volume de 2 mL de sobrenadante foi recolhido e armazenado em freezer a (- 80°C).

No segundo momento realizou-se teor de L-prolina, (500 mg) do material vegetal (moído), ressuspensos em 10,0 mL de ácido sulfosalicílico (3% em água deionizada). Em seguida, centrifugação por 12 min a 4.000 x G a 4 °C, o sobrenadante foi recolhido e armazenado em freezer a -80 °C.

3.6.8.3 Determinação do teor de proteína solúvel total

Para a determinação da proteína solúvel total presente nos extratos brutos (50 μL do extrato bruto + 4.950 μL de solução de Bradford) foi empregando o método descrito por Bradford (1976) com albumina de soro bovino (BSA) como proteína padrão.

3.6.8.4 Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD; EC 1.15.1.1)

A análise da atividade da enzima SOD avaliou a capacidade da enzima em inibir a fotoredução do Nitro blu tetrazolium chloride (NBT). A atividade foi verificada pela adição de 50 μL do extrato bruto a uma solução incluindo 13 mM de metionina, 75 μM de NBT, 100 nM de EDTA e 2 μM de riboflavina em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM a pH 7,8. Iniciou-se reação pela iluminação das placas sobre suporte composto por tubos fluorescentes (15 W) a uma altura de 30 cm e 25 °C.

Após cinco minutos de iluminação, o final da catálise foi delimitado pela suspensão da luz. Em seguida, o composto cinza formado (formazana) pela fotoredução do NBT foi levado ao espectrofotômetro, em comprimento de onda de 560 nm. Já os tubos brancos receberam os mesmos reagentes, contudo foram mantidos cobertos com papel alumínio protegidos da luz. Logo, uma unidade de SOD equivale a quantidade de enzima necessária para a inibição de 50% da fotoredução do NBT. Deste modo, a atividade específica da enzima, considerou-se a percentagem de inibição obtida em função do volume da amostra e a concentração de proteína na amostra $\text{UI } \mu\text{g proteína}^{-1}$ (BROETTO, 2014).

3.6.8.5 Atividade da enzima catalase (CAT; EC. 1.11.1.6)

A atividade da CAT foi determinada conforme Peixoto et al. (1999). As medições foram em espectrofotômetro, em comprimento de onda de 240 nm, onde a variação da absorção do peróxido de hidrogênio juntamente com 100 μL de extrato bruto foram acrescidos a 900 μL de um tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0 e concentração final de 12.5 mM. A diferença da absorção (ΔE) foi determinado em um intervalo de 80 s, onde a atividade da enzima calculada utilizando-se o coeficiente de extinção molar (ϵ) de 39,4 $\text{mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Para a atividade específica da CAT, levou-se em

consideração a concentração de proteína solúvel na amostra, sendo expressos em $\mu\text{Kat } \mu\text{g Proteína}^{-1}$.

3.6.8.6 Atividade da enzima peroxidase (POX; EC 1.11.1.7)

A atividade da enzima POX foi realizada de acordo com a metodologia de Peixoto et al. (1999). Adicionou-se 50 μL de extrato bruto em 4,95 mL de tampão fosfato de potássio a 25 mM, pH 6,8, contendo 20 mM de Pyrogallol e 20 mM peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Após 1 min de incubação a reação foi interrompida com 0,5 mL de H_2SO_4 . A leitura de absorbância foi realizada a 420 nm. Para a atividade específica em $\mu\text{Kat } \mu\text{g Prot}^{-1}$ da enzima, foi utilizado coeficiente de extinção molar de $2,47 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

3.6.8.7 Determinação do teor de L-prolina

A determinação do teor de L-prolina ($\mu\text{g mL}^{-1}$ extrato) foi feita de acordo com o método de Bates et al. (1973). Para a verificação do teste colorimétrico, pipetaram-se alíquotas de 2,0 mL do extrato bruto; 2,0 mL de ninhidrina ácida; 2,0 mL de ácido acético glacial. Em seguida, aqueceu em banho-maria à aproximadamente 100°C por 60 minutos esperou esfriar as amostras e efetuou-se leitura a 520 nm. Os resultados obtidos tiveram como referência a curva padrão com (0, 20, 40, 60, 80 e 100 mg) de L-prolina p.a, no qual os valores foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF.

3.6.8.8 Determinação da atividade da enzima nitrato redutase

Foi coletado uma folha por planta e cinco amostra por tratamento no período da manhã, entre 9 h e 10 h. A solução de extração com 250 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M a pH 7,0, acrescido de 2,527 g Nitrito de sódio (KNO_3) e 2,5 mL da solução de N-propanol. Depois, cortou-se 50 mg de massa fresca foliar (MF) com auxílio de uma tesoura; transferiu a MF para tubos de ensaio, acrescido de 10 mL do tampão de extração e tampou com rolha especial para infiltração à vácuo (Figura 27). As amostras foram incubadas à vácuo com 3 ciclos de duração de 3 minutos, com intervalo de 1 minuto entre eles (BROETTO, 2014).

Após a infiltração as amostras foram Incubadas em banho-maria a 30°C no escuro por 1 hora. Logo, preparou 100 mL de solução de N-Naftil (0,02%), onde

dissolve 20 mg do reagente em 100 mL de água deionizada. Para 100 mL de solução de sulfanilamida, dissolveu 2 g de sulfanilamida em 87,6 mL de água deionizada acrescida de 12,4 mL HCl. Em seguida, retirou-se 1 mL da solução dos tubos de ensaio e transferiu para tubos de ensaio limpos e pipetou 1 mL da solução de sulfanilamida e 1 mL da solução de N-Naftil e voltou para o banho-maria a 30 °C no escuro por 15 minutos. Os resultados obtidos tiveram como referência a curva padrão com (0, 25, 50, 100, 150, 200 e 250 nmol) Nitrito (NO₂) em comprimento de onda de 540 nm. A atividade da nitrato redutase na MF foliar utiliza a unidade final em nM NO₂ h⁻¹ g⁻¹ MF.

Figura 27 - Atividade da nitrato redutase (A) e (B) infiltração à vácuo das amostras



3.6.9 Parâmetros de rendimento da cultura

Para análise de rendimento das culturas foram coletadas 10 plantas, por tratamento, após os 90 DAE para o ensaio de feijão e 115 DAE para o ensaio de soja.

3.6.9.1 Número de vagens por planta (NVP)

Para o n° de vagens por planta, foi retirado todas as vagem da planta e realizou-se a contagem.

3.6.9.2 Comprimento e diâmetro de vagem

Após a contagem das vagens, separou-se 10 vagens de cada planta e realizou-se o comprimento de vagem (CV) com uma fita métrica graduada em cm, em seguida determinou o diâmetro (mm) da parte central da vagem (DV) com auxílio de um paquímetro.

3.6.9.3 Número de grãos por vagem (NGV)

Para determinar o n° de grãos por vagem, realizou a divisão entre número total de vagem por planta pelo o número total de grãos por planta.

3.6.9.4 Número total de grãos por planta (NTGP)

Fez-se a separação dos grãos da vagem e realizou a contagem do total de grãos presente em cada planta.

3.6.9.5 Massa de mil grãos (MMG)

Realizou-se a pesagem da massa de 100 grãos com auxílio de uma balança de precisão de 0,01 g e posteriormente estimou-se a massa para mil grãos (g).

3.6.9.6 Massa de vagem com grãos (MVG)

Para determinar MVG (g) separou 10 vagens por planta e realizou-se a pesagem com auxílio de uma balança de precisão de 0,01 g.

3.6.9.7 Produtividade

Realizou-se a contagem de vagens por planta, número de grãos por vagem e posteriormente a massa de mil grãos. Em seguida, o número de plantas por hectare utilizando a Equação 17. Para a produtividade (sc ha⁻¹) utilizou-se a densidade populacional de 200 mil plantas ha⁻¹ para cada tratamento. Depois, converteu-se a produtividade para kg ha⁻¹ considerando o peso da saca de 60 kg, utilizou-se a Equação 18.

$$\text{Nº de plantas por hectare} = (\text{NPM} / \text{EP}) * 10 \quad (17)$$

Em que:

NPM - número de plantas por metro;

EP - espaçamento entre linhas (m).

$$\text{Produtividade (kg h}^{-1}\text{)} = \frac{[(P * VP * GV * MMG)] * 60}{60000} \quad (18)$$

Em que:

P - n° de plantas por hectare (200 mil ha⁻¹);

VP - n° de vagem por planta (unid);

GV - n° de grãos por vagem (unid);

MMG - massa de mil grãos (g).

3.7 Análises estatísticas

Os parâmetros das avaliações em campo e laboratório foram submetidos à análise de variância e quando apontada significância, utilizou-se teste F. As médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% e 1% de significância, utilizando o programa estatístico ASSISTAT v.7.6 beta (SILVA, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

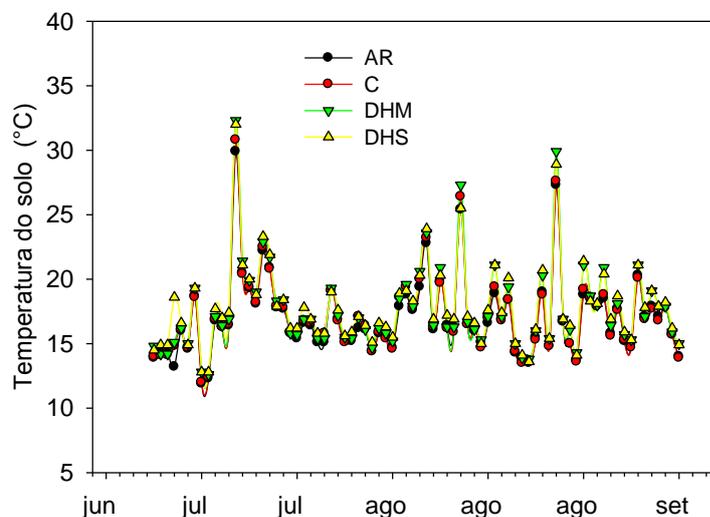
Os itens 4.1 a 5 exploram os resultados obtidos na pesquisa em comparação com a literatura.

4.1 Variáveis do solo

4.1.1 Teor de água e temperatura do solo

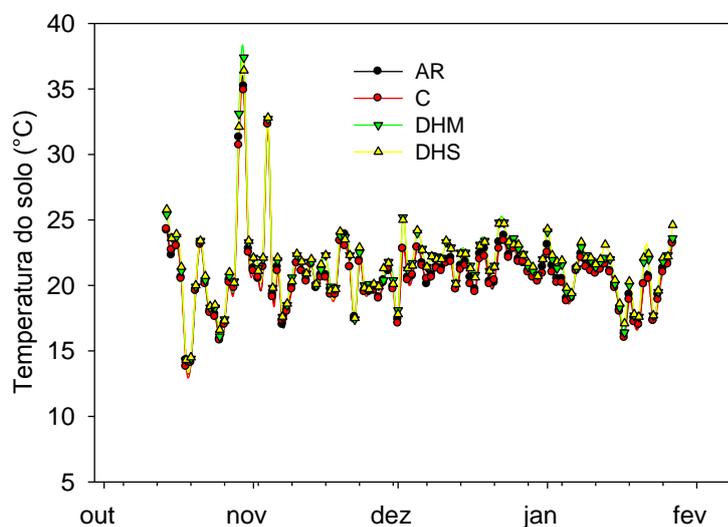
Na Figura 28, no ensaio de feijão nota-se que as temperaturas no solo oscilaram em função da condição hídrica do solo para cada tratamento e ambiência do local. Essa variação estar relacionado a maior ou menor disponibilidade de água no solo. Portanto, a temperatura no solo variou de 11,9 a 29,9 °C para AR, C: 12,0 a 30,4 °C, DHM: 12,9 a 32,0 °C e DHS: 12,6 a 32,7 °C. Ressalva-se que a temperatura ambiente influenciou bastante para esse parâmetro, principalmente na primeira semana de julho e agosto, em que houve dias com temperaturas bastante elevadas quentes.

Figura 28 - Temperatura do solo em função dos tratamentos hídricos água residuária (AR), água potável (C), Deficiência hídrica moderada (DHM) e deficiência hídrica severa (DHS) para o ensaio de feijão



No ensaio da soja, observou-se que a temperatura no solo atingiu níveis mais altos apenas na segunda semana do mês de novembro. Deste modo, a temperatura variou entre 13,8 e 35,2 °C para AR, C: 14,1 a 35,0 °C, DHM: 14,3 a 37,4 °C e DHS: 14,3 a 37,0 °C. Neste período ocorreram muitas chuvas, o que causou aumento da umidade do ar com diminuição da temperatura do ambiente. Assim, os valores de temperatura do solo apresentaram pouca oscilação quando comparado ao ensaio com feijão (Figura 29).

Figura 29 - Temperatura do solo em função dos tratamentos hídricos água residuária (AR), água potável (C), Deficiência hídrica moderada (DHM) e deficiência hídrica severa (DHS) para o ensaio de soja



Para o teor de água do solo (Figura 30), foi estabelecido os seguintes limites de umidade máxima e mínima para cada tratamento, onde: AR e C: 19 a 16% (100% NHC), DHM: 11 a 9 % (50% NHC) e DHS: 8,5 a 6% (25% NHC). Observou-se que os valores do teor de água do solo permaneceram dentro dos limites planejados para cada tratamento.

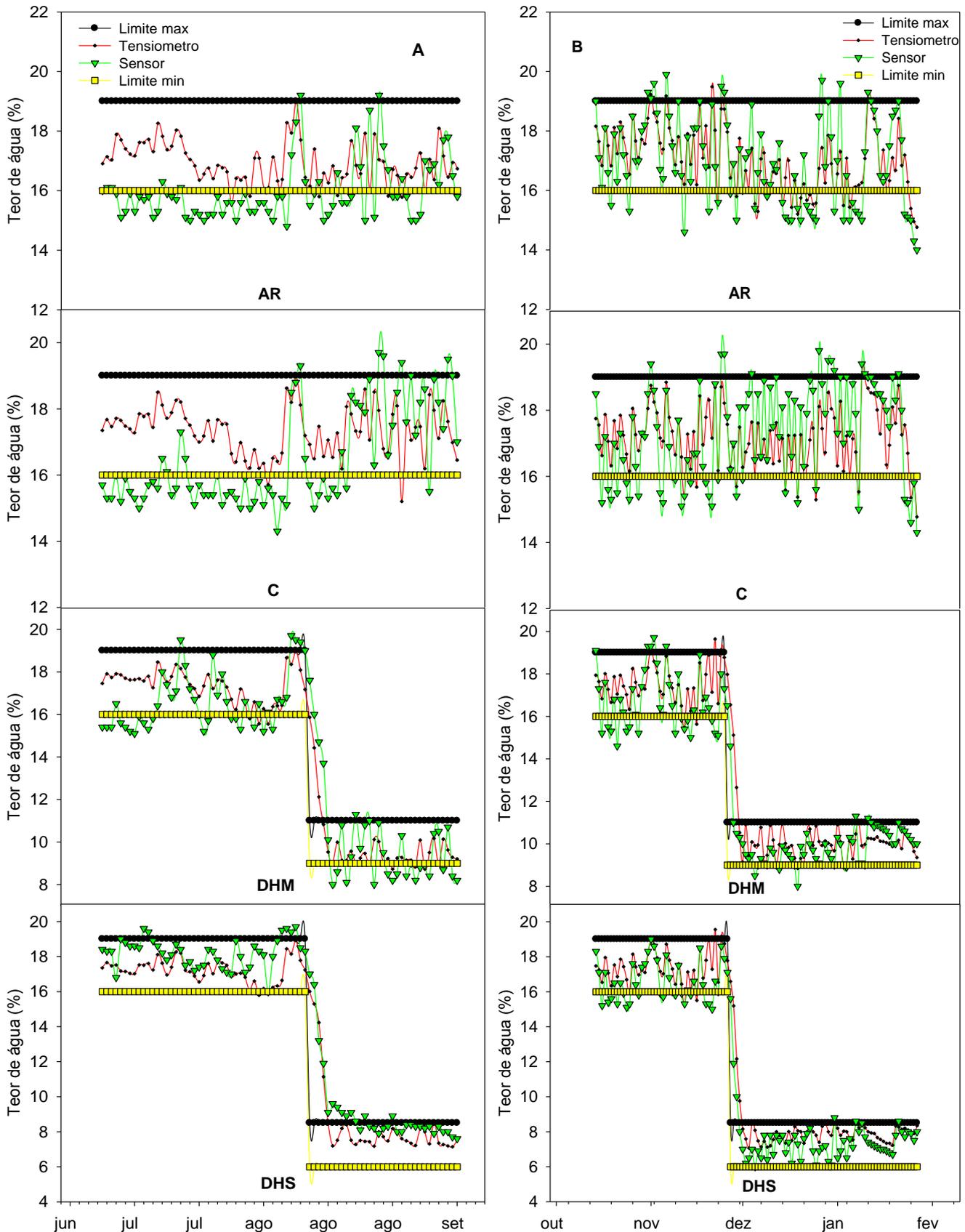
O tensiômetro apresentou uma menor oscilação para as leituras de teor de água no solo quando comparado ao sensor nos diferentes ensaios. Isso porque o tensiômetro registra a tensão de água no solo que apresenta menor variação em relação a outros métodos de determinação do teor de água no solo.

Observou-se que no ensaio de feijão (Figura 30A), os valores do tensiômetro e sensor variaram em média 17,0% e 15,0 % para AR, C: 17,5% e 15,9%, DHM: 10,0% e 9,2% e DHS: 7,7% e 6,8% respectivamente.

Para os valores que se encontram fora dos limites coincide com momento que apresentou maior ou menor DPV e temperatura no solo. Logo, induzindo a planta a um aumento da evapotranspiração.

Na Figura 30B os valores do tensiômetro e sensor para o ensaio de soja apresentaram maior mudança na umidade do solo em função do período do ano (verão). Assim, os valores médios oscilaram de 17,1% e 17,5 % para AR, C: 17,0% e 17,6%, DHM: 9,8% e 8,9% e DHS: 7,8% e 6,7%. Em relação aos pontos fora dos limites, ajusta-se com maior ou menor DPV e temperatura do solo. Portanto, induzindo a planta a uma maior evapotranspiração.

Figura 30 - Teor de água no solo (%) no ensaio de feijão (A) e ensaio da soja (B) em função dos tratamentos hídricos de água residuária (AR), controle (C), deficiência hídrica moderada (DHM) e deficiência hídrica severa DHS

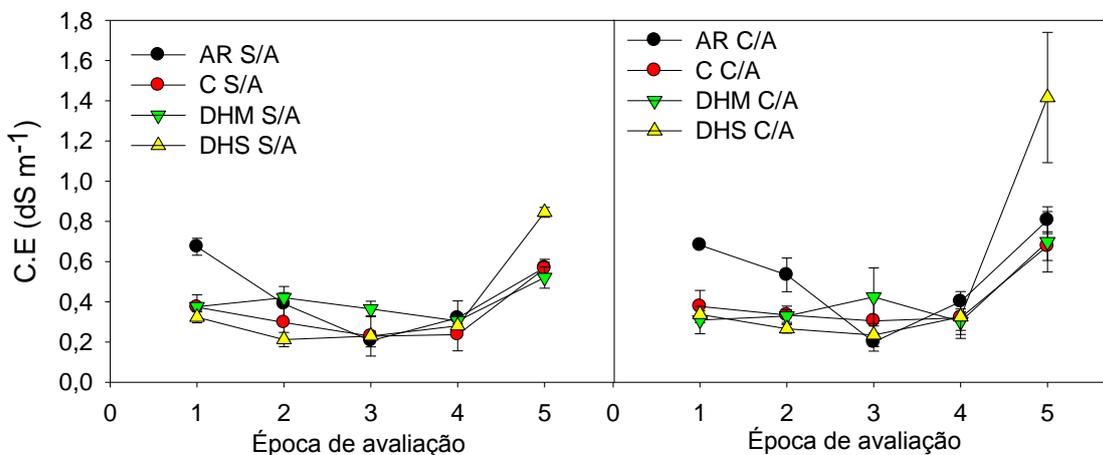


4.1.2 Extração de solução do solo

Na condutividade elétrica (C.E) da solução do solo (Figuras 31), observou-se que no ensaio de feijão os valores variaram de 0,20 a 0,68 dS m⁻¹ AR sem extrato de algas (S/A) e 0,20 a 0,81 dS m⁻¹ com extrato de algas (C/A). Para os tratamentos C (0,23 a 0,56 dS m⁻¹ S/A e 0,30 a 0,68 dS m⁻¹ C/A), DHM (0,31 a 0,52 dS m⁻¹ S/A e 0,31 a 0,70 dS m⁻¹ C/A) e DHS de 0,21 a 0,85 dS m⁻¹ S/A e 0,23 a 1,42 dS m⁻¹ C/A. Os maiores valores de C.E foi registrado na última época de avaliação pelo fato das plantas já estarem no processo de senescência.

A C.E diferiu estatística ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos para as épocas 1, 2 e 3 e na época 5 ($p \leq 0,05$). Para os tratamentos com e sem extrato de algas não houve diferença. Para interação entre os tratamentos ocorreu diferença estatística ($p \leq 0,05$) para as épocas 2 e 5.

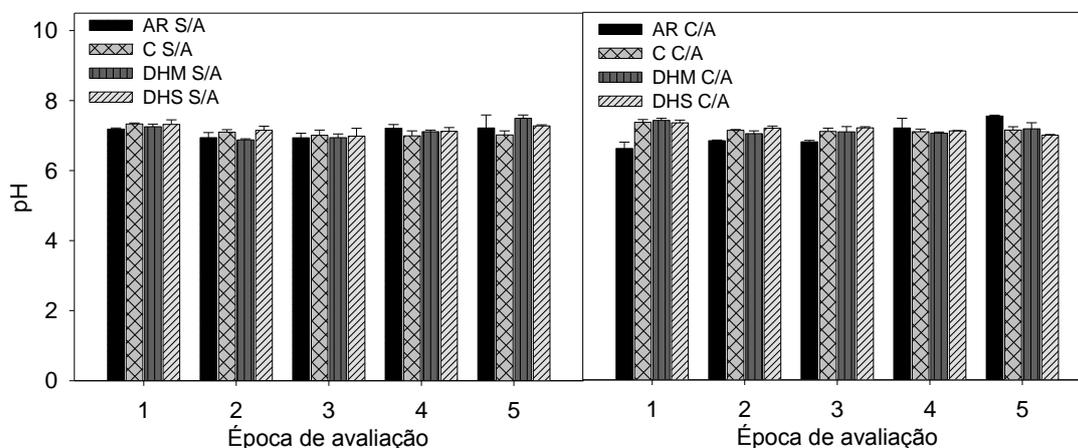
Figura 31 - Condutividade elétrica (C.E) de solução do solo no ensaio de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e sem extrato de algas (Painel esquerda) e com extrato de algas (Painel direita) em diferente épocas de avaliação



O pH (Figura 32) permaneceu com pouca variação, aonde para AR (6,94 a 7,20 S/A e 6,61 a 7,54 C/A), C (6,99 a 7,33 S/A e 7,02 a 7,36 C/A), DHM (6,88 a 7,50 S/A e 7,03 a 7,41 C/A) e DHS de 6,99 a 7,28 S/A e 6,99 a 7,34 C/A. Notou-se, que o pH do com extrato de algas apresentou mais baixo que no solo sem extrato de algas. Assim, houve ganho de fertilidade no solo em função do extrato de algas.

O pH diferiu ($p \leq 0,01$) para épocas 1, 2 e 3 para os tratamentos hídricos, contudo, exibiu diferença estatística ($p \leq 0,05$) para as épocas 2 e 4 para os tratamentos com e sem extrato de algas. Não houve diferença para interação entre tratamentos.

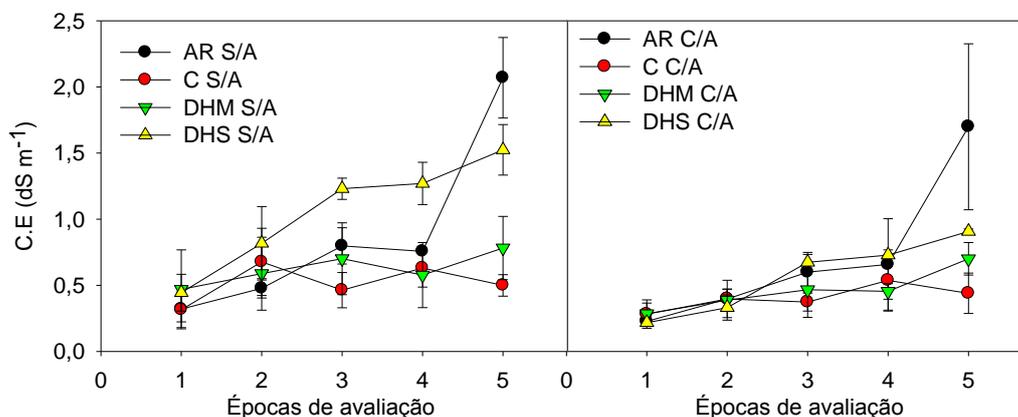
Figura 32 - Potencial hidrogeniônico (pH) de solução do solo no ensaio de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e sem extrato de algas (Painel esquerda) e com extrato de algas (Painel direita) em diferente épocas de avaliação



No ensaio de soja, os valores de C.E variaram de 0,22 a 1,69 dS m^{-1} AR sem extrato de algas (S/A) e 0,32 a 2,01 dS m^{-1} com extrato de algas (C/A) (Figura 33). Para o tratamento C (0,28 a 0,43 dS m^{-1} S/A e 0,45 a 0,67 dS m^{-1} C/A), DHM (0,28 a 0,70 dS m^{-1} S/A e 0,46 a 0,78 dS m^{-1} C/A) e DHS de 0,21 a 0,91 dS m^{-1} S/A e 0,33 a 1,52 dS m^{-1} C/A. O mesmo comportamento da C.E no ensaio de feijão foi observado no ensaio da soja pelo fato das plantas já estarem no processo de senescência também.

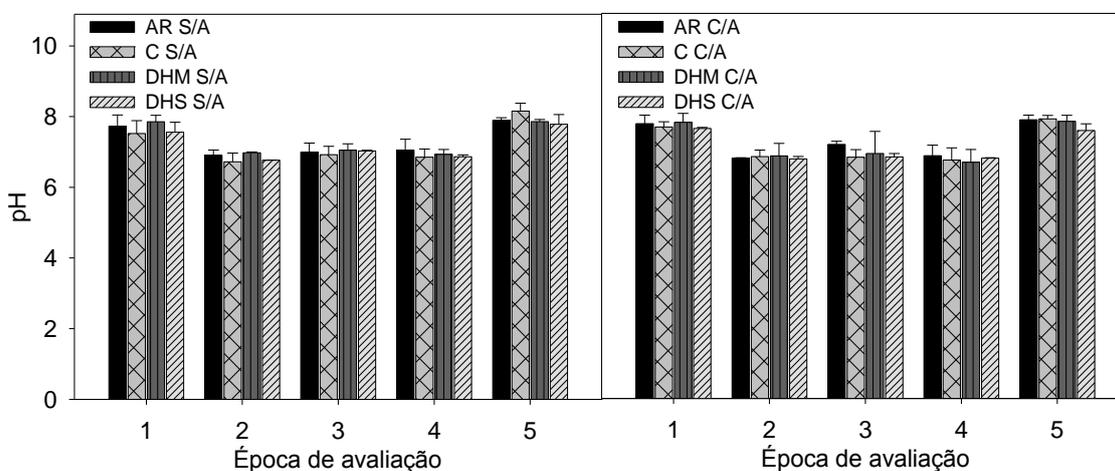
Para C.E houve diferença ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos para as épocas 3, 4 e 5. Para os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,01$) nas épocas 2, 3, 4 e na época 5 a ($p \leq 0,05$). Para interação entre os tratamentos ocorreu diferença estatística ($p \leq 0,05$) para as épocas 3 e 4.

Figura 33 - Condutividade elétrica (C.E) de solução do solo no ensaio de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e sem extrato de algas (Painel esquerda) e com extrato de algas (Painel direita) em diferentes épocas de avaliação



Assim como no ensaio de feijão, o pH no ensaio de soja (Figura 34), observou-se que não teve grandes oscilações, aonde para AR (6,90 a 7,89 S/A e 6,80 a 7,89 C/A), C (6,72 a 8,16 S/A e 6,83 a 7,91 C/A), DHM (6,93 a 7,79 S/A e 6,86 a 7,84 C/A) e DHS de 6,77 a 7,79 S/A e 6,78 a 7,59 C/A. No pH não houve diferença estática para os tratamentos hídricos, com e sem extrato de algas e interação entre os tratamentos para as épocas avaliadas.

Figura 34 - Potencial hidrogeniônico (pH) de solução do solo no ensaio de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e sem extrato de algas (Painel esquerda) e com extrato de algas (Painel direita) em diferentes épocas de avaliação



Na análise de solução do solo para o início e final do ciclo para macronutrientes para o feijoeiro e soja (Tabelas 14 e 16), ocorreu o acúmulo dos elementos N, P, K e Mg no final do ciclo para o ensaio de feijoeiro, na soja o mesmo aconteceu para N, Ca, Na e Mg.

Observou-se que, o tratamento AR exibiu maior concentração dos elementos nos dois ensaios. Já os demais nutrientes em função dos tratamentos não apresentou grandes alterações, onde esses nutrientes reduziram em relação ao início do ciclo.

Houve diferença para os nutrientes no início do ciclo, N, K, P e Mg ($p \leq 0,01$) e Ca ($p \leq 0,05$) para o feijoeiro, na soja, K e S no início e fim do ciclo, Ca, S e Na no final do ciclo ao ($p \leq 0,05$) para os tratamentos hídricos.

Para os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,01$) para Ca e N no início do ciclo, no final do ciclo Ca, B e P no feijoeiro, na soja para P, K, Ca e S no final do ciclo e Mg e Na no início e final do ciclo. Para interação entre os tratamentos não houve diferença estatística para os dois ensaios.

Os micronutrientes nos ensaios de feijão e soja nas Tabelas 15 e 17, não apresentaram variação do início ao final do ciclo. No entanto, houve diferença estatística ($p \leq 0,05$) Zn, Mn e B no fim do ciclo para o feijoeiro e Zn para a soja nos tratamentos hídricos.

Os tratamentos com e sem extrato de algas tiveram diferença ($p \leq 0,05$) Zn, Mn e B no fim do ciclo para o feijoeiro e Zn para a soja. Não houve diferença para a interação entre os tratamentos nos dois ensaios.

Tabela 14 - Análise de macronutrientes da solução do solo para dos tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas no ensaio de feijão

Trat.	Início do ciclo																											
	N		P				K				Ca				Mg				S				Na					
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	54,1	aA	35,6	aB	2,1	bB	2,6	aA	33,7	aA	33,0	aA	39,0	aA	36,3	aA	19,0	aA	20,0	aA	14,7	aA	15,3	aA	0,0	aA	0,0	aA
C	40,6	abA	32,2	aA	2,3	bA	2,5	aA	24,0	bA	27,0	aA	24,7	abA	26,0	aA	12,3	abA	13,7	abA	6,4	bA	6,3	bA	0,0	aA	0,0	aA
DHM	47,6	aA	31,4	aB	2,4	bA	2,5	aA	28,5	abA	24,7	aA	26,5	abA	21,7	aA	12,0	abA	11,3	bA	7,3	bA	5,9	bA	0,0	aA	0,0	aA
DHS	30,8	bA	31,5	aA	3,0	aA	2,4	aB	24,0	bA	27,0	aA	20,5	bA	26,5	aA	11,0	bA	14,0	abA	5,9	bA	6,1	bA	0,0	aA	0,0	aA
	Fim do ciclo																											
AR	71,2	aA	32,4	bB	4,2	aA	4,5	aA	26,7	aA	21,0	aA	18,7	aA	28,0	aA	16,3	aA	18,5	aA	8,0	bB	11,9	aA	0,0	aA	0,0	aA
C	48,4	aA	64,9	abA	2,8	bA	3,0	bA	55,7	aA	41,0	aA	87,3	aA	44,3	aA	47,7	aA	27,7	aA	5,6	cA	6,1	bA	0,0	aA	0,0	aA
DHM	53,5	aA	54,3	abA	4,3	aA	3,4	abA	26,5	aA	33,3	aA	39,0	aA	54,7	aA	20,5	aA	29,0	aA	12,9	aA	5,8	bB	0,0	aA	0,0	aA
DHS	49,3	aA	76,0	aA	3,8	abA	3,0	bA	59,5	aA	39,5	aA	83,5	aA	88,0	aA	44,0	aA	47,5	aA	4,6	cB	5,7	bA	0,0	aA	0,0	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 15 - Análise de micronutriente da solução do solo para os tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas no ensaio de feijão

Trat.	Início do ciclo																											
	B		Cu				Fe				Zn				Mn													
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	0,26	aA	0,27	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,17	aB	0,28	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA
C	0,29	aA	0,28	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,17	aA	0,19	bA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA
DHM	0,29	aA	0,27	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,19	aA	0,14	bA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA
DHS	0,32	aA	0,28	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,20	aA	0,15	bA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA
	Fim do ciclo																											
AR	0,27	aA	0,30	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,03	aA	0,02	aA	1,08	abA	1,00	aA	0,02	bA	0,01	aA	0,01	aA	0,01	aA	0,01	aA	0,01	aA
C	0,24	aA	0,22	bA	0,00	aA	0,00	aA	0,05	aA	0,02	aA	1,40	aA	1,11	aA	0,04	abA	0,01	aB	0,01	aB	0,01	aB	0,01	aB	0,01	aB
DHM	0,30	aA	0,24	bB	0,00	aA	0,00	aA	0,03	aA	0,05	aA	0,39	bA	0,74	aA	0,04	abA	0,01	aA	0,01	aA	0,01	aA	0,01	aA	0,01	aA
DHS	0,25	aA	0,24	bA	0,00	aA	0,00	aA	0,05	aA	0,04	aA	0,54	bB	1,06	aA	0,07	aA	0,02	aB	0,02	aB	0,02	aB	0,02	aB	0,02	aB

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 16 - Análise de macronutrientes da solução do solo para dos tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas no ensaio de soja

Trat.	Início do ciclo																											
	N		P		K		Ca		Mg		S		Na															
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A														
AR	9,8	aA	10,5	aA	4,6	aA	4,5	aA	24,3	aA	12,5	bA	36,3	aA	36,0	aA	6,7	aA	8,0	aA	7,4	aA	7,5	aA	23,3	aB	39,8	aA
C	10,7	aA	20,1	aA	4,3	aA	3,3	aA	23,3	aA	24,0	bA	42,0	aA	43,6	aA	10,0	aA	12,7	aA	6,0	abA	5,7	bA	8,4	aA	10,1	bA
DHM	8,4	aA	13,1	aA	4,5	aA	3,2	aA	15,0	aA	21,0	bA	38,0	aA	54,7	aA	8,0	aB	18,3	aA	6,7	abA	5,4	bA	28,2	aA	12,0	bA
DHS	9,1	aA	12,6	aA	4,5	aA	3,7	aA	24,0	aB	43,5	aA	38,0	aA	47,5	aA	8,0	aA	13,0	aA	5,5	bA	6,3	abA	5,4	aA	9,5	bA
TRAT.	Fim do ciclo																											
AR	20,5	aA	23,1	aA	2,2	bA	2,7	aA	10,3	aA	10,0	bA	75,0	aA	43,5	aB	21,3	aA	8,5	aB	60,7	aA	40,6	aB	44,8	aA	47,4	aB
C	17,3	aA	18,7	aA	1,8	bA	1,9	aA	11,3	aA	11,7	bA	49,0	abA	41,7	aA	14,0	aA	9,3	aA	4,1	bA	4,4	bA	14,3	bA	10,9	bA
DHM	24,5	aA	18,7	aA	2,8	abA	2,4	aA	11,0	aA	11,7	bA	35,0	bA	45,3	aA	6,5	aA	12,7	aA	6,2	bA	5,1	bA	31,7	bA	15,5	bA
DHS	20,3	aA	24,5	aA	3,8	aA	2,7	aB	12,0	aB	44,0	aA	39,5	bB	65,5	aA	8,5	aB	23,0	aA	4,6	bA	8,2	bA	11,9	bA	27,9	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 17 - Análise de micronutriente da solução do solo para os tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas no ensaio de soja

Trat.	Início do ciclo																			
	B		Fe		Cu		Mn		Zn											
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A										
AR	0,13	aA	0,07	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,01	aA	0,01	aA	0,79	aA	0,75	aA
C	0,06	aA	0,04	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,01	aA	0,00	aA	0,67	aA	0,44	aA
DHM	0,09	aA	0,05	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,01	aA	0,00	aA	0,40	aA	0,43	aA
DHS	0,00	aA	0,06	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,01	aA	0,01	aA	0,53	aA	0,58	aA
Trat.	Fim do ciclo																			
AR	0,00	aA	0,00	aA	0,02	aA	0,03	abA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,34	abA	0,29	aA
C	0,00	aA	0,00	aA	0,01	aB	0,03	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,21	bA	0,20	aA
DHM	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	bA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,32	abA	0,26	aA
DHS	0,00	aA	0,00	aA	0,02	aA	0,02	abA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,66	aA	0,36	aB

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.2 Relações hídricas

Em função da necessidade hídrica das culturas e as condições ambientais (DPV alto) constatou-se que os tratamentos de AR e C foram os que receberam o maior volume de água durante todo ciclo, na ordem de 353,21 mm, 302,90 mm, 490,77 mm e 453,06 mm ciclo⁻¹ para feijão e soja, respectivamente. Já os tratamentos de DHM e DHS em função da redução da irrigação em 50% e 25% da NHC, expressaram os seguintes volumes 207,97 mm, 184,72 mm, 220,68 mm e 183,21 mm ciclo⁻¹ para feijoeiro e soja respectivamente (Tabela 18).

Segundo Yagi et al. 2015, estudando o efeito da nodulação e produtividade de grãos de feijoeiro diante da adubação nitrogenada, constataram que o volume de água requerido por ciclo para o cultivo do feijoeiro varia de 300 a 500 mm ciclo⁻¹. De acordo com a EMBRAPA (2011), em pesquisa com uso de tecnologias na produção de soja na região central do Brasil a soja necessita de 450 a 800 mm ciclo⁻¹ para atingir altas produtividades. Tais resultados corroboram com o do presente estudo, considerando-se que a soja requereu 490 mm para o ciclo completo (Tabela 18).

Tabela 18 - Tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS) nos ensaios de feijão e soja, teor de água médio, lâminas aplicadas antes da diferenciação dos tratamentos (Inicial) e após a diferenciação dos tratamentos (Irrigação), lâmina de irrigação total no ciclo da cultura (Total) e número de irrigações no ciclo da cultura (NI)

ENSAIO DE FEIJÃO					
Tratamentos	Teor de água (%)	Lâminas (mm)			NI (unid)
		Inicial	Irrigação	Total	
AR	17,0	172,38	180,83	353,21	48
C	17,5	165,58	137,32	302,90	43
DHM	10,0	166,79	41,18	207,97	42
DHS	7,7	165,93	18,79	184,72	36
ENSAIO DE SOJA					
Tratamentos	Teor de água (%)	Lâminas (mm)			NI (unid)
		Inicial	Irrigação	Total	
AR	17,1	155,81	334,96	490,77	58
C	17,0	159,06	294,00	453,06	50
DHM	9,8	157,34	63,34	220,68	45
DHS	7,8	158,84	24,37	183,21	34

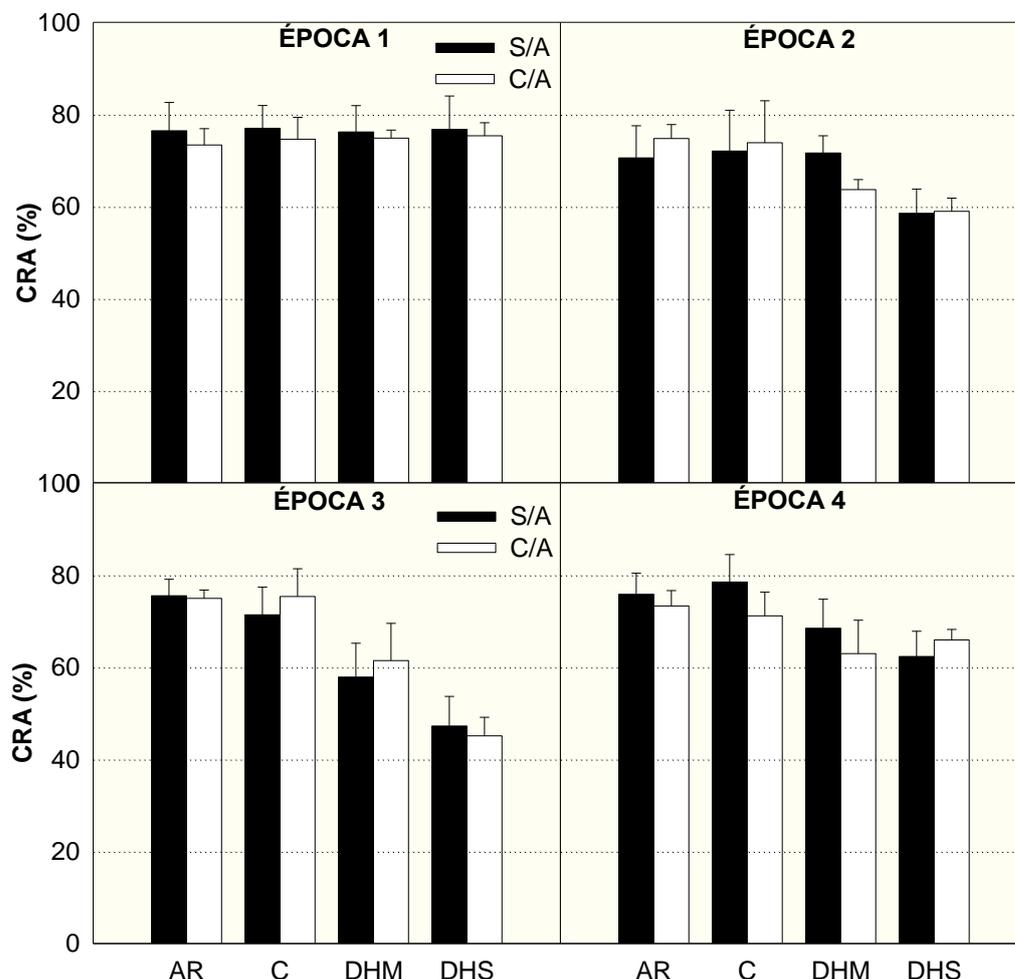
4.2.1. Conteúdo relativo de água (CRA)

A redução do conteúdo relativo de água (CRA) nos tecidos vegetais impede a expansão celular, bem como, o crescimento dos tecidos, além de causar diversas

outras ações metabólicas na fotossíntese e condutância estomática, entre outros. O CRA representa o conteúdo (%) de água presente nos tecidos vegetais, bem como a turgidez das células.

Na figura 35, o maior valor de CRA na planta de feijoeiro foi de 78,48% para o tratamento controle (C) sem extrato de algas, na 4ª época de avaliação. Já o menor valor foi registrado para as plantas cultivadas sob DHS com extrato de algas (45,07%), na 3ª época de avaliação. Em relação aos tratamentos hídricos, houve diferença estatística ($p \leq 0,01$) nas épocas 2, 3 e 4. Porém, os tratamentos com extrato de algas e interação entre os tratamentos não diferiram estatisticamente. Segundo Cruz e Pastenes (2012), a termotolerância das plantas de feijoeiro induzidas a DH em relação aos parâmetros fisiológicos, indicou que para o tratamento controle de água o CRA foi de 95% sendo que para os tratamentos com DH o valor caiu para 76,93%.

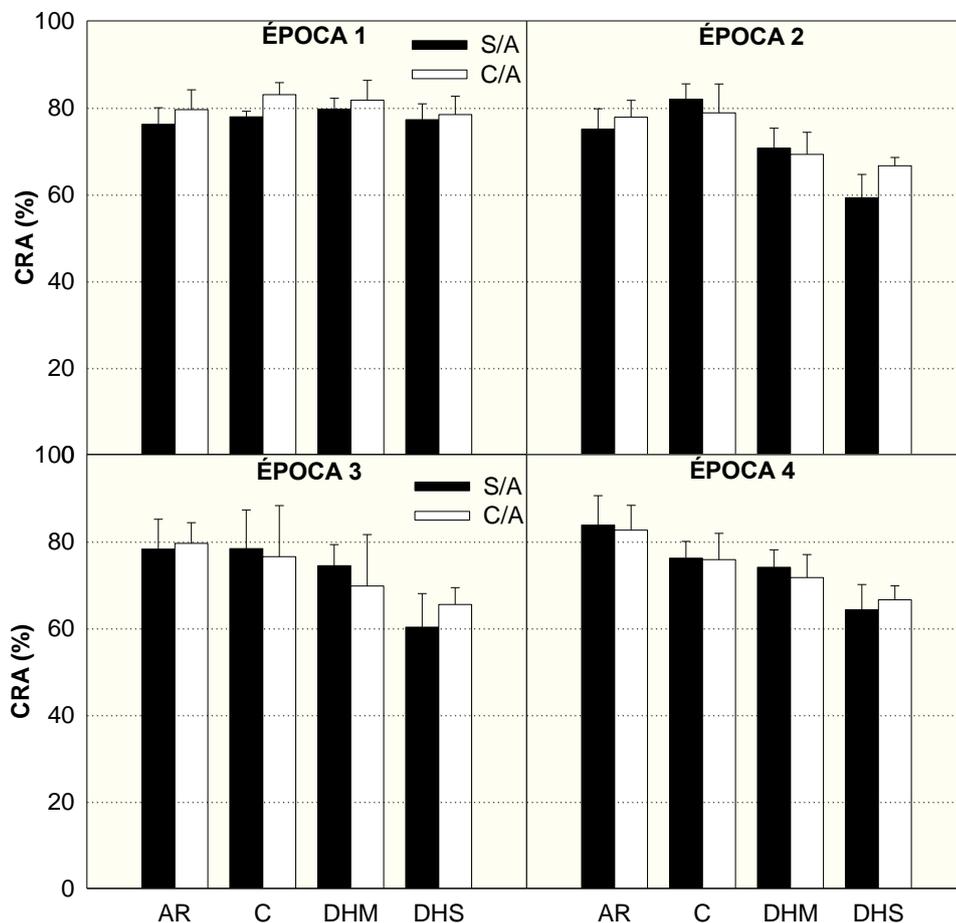
Figura 35 - Conteúdo relativo de água na planta (CRA) em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas (sem extrato de algas-S/A e com extrato de algas-C/A) para cada época de avaliação na cultura do feijoeiro



A Figura 36 resume que os maiores valores de CRA em plantas de soja foram para medidos em plantas submetidas aos tratamentos C (82,98%) na épocas 1 e AR (83,77%) na época 4 bem como sem uso de extrato de algas nas plantas. O tratamento DHS apresentou os menores valores de CRA, onde, na época 2 para as plantas que não receberam o extrato de algas alcançou valor médio de 59,22%.

O CRA na soja diferiu ($p \leq 0,01$) para as épocas 2, 3 e 4 para os tratamentos hídricos. Com aplicação de extrato de algas, houve diferença na época 1 ($p \leq 0,05$) e na época 3 ($p \leq 0,01$). Já para interação dos tratamentos, não houve diferença estatística. Fioreze et al. (2011), estudando o comportamento de genótipos de soja submetidos a DH observaram que as plantas submetidas a menor disponibilidade hídrica, apresentam valores de CRA menor (60 a 45 %) em relação a plantas irrigadas plenamente, as quais alcançaram valor médio de 90%, valor essa acima do presente estudo.

Figura 36 - Conteúdo relativo de água na planta (CRA) em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas (sem extrato de algas-S/A e com extrato de algas-C/A) para cada época de avaliação na cultura da soja

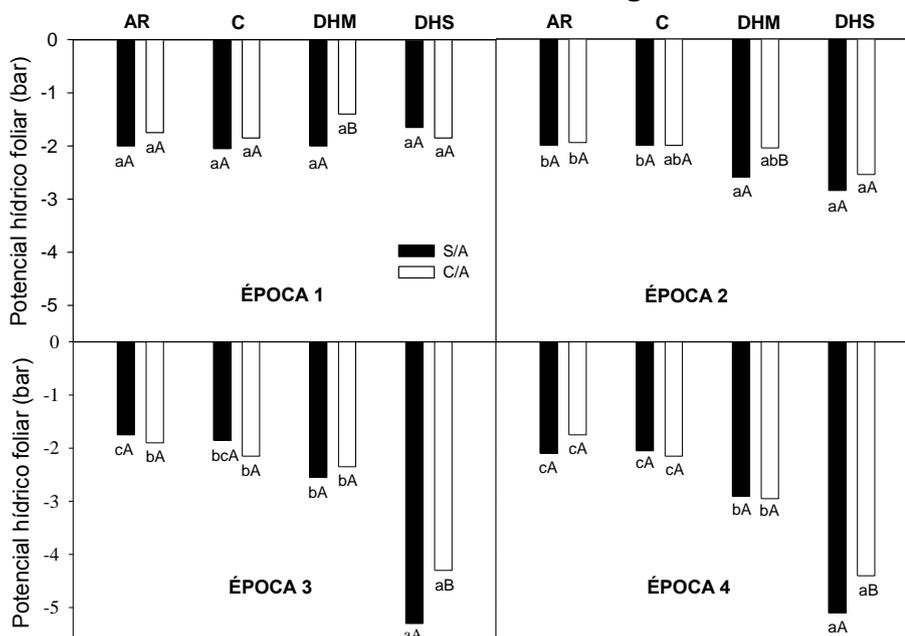


4.2.2 Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (Ψ_{H_f}) é a condição hídrica nas plantas entre o meio e exterior, solo e atmosfera. O potencial representa o potencial químico da água, ou seja, a força associada à energia livre das moléculas de água nas plantas. Observou-se que os maiores valores de potencial Ψ_{H_f} foram para os tratamentos AR (em média -1,96 bar S/A e -1,83 bar C/A) e C (em média -1,99 bar S/A e -2,02 C/A) para todas as épocas do feijoeiro. Na soja o Ψ_{H_f} médio foi de -1,98 a -1,88 bar para AR S/A e C/A o tratamento C (-2,11 a -1,89 bar para S/A e C/A). Os tratamentos DHM (-2,68 a -2,45 bar no feijoeiro e -3,55 a -3,15 bar na soja para S/A e C/A) e DHS (-4,42 a -3,75 bar no feijoeiro e 5,0 a 4,25 bar na soja para S/A e C/A) registou-se os menores potenciais para as plantas de feijoeiro e soja para as épocas 2, 3 e 4 (Figuras 37 e 38).

Para aos tratamentos hídricos houve diferença estatística ($p \leq 0,01$) para as épocas 2, 3 e 4 para a cultura de feijoeiro e soja. Já os tratamentos com e sem extrato de algas diferiu ($p \leq 0,05$) apenas na época 2 e 4 no feijoeiro e para todas as épocas na soja, porém, para interação entre os tratamentos apenas nas épocas 3 e 4 no feijoeiro e época 4 na soja.

Figura 37 - Potencial hídrico foliar (Ψ_{H_f}) em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação na cultura do feijoeiro. As letras minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.



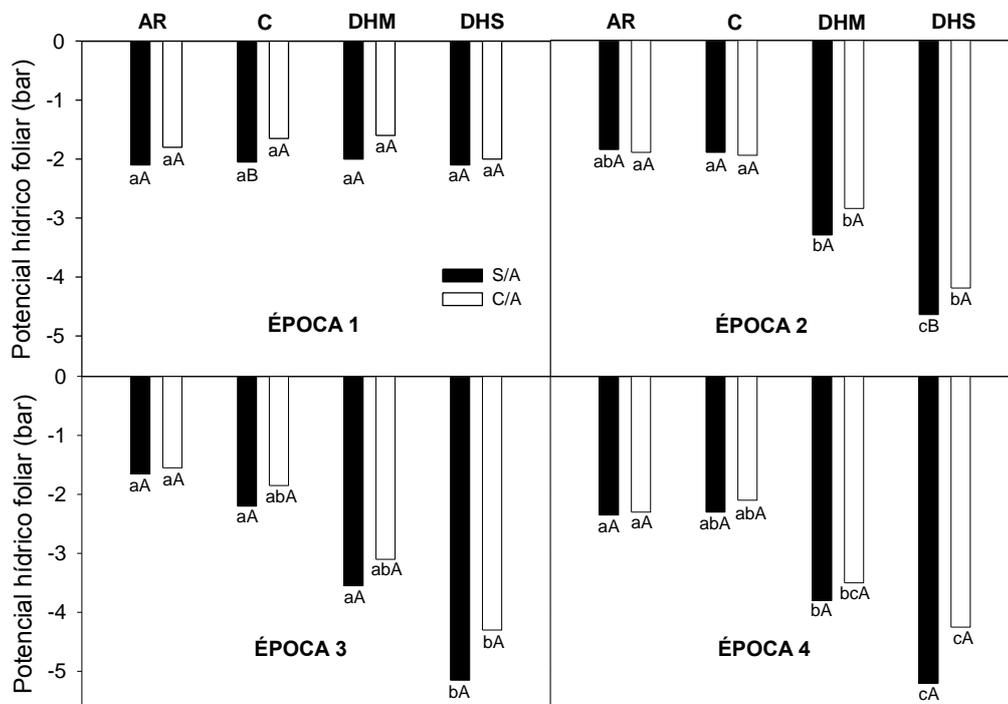
Nascimento et al. (2011), analisando a tolerância do feijão-caupi a DH observou que os valores médios de potencial hídrico foliar para plantas sem estresse foi de 1,0 Mpa e com estresse de 1,65 Mpa.

Rocha e Távora, (2013), estudando relações hídricas em plantas de feijão de corda submetido à DH. Os autores mediram valores médios de potencial hídrico foliar na ordem de 1,04 Mpa para o tratamento controle e 1,35 MPa para o tratamento com estresse.

Muriefah (2015), avaliando o efeitos do paclobutrazol no crescimento da soja sob condições de DH obteve valores de Ψ_{H_f} de 0,58 MPa para o tratamento controle e 2,2 MPa para plantas com estresse hídrico.

Já Khan et al. (2015), analisando as relações hídricas na cultura da soja sob estresse hídrico e salino encontraram valores de Ψ_{H_f} de 0,78 MPa para o controle e 1,06 MPa para o tratamento de estresse hídrico mais salino.

Figura 38 - Potencial hídrico foliar (Ψ_{H_f}) em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação na cultura da soja. As letras minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A representa os tratamentos que receberam o extrato de algas



4.3 Avaliação de crescimento e biomassa

4.3.1 Altura de plantas

Para os parâmetros de crescimento, verificou-se que no tratamento de AR e C, as plantas do feijoeiro e soja apresentaram as maiores alturas para todas as épocas de avaliação. A altura de plantas variou de 43,5 a 60,5 cm para AR e o C de 40 a 56 cm para o feijoeiro da época 1 a 4. Na soja foi de 50,1 a 92,2 cm para AR e C de 46,1 a 62,1 cm. Para os tratamentos de deficiência hídrica (DHM e DHS), as plantas de feijoeiro e soja apresentaram o desenvolvimento ligeiramente afetado, as quais tiveram menos crescimento (Tabelas 19 e 20).

Em relação aos tratamentos hídricos houve diferença estatística ($p \leq 0,01$) nas épocas 2, 3 e 4 para o feijoeiro e soja. Para os tratamentos com e sem extrato de algas e interação não diferiram estatisticamente nos dois ensaios.

Gonçalves et al. (2015), avaliando a capacidade combinatória do feijoeiro comum submetido a DH, encontraram alturas de planta de 22 cm quando irrigadas e 15 cm para plantas sob DH. Já Vale et al. (2012), estudando a tolerância a DH em feijoeiro obtiveram altura de plantas entre 31 e 89 cm, considerando-se diferentes genótipos.

Tabela 19 - Análise biométrica da altura de plantas de feijoeiro em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Altura de planta (cm planta ⁻¹)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A		
AR	43,6	aA	44,7	aA	58,8	aA	64,7	aA	57,3	aA	62,8	aA	62,2	aA	60,5	aA
C	40,7	aA	43,7	aA	47,1	bA	48,9	bA	52,5	abA	51,7	bA	52,2	bA	56,0	aA
DHM	41,0	aA	42,7	aA	50,0	abA	47,9	bA	48,4	bA	49,7	bA	48,5	bcA	53,1	abA
DHS	40,7	aA	41,8	aA	45,9	bA	45,7	bA	50,1	abA	49,2	bA	43,8	cA	46,7	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Teodoro et al. (2015), observou o efeito da aplicação foliar com silício na cultura da soja sob condições de DH e obtiveram AP entre 94 e 105 cm. Gava et al. (2015), obtiveram AP média de 115 cm em plantas de soja cultivadas sob DH. No presente estudo o tratamento AR foi o que mais se aproximou do estudos relatados.

Tabela 20 - Análise biométrica da altura de planta de soja em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Altura de planta (cm planta ⁻¹)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	50,1	aA	49,6	aA	79,4	aA	81,6	aA	93,2	aA	90,4	aA	92,2	aA	91,5	aA
C	46,1	aA	49,0	aA	58,2	bA	59,8	bA	62,0	bA	69,6	bA	62,1	bB	76,5	bA
DHM	50,1	aA	50,1	aA	50,8	bA	58,2	bA	53,6	bB	63,2	bA	57,9	bA	62,1	cA
DHS	44,9	aB	50,7	aA	51,6	bA	58,0	bA	55,6	bA	56,8	bA	54,7	bA	54,4	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.3.2 Diâmetro de caule

Na biometria de caule (Tabelas 21 e 22), observou-se que as plantas de feijoeiro e soja mantidas sob DH demonstraram menores valores, porém, as plantas sob o mesmo regime hídrico e que receberam extrato de algas, em geral, apresentaram maiores diâmetros.

Para diâmetro de caule os tratamentos hídricos apresentaram diferença estatística ($p \leq 0,01$) apenas na época 2 para o feijoeiro e para as épocas 2, 3 e 4 para a soja. Não houve diferença para os tratamentos com e sem extratos de algas para o feijoeiro, porém, na soja houve diferença ($p \leq 0,01$) na época 2. Já para interação entre os tratamentos não houve diferença no ensaio de feijão e soja.

Vale et al. (2012), observando a tolerância do feijoeiro ao estresse hídrico em diferentes genótipos, obtiveram valores de diâmetro de caule entre 3,1 a 4,4 mm. Cunha et al. (2015), testando diferentes tratamentos de sementes de soja, constataram que os diâmetros de caule aumentaram de 3,3 mm aos 15 DAE a 7,9 mm aos 45 DAE.

Tabela 21 - Análise biométrica do diâmetro do caule do feijoeiro em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.

Trat.	Diâmetro do caule (mm planta ⁻¹)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	4,63	aA	4,66	aA	6,15	aA	6,71	aA	5,77	aA	5,67	aA	5,63	aA	5,52	aA
C	4,55	aA	4,58	aA	5,27	bA	5,11	bA	5,13	aA	5,50	aA	5,52	aA	5,59	aA
DHM	4,48	aA	4,60	aA	5,80	abA	5,11	bB	5,34	aA	5,14	aA	4,79	aA	5,37	aA
DHS	4,70	aA	4,50	aA	5,35	abA	5,47	bA	5,10	aA	5,06	aA	4,45	aA	5,32	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Segundo Junior et al. (2014), a redução do espaçamento entre linhas na cultura da soja promove alteração no diâmetro do caule de 7,0 mm em alto adensamento para 4 mm em baixo adensamento populacional. Os valores corroboram com o do presente estudo.

Tabela 22 - Análise biométrica do diâmetro do caule da soja em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Diâmetro do caule (mm planta ⁻¹)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	4,72	aA	4,28	bA	6,40	aA	7,20	aA	7,51	aA	6,76	aB	7,26	aA	7,34	aA
C	4,55	aA	4,75	abA	6,00	abA	6,40	abA	6,32	bA	7,01	aA	5,60	bA	5,77	bA
DHM	5,19	aA	4,53	abA	5,20	bB	6,40	abA	6,07	bA	5,98	aA	5,63	bA	6,16	abA
DHS	4,61	aA	5,19	aA	5,40	abA	5,80	bA	6,46	bA	6,09	aA	5,29	bA	5,88	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.3.3 Número de folhas

A folha exerce um papel importante na planta, pois é por meio dela que o vegetal absorve o gás carbônico e a luz solar para a fotossíntese. Nos presentes ensaios, observou-se que o número de folhas foi afetado com a imposição da deficiência hídrica. Nessa condição experimental as plantas perderam muitas folhas, provavelmente como efeito secundário da diminuição da disponibilidade de água, o que causou abscisão foliar. As plantas de feijoeiro e soja que receberam o extrato de algas, de forma geral apresentaram maior número de folhas (Tabela 23 e 24),

comparado aos demais tratamentos. No tratamento AR obteve-se o melhor resultado em função da carga de nutrientes presente na água.

Para os tratamentos hídricos, o número de folhas diferiu estatisticamente ($p \leq 0,01$) em todas as épocas de avaliação no feijoeiro e para a soja nas épocas 2, 3 e 4. Em relação aos tratamentos com e sem extrato de algas, não houve diferença estatística no feijoeiro e soja. Já na interação entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) na época 2 no feijoeiro e não houve diferença para a soja.

Abo-Sedera et al. (2016), testando o efeito do fertilizante orgânico via pulverização foliar no crescimento do feijoeiro observaram que o número de folhas foi de 22 para plantas que receberam extrato de algas e 17 folhas para o tratamento sem extrato de algas. Já Silva et al. (2009), estudando a interferências de plantas daninhas em diferentes densidade de plantas de soja observaram que número de folhas apresenta um crescimento linear até os 50 DAE. Portanto, os valores do presente estudo mostrou-se superiores aos encontrados na literatura.

Tabela 23 - Análise biométrica do número de folhas do feijoeiro em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Número de folhas por planta															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	18	aA	23	aA	37	aB	53	aA	48	aA	51	aA	52	aA	52	aA
C	15	aA	15	bA	38	aA	37	bA	36	bA	36	bA	35	bB	41	abA
DHM	19	aA	20	abA	34	aA	29	bA	33	bA	37	bA	33	bA	34	bA
DHS	16	aA	17	abA	26	aA	30	bA	30	bA	32	bA	19	cA	19	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 24. Análise biométrica do número de folhas da soja em função dos tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.

Trat.	Número de folhas por planta															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	32	aA	27	aA	65	aA	69	aA	88	aA	70	aB	68	aA	74	aA
C	25	aA	27	aA	42	bA	52	abA	47	bA	48	bA	47	abA	48	abA
DHM	26	aA	26	aA	32	bA	37	bcA	39	bcA	38	bA	34	bA	32	bA
DHS	24	aA	28	aA	30	bA	29	cA	24	cA	31	bA	29	bA	31	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.3.4 Área foliar

A área foliar (AF) representa capacidade fotossintética e de interceptação de luz dos vegetais, portanto, quando afetada causa desequilíbrio nas funções fisiológicas da planta. Observou-se que no ensaio de feijoeiro e soja o tratamento AR e C com extrato de algas apresentaram as maiores áreas foliares. Já DHM e DHS sem extrato de algas, tiveram a área foliar reduzida em função da DH e a oscilação do DPV nos dois ensaios (Tabela 25 e 26). A diminuição nos valores de AF em função dos tratamentos está diretamente correlacionada com a queda expressiva no número de folhas, principalmente nas plantas sob tratamento de DHS. Este fator, indica que essas duas espécies consideradas glicófitas não recorrem a estratégias adaptativas de diminuição da área foliar em si.

A AF diferiu estatisticamente ($p \leq 0,01$) nas épocas 2, 3 e 4 para os tratamentos hídricos para o feijoeiro e a soja. Os tratamentos com e sem extrato de algas não apresentou diferença estatística no feijoeiro. Já para soja, houve diferença ($p \leq 0,05$) na época 1 e 3. Para a interação dos tratamentos apenas na época 4 ($p \leq 0,05$) e no feijoeiro na época 3 ($p \leq 0,01$).

Oliveira et al. (2013), avaliaram a interação entre bioestimulante e a salinidade em feijoeiro. Encontraram valores de AF $0,188 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ para os tratamentos com extrato de algas e na faixa de $0,0905 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ para os tratamentos sem extrato de algas. Campos et al. (2008), avaliando o crescimento da soja com extrato de algas, observaram que o extrato de algas não influenciou significativamente no aumento da área foliar.

Tabela 25 - Determinação da área foliar total do feijoeiro em função dos tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Área foliar ($\text{m}^2 \text{ planta}^{-1}$)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	0,09	aA	0,10	aA	0,19	aB	0,25	aA	0,21	aA	0,21	aA	0,21	aA	0,22	aA
C	0,08	aA	0,08	aA	0,12	abA	0,10	bA	0,12	bA	0,13	bA	0,13	bA	0,15	bA
DHM	0,09	aA	0,09	aA	0,14	abA	0,12	bA	0,11	bcA	0,11	bcA	0,10	bA	0,12	bA
DHS	0,09	aA	0,08	aA	0,08	bA	0,11	bA	0,07	cA	0,07	cA	0,03	cA	0,04	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 26 - Determinação da área foliar total da soja em função dos tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat	Área foliar (m ² planta ⁻¹)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4		Época 1		Época 2		Época 3		Época 4	
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A
AR	0,06	aA	0,06	aA	0,15	aA	0,181	aA	0,24	aA	0,17	aB	0,18	aA	0,16	aA
C	0,06	aA	0,06	aA	0,07	bA	0,10	bA	0,10	bA	0,10	bA	0,09	bA	0,11	abA
DHM	0,07	aA	0,06	aA	0,06	bA	0,08	bA	0,06	bcA	0,08	bA	0,05	bcA	0,06	bcA
DHS	0,06	aB	0,07	aA	0,04	bA	0,05	bA	0,04	cA	0,07	bA	0,03	cA	0,04	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.3.5 Biomassa fresca e seca de folha

A biomassa de folha fresca (MF) e seca (MS) do feijoeiro (Tabelas 27 e 28), nota-se que os tratamentos hídricos que receberam extrato de alga apresentaram maior massa fresca e seca em quase todas as épocas de avaliação. Para DHM e DHS houve uma redução da massa fresca e seca em função da limitação hídrica, porém as plantas que receberam extrato de algas apresentaram maiores valores.

A MF de folha diferiu estatisticamente ($p \leq 0,01$) nas épocas 2, 3 e 4, no entanto, a MS das folhas apenas nas épocas 2 e 4 para os tratamentos hídricos. Para os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,01$) na época 2 para MF e nas épocas 2 e 3 para MS. Já a interação entre os tratamentos diferiu ($p \leq 0,01$) na época 3 para a MF e a MS não apresentou alteração.

Bonfim et al. (2012), observaram que as plantas de feijoeiro sob estresse hídrico tratadas com *Arnica montana* apresentaram massa fresca de parte de 42,41 g, porém, o controle exibiu massa fresca da parte aérea de 19,78 g. Por outro lado, Gonçalves et al. (2015), em análise combinatória em feijoeiro submetido a DH, observaram que a massa seca de folhas foi afetada em grande parte dos genótipos de feijoeiro, portanto, a parte aérea do feijoeiro sofreu alterações quando cultivado sob DH.

Tabela 27 - Biomassa fresca de folha do feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Massa fresca de folha (g planta ⁻¹)																
Trat.	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	19,2	aA	22,7	aA	38,3	aB	51,5	aA	39,7	aA	40,7	aA	45,6	aA	45,0	aA
C	19,0	aA	19,2	aA	28,5	abA	21,9	bA	30,0	abA	30,0	bA	33,4	abA	35,2	abA
DHM	21,8	aA	19,6	aA	31,5	abA	24,7	bA	23,7	bcA	24,2	bcA	22,7	bA	26,4	bA
DHS	20,4	aA	18,4	aA	19,1	bA	22,5	bA	15,1	cA	15,7	cA	5,5	cA	8,3	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 28 - Biomassa seca de folha do feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Massa seca de folha (g planta ⁻¹)																
Trat.	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	2,52	aA	2,98	aA	6,53	aB	9,15	aA	6,38	aA	6,67	aA	6,20	aA	6,00	aA
C	2,53	aA	2,54	aA	4,66	abA	3,70	bA	4,57	aA	4,12	aA	4,33	abA	4,54	abA
DHM	2,86	aA	2,69	aA	4,35	abA	3,65	bA	3,13	aA	3,78	aA	2,90	bcA	3,22	bcA
DHS	2,81	aA	2,40	aA	2,76	bA	3,30	bA	1,91	aB	3,06	aA	0,80	cA	1,07	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Para a biomassa de folha fresca e seca da soja (Tabelas 29 e 30), observou-se que as plantas do tratamento AR e C apresentaram as maiores MF e MS. Porém, as plantas destes tratamentos (AR e C) tratadas com extrato de algas apresentaram melhores resultados. Para DHM e DHS houve uma redução da MF e MS, contudo as que receberam extrato de algas apresentaram maiores valores.

A MF e MS diferiu estatisticamente ($p \leq 0,01$) nas épocas 2, 3 e 4 para os tratamentos hídricos. Para os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,01$) apenas na época 2 para MF e MS. Já a interação entre os tratamentos diferiu ($p \leq 0,05$) nas épocas 1 e 3 para MF e na época 1 para a MS.

Vieira et al. (2013), estudando os aspectos fisiológicas da soja sob DH, verificaram que ocorre redução da massa fresca da parte aérea conforme a intensidade de DH. Fioreze et al. (2011), estudando o desempenho de genótipos de soja sob DH em ambiente protegido, constataram que a massa seca da folhas de soja reduz a medida que aumentou-se o estresse.

Tabela 29 - Biomassa fresca de folha da soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Massa fresca de folha (g planta ⁻¹)																
Trat.	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	7,4	aA	6,9	aA	21,9	aA	25,2	aA	35,5	aA	25,7	aB	27,6	aA	24,7	aA
C	6,8	aA	7,5	aA	12,0	bB	16,4	bA	16,1	bA	17,1	bA	14,1	bA	16,8	abA
DHM	8,3	aA	7,7	aA	9,29	bcA	12,4	bcA	10,0	bcA	13,2	bcA	9,0	bA	10,5	bA
DHS	6,2	aB	9,1	aA	6,1	cA	9,4	cA	6,4	cA	8,5	cA	5,6	bA	8,7	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 30 - Biomassa seca de folha da soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Massa seca de folha (g planta ⁻¹)																
Trat.	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	2,00	aA	1,88	aA	6,00	aA	6,65	aA	9,69	aA	7,48	aB	7,76	aA	7,23	aA
C	1,75	aA	1,89	aA	3,10	bA	4,18	bA	3,89	bA	4,40	bA	3,89	bA	4,52	abA
DHM	2,08	aA	1,93	aA	2,58	bA	3,37	bcA	4,20	bA	3,65	bA	2,73	bA	3,25	bA
DHS	1,61	aB	2,29	aA	1,78	bA	2,54	cA	1,88	bA	2,27	bA	1,67	bA	2,89	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.3.6 Biomassa fresca e seca de caule

Para a massa fresca e seca de caule do feijoeiro (Tabelas 31 e 32), observou-se que ocorreu incremento na biomassa caulinar das plantas que receberam extrato de algas nos tratamentos hídricos. As plantas que receberam extrato de algas apresentaram maior retenção de água no caule e formação de massa seca.

A MF e MS do caule diferiu estatisticamente ($p \leq 0,01$) nas épocas 2, 3 e 4, para os tratamentos hídricos. Para os tratamentos com e sem extrato de algas não houve diferença estatística MF e MS. Já a interação entre os tratamentos houve diferença para MF ($p \leq 0,01$) na época 3 e MS não diferiu.

De acordo com Mógor et al. (2008), em estudos com aplicação foliar de extrato de algas e cálcio em feijoeiro, obtiveram ganhos de massa fresca e seca de caule para as plantas que receberam extrato de algas.

Tabela 31 - Biomassa fresca de caule do feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Massa fresca de caule (g planta ⁻¹)																
Trat.	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	10,2	aA	12,5	aA	27,3	aB	28,9	aA	27,0	aA	27,6	aA	30,4	aA	29,1	aA
C	10,8	aA	10,4	aA	20,5	aA	17,8	bA	22,2	abA	22,3	abA	25,2	abA	27,2	aA
DHM	11,5	aA	13,3	aA	24,3	aA	21,8	bA	19,3	bA	19,6	bA	18,8	bcA	23,2	abA
DHS	12,3	aA	10,4	aA	17,9	aA	18,6	bA	16,2	bA	16,1	bA	9,6	cA	14,7	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 32 - Biomassa seca de caule do feijoeiro para os tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Massa seca de caule (g planta ⁻¹)																
Trat.	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	1,27	aB	1,77	aA	5,52	aB	7,92	aA	6,2	aA	7,5	aA	7,0	aA	6,3	aA
C	1,18	aA	1,18	aA	3,65	abA	3,36	bA	5,0	abA	5,0	bA	5,0	abA	5,7	aA
DHM	1,46	aA	1,20	aA	4,19	abA	3,55	bA	4,2	abA	4,2	bA	3,5	bcA	4,2	abA
DHS	1,28	aA	1,22	aA	3,20	bA	3,32	bA	3,2	bA	3,1	bA	1,9	cA	2,7	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Para a soja, a massa fresca e seca do caule (Tabelas 33 e 34), observou-se similaridade com os resultados de MF e MS das folhas. Onde, a soja que recebeu o extrato de algas obteve-se os melhores resultados. O tratamento de AR expressou maior MF e MS. Já as plantas do tratamento DHS sem extrato de algas exibiu menor desenvolvimento do caule e conseqüentemente MF e MS do mesmo.

A MF e MS do caule de soja diferiu estatisticamente ($p \leq 0,01$) nas épocas 2, 3 e 4 para os tratamentos hídricos. Os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,01$) nas épocas 1, 2 e 3 para MF e nas épocas 2 e 3 ao ($p \leq 0,05$) para MS. Já a interação entre os tratamentos houve diferença para MF e MS ($p \leq 0,05$) nas época 1 e 3.

Cunha et al. (2015), relatam que a massa fresca e seca de caule na soja apresentam ganhos significativos para semente tratadas, onde as maiores massas de caule foram para as plantas tratadas com tiametoxan.

Tabela 33 - Biomassa fresca de caule do soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Massa fresca de caule (g planta ⁻¹)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	9,6	aA	9,0	aA	25,2	aB	31,6	aA	41,5	aA	30,5	aB	33,7	aA	36,2	aA
C	8,7	aA	10,2	aA	13,6	bB	20,1	bA	16,6	bA	20,3	bA	16,7	bA	20,7	bA
DHM	11,3	aA	9,7	aA	10,8	bB	16,6	bA	12,6	bA	15,8	bA	12,4	bA	16,2	bA
DHS	9,0	aB	12,1	aA	10,2	bA	13,7	bA	12,7	bA	14,2	bA	10,2	bA	15,3	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 34 - Biomassa seca de caule da soja para os tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Massa seca de caule (g planta ⁻¹)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	1,85	aA	1,66	bA	5,92	aA	6,97	aA	11,61	aA	8,61	aB	10,37	aA	11,04	aA
C	1,70	aA	1,92	abA	3,19	bB	4,64	bA	4,03	bA	5,15	bA	4,16	bA	5,29	bA
DHM	2,21	aA	1,90	abA	2,79	bB	4,32	bA	3,12	bA	4,33	bA	3,47	bA	4,51	bA
DHS	1,78	aB	2,40	aA	2,62	bA	3,63	bA	3,43	bA	3,97	bA	2,84	bA	4,33	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.3.7 Biomassa fresca e seca de raízes

Houve aumento da massa fresca e seca de raiz do feijoeiro até a 3ª época de avaliação (Tabelas 35 e 36) e em seguida, redução na última época. Isso ocorreu por que as plantas produziram um grande número de rizóbios até formação das vagens. O tratamento com AR foi o que apresentou a maior taxa de colonização de rizóbios nas raízes, provavelmente devido à alta concentração de nitrogênio na água residuária utilizada. No entanto, na 4ª época ocorreu uma redução na produção de rizóbios em função da maior demanda de nutrientes pela planta no período de enchimento de grãos. Esses resultados corroboram com as condições hídricas e de temperatura do solo, em que, nesse período o solo apresentou altas variações de temperatura e umidade no solo na cultivo do feijoeiro.

Para os tratamentos hídricos, a massa fresca e seca de raiz diferiram estatisticamente ($p \leq 0,01$) para as épocas 2, 3 e 4. Para os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,05$) para as épocas 1, 2 e 4 para MF e nas

épocas 1 e 4 para MS. Já a interação entre os tratamentos a MF diferiu ($p \leq 0,01$) nas épocas 2 e 4 e a MS na época 4.

De acordo com Bonfim et al. (2012), as plantas de feijoeiro em condição de DH podem apresentar alterações que são verificadas pelos dados de crescimento, bem como, a massa fresca e seca de raízes. Bertoldo et al. (2015), estudando o efeito de fertilizante suplementado com extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*) como alternativa no cultivo do feijoeiro, observaram que os extratos de algas induziram a maior formação de massa seca de raiz.

Tabela 35 - Biomassa fresca de raiz do feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Massa fresca de raiz (g planta ⁻¹)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	7,2	aB	11,7	aA	16,7	aA	18,7	abA	21,3	aA	21,3	aA	5,0	abA	5,2	bA
C	8,4	aA	9,0	aA	13,6	aB	21,8	aA	8,8	bA	7,4	bA	6,9	aA	7,7	aA
DHM	10,2	aA	11,3	aA	14,5	aA	13,1	bcA	9,1	bA	8,1	bA	3,4	bB	5,6	abA
DHS	8,4	aA	10,1	aA	6,1	bA	10,5	cA	4,1	cA	6,2	bA	0,8	cA	2,3	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 36 - Biomassa seca de raiz do feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Massa seca de raiz (g planta ⁻¹)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	0,71	aB	0,99	aA	1,92	aA	2,03	aA	1,48	bA	1,49	bA	1,14	aA	1,29	aA
C	0,72	aA	0,75	aA	1,46	abA	1,92	aA	2,05	aA	2,15	aA	1,18	aB	1,53	aA
DHM	0,93	aA	0,85	aA	1,77	abA	1,44	aA	1,39	bA	1,43	bA	1,02	aA	1,28	aA
DHS	0,74	aA	0,83	aA	1,14	bA	1,54	aA	0,91	cA	1,18	bA	0,53	bA	0,72	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

A Biomassa fresca e seca de raiz de soja (Tabelas 37 e 38), indicam que as plantas que receberam o extrato de algas exibiram maior desenvolvimento de raiz. Para os tratamentos de AR e C, mediu-se maiores MF e MS de raiz. Para DHM e DHS houve menor valores de MF e MS, porém as plantas sob DH com extrato de algas apresentaram maiores raízes do que as plantas que não receberam o extrato de algas.

Para os tratamentos hídricos houve diferença estatística ($p \leq 0,01$) nas épocas 1, 2, 3 e 4 para MF e nas épocas 1, 2 e 3 para MS. Os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,05$) nas época 1 e 2 para MF e MS. Já a interação entre os tratamentos não diferiram.

Catuchi et al. (2012), avaliando o efeito da adubação potássica sob diferentes regimes hídricos na cultura da soja, obtiveram massa seca de raiz de 8,6 g para plantas irrigas e 5,1 g para plantas sob estresse hídrico de 40% da necessidade da cultura.

Tabela 37 - Biomassa fresca de raiz da soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Massa fresca de raiz (g planta ⁻¹)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	8,6	aA	9,4	bA	15,6	aA	21,1	aA	21,8	aA	18,3	aA	12,9	abA	14,5	aA
C	9,0	aA	10,2	bA	16,7	aA	20,3	aA	15,8	aA	18,7	aA	16,0	aA	17,8	aA
DHM	11,8	aA	11,8	bA	9,6	abB	15,8	abA	16,1	aA	14,4	aA	10,8	abA	14,3	aA
DHS	11,6	aB	17,2	aA	7,3	bA	9,1	bA	7,5	bA	11,2	aA	7,9	bA	11,0	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 38. Biomassa seca de raiz da soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação.

Trat.	Massa seca de raiz (g planta ⁻¹)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	1,15	aA	1,23	bA	2,22	aA	2,75	aA	3,44	aA	3,05	aA	2,83	aA	2,86	aA
C	1,27	aA	1,41	bA	2,08	aA	2,51	aA	2,06	bA	2,56	aA	2,68	aA	2,73	aA
DHM	1,56	aA	1,51	bA	1,53	aB	2,47	aA	2,30	abA	2,28	aA	2,32	aA	2,52	aA
DHS	1,51	aB	2,04	aA	1,51	aA	1,87	aA	1,65	bA	2,15	aA	1,88	aA	2,59	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.3.8 Biomassa seco total das plantas

Para biomassa seca total das plantas de feijoeiro e soja (Tabelas 39 e 40), observou-se que a DH afetou as funções básicas, pois causou a redução em todos os órgãos da planta. No entanto, os danos foram minimizados para as plantas que receberam extrato de algas.

Os tratamentos hídricos diferiram estatisticamente ($p \leq 0,01$) nas épocas 2, 3 e 4 para o feijoeiro e nas épocas 1, 2, 3 e 4 para a soja. Já para os tratamentos com e sem extrato de algas, houve diferença ($p \leq 0,05$) nas épocas 2 e 3 para o feijoeiro e nas épocas 1, 2 e 3 para a soja. Para a interação entre os tratamentos não se encontrou diferença para o feijoeiro e diferiu nas épocas 1 e 3 para a soja.

Cury et al. (2011), verificaram o efeito da competitivo entre o feijoeiro e plantas daninhas. Obtiveram massa seca total $13,91 \text{ g planta}^{-1}$ para o tratamento controle e nos tratamentos com infestação de plantas daninhas massa seca total entre $2,32$ a $8,84 \text{ g planta}^{-1}$. Bianco et al. (2012), em acúmulo de massa seca de plantas em cultivo convencional de soja obtiveram 34 g planta^{-1} .

Tabela 39 - Biomassa seca total da planta de feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Massa seca total de planta (g planta^{-1})															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	4,4	aA	5,7	aA	13,9	aB	19,1	aA	14,0	aA	15,6	aA	14,3	aA	13,5	aA
C	4,4	aA	4,4	aA	9,7	abA	8,9	bA	11,6	aA	11,2	abA	10,5	abA	11,8	abA
DHM	5,2	aA	4,7	aA	10,3	abA	8,6	bA	8,7	abA	9,4	bA	7,4	bcA	8,6	bcA
DHS	4,8	aA	4,4	aA	7,1	bA	8,1	bA	6,0	bB	10,3	abA	3,2	cA	4,5	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 40 - Biomassa seca total da planta de soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Massa seca total de planta (g planta^{-1})															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	5,0	aA	4,7	bA	14,1	aA	16,3	aA	24,7	aA	19,1	aB	20,9	aA	21,1	aA
C	4,7	aA	5,2	bA	8,3	bA	11,3	bA	9,9	bA	12,1	bA	10,7	bA	12,5	bA
DHM	5,8	aA	5,3	abA	6,9	bB	10,1	bA	9,6	bA	10,2	bA	8,5	bA	10,2	bA
DHS	4,9	aB	6,7	aA	5,9	bA	8,0	bA	6,9	bA	8,3	bA	6,3	bA	9,8	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.4 Índices de crescimento

4.4.1 Área foliar específica

Os índices de crescimento são fundamentados nos dados de relação entre área foliar, matéria seca e fresca dos distintos órgãos vegetativos. Logo, os índices permitem verificar as frações de biomassa provida em diferentes partes da planta, o que pode alertar sobre estratégias de desenvolvimento estabelecido pela cultura, em função dos tratamentos hídricos ou condições ambientais. Portanto, a área foliar específica (Specific Leaf Area - *SLA*) representa a relação entre a área e a massa foliar.

Observou-se que houve diferença significativa ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos nas épocas 2 e 4 para o feijoeiro e na época 4 para a soja. Para os tratamentos com e sem extrato de algas ($p \leq 0,05$) na época 3 para o feijoeiro e soja. Para a interação entre os tratamentos houve diferença ($p \leq 0,05$) na época 3 no feijoeiro e na época 2 para a soja (Tabela 41 e 42).

Lacerda et al. (2010), analisando o crescimento do feijoeiro em diferentes sombreamento obtiveram menor área foliar específica, porque tratou-se de uma resposta característica da planta à baixa luminosidade. Fialho et al. (2016), constaram que a soja com micorrizas em competição com plantas daninhas apresentam maior área foliar específica em monocultivo.

Tabela 41 - Área foliar específica (*SLA*) em folhas de feijoeiro para os tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	<i>SLA</i> (m ² folhas g ⁻¹ MS folha)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A						
AR	0,036	aA	0,034	aA	0,030	aA	0,028	abA	0,033	aA	0,031	aA	0,035	abA	0,037	aA
C	0,033	aA	0,032	aA	0,026	aA	0,027	bA	0,028	aA	0,034	aA	0,030	bA	0,033	aA
DHM	0,033	aA	0,035	aA	0,033	aA	0,034	aA	0,037	aA	0,031	aA	0,035	abA	0,038	aA
DHS	0,032	aA	0,033	aA	0,032	aA	0,033	abA	0,039	aA	0,025	aB	0,036	aA	0,036	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 42 - Área foliar específica (SLA) em folhas de soja para os tratamentos hídrico AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	SLA (m ² folhas g ⁻¹ MS folha)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A		
AR	0,032	aA	0,032	aA	0,026	aA	0,027	aA	0,025	aA	0,023	aA	0,023	aA	0,024	abA
C	0,039	aA	0,032	aA	0,024	aA	0,025	aA	0,025	aA	0,023	aA	0,024	aA	0,025	aA
DHM	0,033	aA	0,032	aA	0,023	aA	0,024	aA	0,021	aA	0,023	aA	0,021	abA	0,020	bcA
DHS	0,036	aA	0,033	aA	0,022	aA	0,023	aA	0,020	aB	0,038	aA	0,018	bA	0,017	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.4.2 Taxa de superfície foliar

A razão da área foliar (Leaf Area Ratio-LAR) indica a dimensão da superfície fotossintética em função da massa respiratória das plantas, adquirido pela área foliar em relação da massa seca total. Nessa variável, foi observado que o tratamento AR sem extrato de algas proporcionou melhores resultados, do mesmo modo o DHS, com extrato de algas, acusou os menores valores nas épocas 3 e 4 no feijoeiro e na soja.

Portanto, os tratamentos hídricos diferiram significativamente ($p \leq 0,01$) para as épocas 2, 3 e 4 no feijoeiro e nas épocas 2 e 4 na soja. Para os tratamentos com e sem extrato de algas diferiu ($p \leq 0,05$) na época 1 no feijoeiro e época 3 na soja. Já interação entre os tratamentos não houve diferença estatística para as duas culturas (Tabela 43 e 44).

Silva et al, (2012), analisando o feijoeiro sob diferentes densidades de plantas observaram que taxa de superfície foliar reduz a partir 30 DAE independente da densidade. Fialho et al. (2016), relataram que a taxa de superfície foliar da soja é menor em sistema de monocultivo com plantas daninhas em função da competição interespecífica.

Tabela 43 - Taxa de superfície foliar (LAR) em folhas de feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	LAR (m ² folhas g ⁻¹ MS planta)								
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4		
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	
AR	0,020	aA 0,017	aB 0,013	aA 0,013	abA 0,015	aA 0,013	aA 0,015	aA 0,016	aA
C	0,019	aA 0,018	aA 0,013	aA 0,011	bA 0,011	bA 0,012	aA 0,012	abA 0,013	aA
DHM	0,018	aA 0,020	aA 0,014	aA 0,014	aA 0,013	abA 0,012	aA 0,014	aA 0,014	aA
DHS	0,018	aA 0,018	aA 0,012	aA 0,013	abA 0,012	abA 0,009	aA 0,009	bA 0,009	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 44 - Taxa de superfície foliar (LAR) em folhas de soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	LAR (m ² folhas g ⁻¹ MS planta)								
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4		
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	
AR	0,013	aA 0,013	aA 0,011	aA 0,011	aA 0,010	aA 0,009	aA 0,008	abA 0,008	abA
C	0,015	aA 0,012	aA 0,009	abA 0,009	abA 0,010	aA 0,008	aA 0,009	aA 0,009	aA
DHM	0,012	aA 0,012	aA 0,009	abA 0,008	bA 0,007	aA 0,008	aA 0,007	bcA 0,006	bcA
DHS	0,012	aA 0,011	aA 0,007	bA 0,007	bA 0,005	aB 0,010	aA 0,005	cA 0,005	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.4.2 Fração da biomassa total

Para a relação de biomassa total reservado nas folhas (*LWR*- Leaf Weight Ratio) no feijoeiro e soja (Tabelas 45 e 46), evidencia uma redução da biomassa em função da menor disponibilidade hídrica (DHM e DHS). A diminuição gradativa da biomassa foliar ocorreu na 2^o época de avaliação em ritmo mais acelerado, quando iniciou-se a diferenciação dos tratamentos hídricos para os dois ensaios. No tratamento de AR e C também existiu decréscimo de *LWR* a partir da 2^o época, porém não muito expressivo no feijoeiro e na soja.

Os tratamentos hídricos diferiram significativamente na época 2 ($p \leq 0,05$) e para a época 4 ($p \leq 0,01$) para o feijoeiro e para todas as épocas na soja. Para os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,05$) para a época 3 no

feijoeiro e na época 2 na soja. Já para interação entre os tratamentos não houve diferença para as duas culturas.

Lacerda et al. (2010), avaliando a fração da biomassa total no feijoeiro em diferentes sombreamento verificaram que as plantas apresentam menor fração da biomassa total.

Tabela 45 - Fração da biomassa total (*LWR*) em folhas de feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	<i>LWR</i> (g MS de folhas g ⁻¹ MS total)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	0,56	aA	0,51	aA	0,45	abA	0,47	aA	0,46	aA	0,43	aA	0,43	aA	0,44	aA
C	0,57	aA	0,56	aA	0,48	aA	0,41	aA	0,39	aA	0,36	aA	0,41	aA	0,38	aA
DHM	0,54	aA	0,57	aA	0,42	abA	0,42	aA	0,36	aA	0,40	aA	0,38	aA	0,37	aA
DHS	0,57	aA	0,54	aA	0,38	bA	0,40	aA	0,30	aB	0,47	aA	0,26	bA	0,23	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 46 - Fração da biomassa total (*LWR*) em folhas de soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	<i>LWR</i> (g MS de folhas g ⁻¹ MS total)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	0,40	aA	0,40	aA	0,43	aA	0,41	aA	0,39	aA	0,39	aA	0,36	aA	0,33	aA
C	0,37	abA	0,36	abA	0,37	bA	0,37	abA	0,39	aA	0,36	abA	0,36	aA	0,36	aA
DHM	0,35	bcA	0,36	abA	0,37	bA	0,33	bB	0,39	aA	0,36	abA	0,32	abA	0,31	aA
DHS	0,33	cA	0,34	bA	0,31	cA	0,32	bA	0,27	bA	0,26	bA	0,26	bA	0,29	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.5 Densidade estomática

Os estômatos são componentes estruturais da epiderme, encarregado pelas trocas gasosas no processo de fotossíntese, transpiração e respiração dos vegetais. São localizados na maior parte das plantas nas folhas e consistem essencialmente de um poro contornado por duas células-guarda.

No presente estudo, observou-se que o número de estômatos na parte abaxial das folhas de feijoeiro aumentaram à medida que intensificou a deficiência hídrica sem extrato de algas (Tabela 47).

Na soja sem extrato de alga (Tabela 48), o número de estômatos reduziram para os tratamentos de deficiência hídrica. O mesmo ocorreu para as folhas do feijoeiro, portanto, ocorreram alterações por parte das plantas para ajustar os efeitos ocasionados pela deficiência hídrica na região abaxial da folha.

O número de estômatos para os tratamentos hídricos diferiu ($p \leq 0,01$) na época 3 para o feijoeiro e na soja para a época 4. Os tratamentos com e sem extrato de algas diferiu ($p \leq 0,01$) para a época 2 no feijoeiro e para as épocas 3 e 4 na soja. Já para interação entre os tratamentos não diferiram para as duas culturas.

Silva et al. (1988), observam a influência do sombreamento na anatomia da folha de feijoeiro e obtiveram densidade estomática média para face abaxial 302 estômatos por mm^2 para plantas de crescimento indeterminado. Leal-Costa et al. (2008), avaliaram a anatomia foliar de plantas de soja obtiveram densidade estomática média para face abaxial 237 estômatos por mm^2 .

Tabela 47 - Densidade estomática (número de estômatos por mm^2) em folha de feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	Região abaxial		Região abaxial		Região abaxial		Região abaxial									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	376	aA	426	aA	364	aA	347	aA	385	aA	355	aA	282	bA	269	bA
C	384	aA	395	aA	348	aA	308	aA	338	aA	323	aA	298	bA	298	bA
DHM	401	aA	403	aA	388	aA	313	aB	364	aA	324	aA	333	bA	312	bA
DHS	379	aA	401	aA	347	aA	277	aB	406	aA	323	aA	481	aA	454	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 48 - Densidade estomática (número de estômatos por mm²) em folha de soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	Região abaxial		Região abaxial		Região abaxial		Região abaxial		Região abaxial		Região abaxial		Região abaxial			
	S/A	C/A														
AR	269	aA	242	aA	258	aA	226	aA	245	bA	242	aA	282	aA	263	aA
C	251	aA	234	aA	266	aA	218	aA	275	abA	260	aA	279	aA	215	aB
DHM	293	aA	288	aA	237	aA	222	aA	303	aA	262	aB	268	aA	245	aA
DHS	263	aA	247	aA	237	aA	207	aA	269	abA	257	aA	243	aA	221	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

O número de estômatos na parte adaxial das folhas do feijoeiro e da soja aumentaram com a severidade da deficiência hídrica Tabelas 49 e 50. Ressalva-se, que apenas na época 4 o número de estômatos reduziram no tratamento DHS para a soja. As plantas que receberam extrato de algas em geral, apresentaram menor número de estômatos na parte adaxial da folha.

Os tratamentos hídricos diferiram ($p \leq 0,01$) na época 4 para o feijoeiro e na soja não houve diferença. Para os tratamentos com e sem extrato de algas não houve diferença no feijoeiro, na soja, diferiu ($p \leq 0,05$) na épocas 1. Não houve interação entre os tratamentos para as duas culturas.

Silva et al. (1988), observam a influência do sombreamento na anatomia da folha de feijoeiro e obtiveram densidade estomática média para face adaxial 51 estômatos por mm² em plantas de crescimento indeterminado. Leal-Costa et al. (2008), avaliaram a anatomia foliar de plantas de soja obtiveram densidade estomática média para face adaxial 70 estômatos por mm².

Tabela 49 - Densidade estomática (número de estômatos por mm²) em folha de feijoeiro para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	Região adaxial		Região adaxial		Região adaxial		Região adaxial		Região adaxial		Região adaxial		Região adaxial			
	S/A	C/A														
AR	93	aA	93	aA	62	aA	62	aA	73	aA	67	aA	62	bA	70	aA
C	103	aA	99	aA	75	aA	75	aA	75	aA	67	aA	59	bA	70	aA
DHM	102	aA	100	aA	78	aA	75	aA	83	aA	70	aA	81	abA	70	aA
DHS	97	aA	91	aA	81	aA	73	aA	83	aA	81	aA	91	aA	91	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 50 - Densidade estomática (número de estômatos por mm²) em folha de soja para os tratamentos hídricos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas para cada época de avaliação

Trat.	ÉPOCA 1				ÉPOCA 2				ÉPOCA 3				ÉPOCA 4			
	Região adaxial		Região adaxial		Região adaxial		Região adaxial		Região adaxial		Região adaxial		Região adaxial			
	S/A	C/A														
AR	121	aA	94	aB	103	aA	101	aA	112	aA	105	aA	113	aA	101	aA
C	110	aA	99	aA	102	aA	95	aA	126	aA	115	aA	104	aA	91	aA
DHM	121	aA	108	aA	91	aA	88	aA	113	aA	107	aA	104	aA	106	aA
DHS	106	aA	102	aA	106	aA	102	aA	112	aA	108	aA	94	aA	91	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.6 Análise de nutrientes em tecido vegetal e grãos

A análise de tecido e grão de feijão e soja (Tabelas 51 e 52), revelou que houve redução dos elementos N, P, K, S, B, Mn e Zn em folha, caule e raiz do início até o final do ciclo. Entretanto, os nutrientes Mg, Cu e Fe aumentaram a concentração nas folhas, caule e raiz do início ao fim do ciclo no feijoeiro e soja. Nos tratamentos hídricos em geral, ocorreu a concentração dos elementos nos diferentes órgãos das plantas de feijoeiro e soja com aumento da intensidade da deficiência hídrica. O Ca concentrou-se mais nas folhas e redução no caule e raiz em relação ao início dos tratamentos hídricos para os dois ensaios.

Para a análise de grãos de feijão e soja (Tabelas 53 e 54), verificou-se que os macronutrientes (N, P e K) nos tratamentos DHM e DHS sem extrato de algas apresentaram as maiores concentrações. O tratamento AR sem extrato de algas apresentou menor concentração de nutrientes nos grãos de feijão e soja. No entanto, para as plantas que receberam extrato de algas, houve aumento na concentração de Ca, Mg e S.

Portanto, houve diferença estatística ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos N, P, K, Ca, Mg e S para o feijoeiro e N, P, Ca e S na soja. Os tratamentos com e sem extrato de algas diferiram ($p \leq 0,05$) para P, K, Ca e Mg no feijoeiro e na soja para N e P. Para interação entre os tratamentos não houve diferença estatística.

Tabela 51 - Diagnose mineral do tecido foliar em função dos tratamentos hídricos e extrato de algas no ensaio de feijão

Trat.	INICIO DO CICLO (*)											FIM DO CICLO (**)										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----					----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
	FOLHA											FOLHA										
AR S/A	43,1	3,5	28,6	22,6	4,9	1,8	42,1	4,0	585,0	67,0	40,0	27,0	3,3	9,0	43,3	8,9	1,2	39,8	8,0	615,0	74,0	28,0
AR C/A	43,6	3,8	30,7	22,1	5,1	1,8	39,5	4,0	369,0	72,0	32,0	25,8	2,8	11,7	46,4	7,8	1,2	46,4	5,0	825,0	85,0	27,0
C S/A	41,3	3,4	30,2	22,4	5,5	1,4	37,9	5,0	463,0	62,0	36,0	32,6	1,9	18,6	57,4	7,2	1,2	37,2	7,0	789,0	82,0	34,0
C C/A	44,5	3,7	26,9	25,9	6,3	1,5	35,9	5,0	431,0	52,0	38,0	29,3	1,7	23,4	52,1	6,8	1,2	36,8	7,0	867,0	84,0	30,0
DHM S/A	42,4	3,5	26,2	23,6	5,5	1,4	38,8	6,0	336,0	58,0	34,0	30,7	2,1	19,5	51,0	6,9	1,1	37,5	5,0	634,0	95,0	27,0
DHM C/A	44,4	3,6	27,4	26,0	6,5	1,5	36,6	5,0	423,0	54,0	35,0	23,2	2,1	23,5	47,1	5,6	1,2	40,0	5,0	745,0	92,0	31,0
DHS S/A	43,8	3,4	28,0	23,8	6,1	1,3	35,0	6,0	365,0	57,0	34,0	32,8	2,1	22,2	38,5	6,2	1,1	38,9	5,0	755,0	98,0	26,0
DHS C/A	43,8	3,7	29,5	25,5	6,4	1,3	36,3	4,0	420,0	57,0	36,0	27,8	2,0	22,8	39,5	5,8	1,2	40,4	6,0	719,0	99,0	28,0
	CAULE											CAULE										
AR S/A	18,8	3,0	42,0	10,3	2,7	2,0	28,1	5,0	81,0	20,0	27,0	12,5	1,4	8,7	7,1	4,8	1,1	20,7	5,0	566,0	12,0	21,0
AR C/A	18,6	3,0	42,7	10,6	3,1	1,9	21,8	4,0	99,0	25,0	31,0	11,9	1,5	11,2	7,5	4,4	1,1	14,9	5,0	97,0	12,0	25,0
C S/A	30,9	3,2	36,4	9,8	2,7	1,0	20,7	6,0	84,0	13,0	39,0	31,4	2,7	19,2	6,5	2,6	1,0	14,9	5,0	92,0	15,0	44,0
C C/A	31,2	3,1	35,6	9,4	2,8	1,1	21,4	5,0	89,0	16,0	43,0	25,9	2,3	19,0	6,4	2,8	0,9	14,7	5,0	118,0	12,0	39,0
DHM S/A	32,0	3,3	35,8	9,8	2,5	1,2	17,7	4,0	89,0	18,0	38,0	26,6	2,3	20,7	8,3	2,7	1,0	15,8	5,0	87,0	20,0	28,0
DHM C/A	30,1	3,1	38,1	10,1	3,0	1,1	22,5	4,0	92,0	15,0	36,0	20,0	1,7	19,9	9,0	3,0	0,9	15,0	5,0	88,0	18,0	33,0
DHS S/A	30,5	3,2	35,5	9,5	2,9	1,0	22,1	7,0	92,0	14,0	37,0	33,0	2,9	25,2	9,5	3,2	1,0	16,1	6,0	86,0	15,0	33,0
DHS C/A	28,4	3,2	37,2	10,2	3,1	1,0	23,7	6,0	94,0	16,0	37,0	31,9	2,8	26,9	9,7	3,2	1,0	16,8	5,0	199,0	18,0	38,0
	RAIZ											RAIZ										
AR S/A	21,7	3,9	25,5	7,0	5,2	3,7	33,3	22,0	3188,0	45,0	63,0	16,6	1,9	3,3	7,9	2,9	2,0	25,7	20,0	4235,0	58,0	67,0
AR C/A	21,4	4,2	26,1	6,8	5,6	3,4	32,2	10,0	2689,0	42,0	60,0	17,2	2,0	2,6	7,8	2,9	2,2	33,6	21,0	5226,0	85,0	68,0
C S/A	25,2	3,5	19,5	6,0	5,0	1,2	44,2	20,0	3414,0	45,0	67,0	20,2	2,7	8,8	8,7	3,6	1,2	42,5	17,0	4131,0	60,0	97,0
C C/A	25,6	4,2	24,8	6,3	5,6	1,3	39,8	10,0	3302,0	53,0	68,0	19,9	2,7	7,1	9,8	3,2	1,4	22,8	27,0	5312,0	104,0	117,0
DHM S/A	23,4	3,1	17,0	5,1	3,7	1,3	33,8	18,0	2189,0	33,0	51,0	17,6	2,1	7,0	7,6	2,8	1,3	22,7	18,0	4655,0	69,0	75,0
DHM C/A	26,5	4,4	26,5	6,9	6,2	1,3	32,6	10,0	3166,0	45,0	73,0	17,9	2,1	7,0	9,5	3,1	1,3	34,5	19,0	5236,0	89,0	97,0
DHS S/A	25,2	4,1	21,8	6,6	5,5	1,2	82,8	13,0	2845,0	40,0	70,0	15,8	2,3	7,2	6,5	3,0	1,1	24,6	11,0	4136,0	52,0	49,0
DHS C/A	26,5	5,0	31,0	7,7	7,7	1,3	31,7	11,0	3413,0	62,0	75,0	18,4	2,5	7,0	8,5	3,1	1,3	25,3	18,0	5124,0	92,0	64,0

AR: água residuária; C: controle; DHM: deficiência moderada; DHS: deficiência Severa; S/A: sem extrato de algas; C/A: com extrato de algas. (*) referente a primeira época de avaliação, anterior ao início dos tratamentos; (**) referente a quarta época de avaliação, no final do ciclo da cultura.

Tabela 52 - Diagnóstico mineral do tecido foliar em função dos tratamentos hídricos e extrato de algas no ensaio de soja

Trat.	INÍCIO DO CICLO (*)											FIM DO CICLO (**)										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
	FOLHA											FOLHA										
AR S/A	51,6	5,7	18,3	16,3	8,0	2,2	58,8	11,0	312,0	397,0	127,0	24,4	3,3	5,8	32,0	15,6	1,5	28,2	10,0	523,0	228,0	106,0
AR C/A	51,7	4,8	22,3	16,3	6,1	2,5	43,7	11,0	396,0	607,0	143,0	25,9	2,6	5,6	30,1	12,7	1,4	30,3	7,0	362,0	173,0	77,0
C S/A	48,9	4,0	23,9	15,2	6,1	2,0	36,8	10,0	249,0	658,0	158,0	40,4	5,1	8,2	27,4	6,6	1,2	33,3	8,0	396,0	226,0	196,0
C C/A	48,4	3,8	22,9	15,2	5,9	2,5	36,3	11,0	265,0	663,0	150,0	30,9	5,0	10,4	25,1	5,9	1,2	33,0	7,0	366,0	229,0	186,0
DHM S/A	48,5	4,4	23,9	16,8	5,9	2,3	37,8	11,0	264,0	634,0	169,0	33,7	3,8	8,6	23,8	7,4	1,3	38,2	9,0	403,0	217,0	159,0
DHM C/A	49,8	3,8	23,0	16,5	6,0	1,9	36,5	10,0	247,0	531,0	140,0	33,5	3,5	13,7	23,7	5,5	1,3	32,7	7,0	294,0	245,0	155,0
DHS S/A	48,2	4,3	22,5	16,6	6,1	1,9	36,7	11,0	243,0	723,0	183,0	34,9	4,1	15,5	22,1	5,4	1,3	35,8	8,0	428,0	135,0	115,0
DHS C/A	48,9	4,0	24,4	16,2	5,8	2,1	38,5	10,0	225,0	630,0	163,0	29,6	3,3	17,6	22,7	5,3	1,3	36,2	7,0	365,0	160,0	102,0
	CAULE											CAULE										
AR S/A	20,9	3,7	22,5	11,7	6,5	1,9	29,8	9,0	131,0	93,0	33,0	21,7	1,5	3,5	7,1	4,6	1,3	18,0	6,0	88,0	25,0	25,0
AR C/A	21,1	4,0	29,0	10,3	4,8	2,2	22,7	9,0	114,0	88,0	38,0	22,0	1,5	3,5	8,4	4,7	1,1	15,3	5,0	61,0	22,0	20,0
C S/A	38,7	4,1	19,5	8,9	3,6	1,1	22,3	6,0	83,0	92,0	38,0	34,0	3,2	5,5	7,7	2,3	1,0	17,5	5,0	96,0	27,0	46,0
C C/A	33,7	3,9	23,3	9,6	4,0	1,1	22,7	6,0	72,0	90,0	42,0	26,3	4,1	6,9	8,0	2,5	1,0	16,2	5,0	37,0	24,0	38,0
DHM S/A	38,4	4,2	20,3	9,3	3,6	1,2	20,7	6,0	67,0	88,0	38,0	29,5	2,7	5,5	7,8	2,7	1,0	17,3	5,0	53,0	31,0	42,0
DHM C/A	34,6	3,8	21,3	9,2	3,8	1,3	19,8	7,0	68,0	91,0	40,0	25,6	3,2	7,9	7,0	2,5	1,0	15,2	5,0	39,0	30,0	33,0
DHS S/A	38,4	4,4	20,2	9,5	3,6	1,1	20,2	6,0	74,0	92,0	36,0	28,1	2,9	6,6	7,4	2,1	1,0	16,3	5,0	45,0	28,0	31,0
DHS C/A	31,9	3,9	21,9	8,9	3,7	1,1	19,8	6,0	50,0	87,0	37,0	29,1	2,5	7,8	6,2	2,1	1,0	15,7	5,0	155,0	35,0	30,0
	RAIZ											RAIZ										
AR S/A	23,0	5,9	21,2	3,5	5,6	2,4	24,8	17,0	1752,0	62,0	41,0	26,7	2,4	3,5	3,9	2,0	2,1	21,0	23,0	4520,0	133,0	46,0
AR C/A	23,9	5,4	15,0	3,8	5,9	2,6	27,5	20,0	2695,0	83,0	44,0	26,9	2,2	3,5	4,2	2,0	2,2	22,8	23,0	3354,0	122,0	35,0
C S/A	26,7	4,4	12,0	3,3	6,2	1,3	29,2	16,0	2390,0	69,0	43,0	24,2	7,1	11,4	5,3	4,5	1,4	22,0	35,0	2730,0	105,0	49,0
C C/A	28,9	4,8	14,5	3,7	7,4	1,4	27,0	20,0	3002,0	96,0	50,0	21,9	7,1	13,8	5,2	3,8	1,3	34,5	36,0	2557,0	93,0	45,0
DHM S/A	28,7	5,0	14,1	3,6	6,3	1,4	36,2	17,0	2526,0	83,0	48,0	22,2	5,3	6,6	5,3	3,8	1,6	16,5	36,0	4652,0	125,0	63,0
DHM C/A	30,9	4,4	14,9	3,6	7,2	1,5	28,7	18,0	2708,0	79,0	49,0	23,3	5,0	11,8	5,9	4,8	1,4	26,3	30,0	2880,0	98,0	49,0
DHS S/A	30,1	5,0	14,3	3,5	7,0	1,3	28,7	18,0	2504,0	73,0	49,0	24,1	5,5	6,9	6,1	4,2	1,6	16,8	35,0	3805,0	130,0	45,0
DHS C/A	27,7	4,9	16,1	3,9	6,5	1,4	28,7	21,0	3057,0	93,0	56,0	24,4	4,5	8,3	5,2	4,0	1,4	32,0	26,0	3240,0	118,0	47,0

AR: água residuária; C: controle; DHM: deficiência moderada; DHS: deficiência Severa; S/A: sem extrato de algas; C/A: com extrato de algas. (*) referente a primeira época de avaliação, anterior ao início dos tratamentos; (**) referente a quarta época de avaliação, no final do ciclo da cultura.

Tabela 53 - Índice nutricional de grãos de feijão em função dos tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS), com e sem extrato de algas (C/A e S/A)

Análise de grãos de feijão																								
Trat.	N		P				K				Ca		Mg		S									
	g kg ⁻¹																							
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A						
AR	33,5	cA	36,4	bA	4,2	bA	4,2	aA	14,82	aA	15,20	aA	2,02	abA	1,84	bA	1,58	bB	1,78	aA	1,48	aA	1,53	aA
C	41,1	bA	40,7	abA	4,6	aA	4,5	aA	12,98	bB	13,86	bA	2,52	aB	3,00	aA	1,80	aA	1,76	aA	1,08	bA	1,07	cA
DHM	44,1	abA	42,6	aA	4,5	abA	4,3	aA	13,78	bA	13,80	bA	1,96	abA	1,90	bA	1,82	aA	1,78	aA	1,12	bA	1,05	cA
DHS	47,4	aA	44,1	aA	4,9	aA	4,5	aB	15,46	aA	15,04	aA	1,50	bA	1,50	bA	1,70	abA	1,74	aA	1,21	bA	1,27	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey.

Tabela 54 - Índice nutricional de grãos de soja em função dos tratamentos hídricos (AR, C, DHM e DHS), com e sem extrato de algas (C/A e S/A)

Análise de grão de soja																								
TRAT.	N		P				K				Ca		Mg		S									
	g Kg																							
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A						
AR	60,65	bA	58,25	bB	4,77	bA	4,57	aA	13,54	aA	15,00	aA	3,52	bA	3,54	bA	2,40	aA	2,48	aA	2,01	aA	1,98	aA
C	65,42	aA	63,22	aB	5,53	aA	5,08	aB	15,10	aA	15,64	aA	4,14	abA	4,22	aA	2,58	aA	2,72	aA	1,21	bA	1,27	bA
DM	63,55	aA	64,29	aA	5,25	abA	5,00	aA	14,66	aA	15,56	aA	4,20	aA	3,92	abA	2,68	aA	2,70	aA	1,24	bA	1,27	bA
DS	64,16	aA	65,48	aA	5,11	abA	4,89	aA	15,18	aA	15,50	aA	3,80	abA	3,74	abA	2,52	aA	2,48	aA	1,35	bA	1,38	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey.

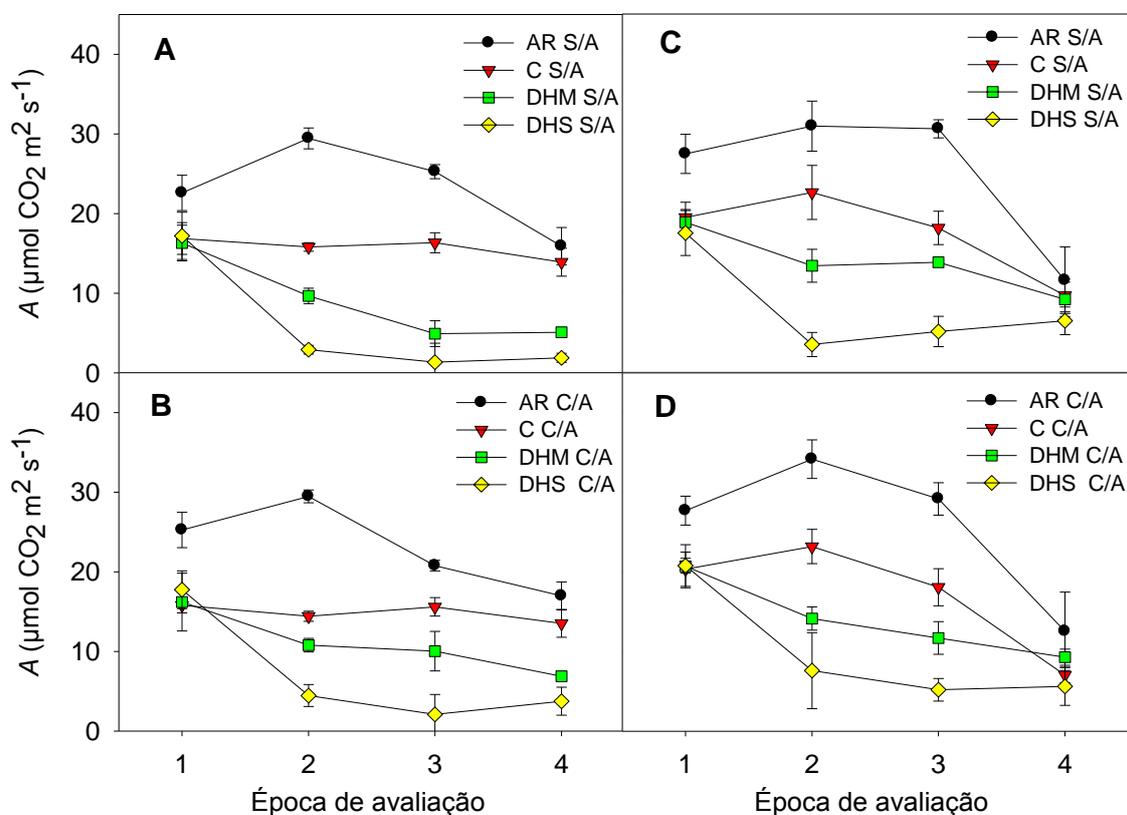
4.7 Trocas gasosas

4.7.1 Assimilação líquida de CO₂ (A)

Paras os parâmetros de trocas gasosas, demonstrou-se as alterações no metabolismo da planta em função dos tratamentos hídricos e aplicação de extrato de algas. As avaliações de assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (gs), concentração intercelular de CO₂ (C_i) e transpiração (E) assinalaram efeito significativo da aplicação dos tratamentos para os ensaios de feijão e soja (Tabelas 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61 e 62).

A assimilação líquida de CO₂ no tratamento AR com e sem extrato de algas, foi incrementada, onde as plantas de feijoeiro e soja passaram a assimilar mais CO₂ (Figura 39). Para os tratamentos DHM e DHS, as plantas reduziram a assimilação gradativamente (A).

Figura 39 - Assimilação líquida de CO₂ (A) em plantas de feijoeiro (A e B) e Soja (C e D) em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação



A assimilação líquida de CO₂ diferiu ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos em todas as épocas de avaliações para o feijoeiro e soja. Em relação aos tratamentos

com e sem extratos de algas houve diferença ($p \leq 0,05$) na época 3 no feijoeiro e nas épocas 1 e 2 na soja. Não houve diferença para interação entre os tratamentos nos dois ensaios (Tabelas 55 e 56).

Campos et al. (2008), analisando o desenvolvimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras, obtiveram taxas de assimilação líquida ente 20 a 30 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para os 86 DAE. Onde, o tratamento com extrato de alga não diferiu da testemunha. Catuchi et al. (2012), estudando as respostas fisiológicas da soja adubada com K e sob estresse hídrico, obtiveram valores para A de 38, 7 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para plantas irrigadas e 17,9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para plantas sob estresse hídrico.

Tabela 55 - Assimilação líquida de CO_2 (A) em plantas de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação

Assimilação líquida de CO_2 (A; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)																
Trat.	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	22,5	aA	25,2	aA	29,4	aA	29,4	aA	25,2	aA	20,8	aA	15,9	aA	16,9	aA
C	16,8	bA	15,8	bA	15,8	bA	14,4	bA	16,3	bA	15,6	abA	13,8	aA	13,5	aA
DHM	16,3	bA	16,2	bA	9,6	cA	10,8	cA	4,9	cB	10,0	bA	5,1	bA	6,7	bA
DHS	17,2	bA	17,7	bA	2,9	dA	4,4	dA	1,3	cA	2,1	cA	1,9	bA	3,7	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 56 - Assimilação líquida de CO_2 (A) em plantas de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação

Assimilação líquida de CO_2 (A; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)																
Trat.	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	27,4	aA	27,7	aA	30,9	aA	34,2	aA	30,6	aA	29,2	aA	11,5	aA	12,5	aA
C	19,5	bA	20,3	bA	22,6	bA	23,2	bA	18,1	bA	18,1	bA	9,6	aA	7,0	bA
DHM	18,8	bA	20,7	bA	13,4	cA	14,1	cA	13,8	cA	11,7	cA	9,2	aA	9,3	abA
DHS	20,8	bA	17,5	bB	3,5	dB	7,6	dA	5,1	dA	5,2	dA	6,5	aA	5,6	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.7.2 Condutância estomática (g_s)

Para condutância estomática (g_s) no feijoeiro e soja, observou-se que a medida que intensificou-se a DH, houve redução paralela da condutância estomática (g_s). Notou-se, que os maiores valores de (g_s) foram para plantas que receberam extrato

de algas. Tais resultados observou-se na assimilação líquida de CO₂ e densidade estomática. Houve diferença ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos em todas as épocas de avaliações no feijoeiro e nas épocas 1, 2 e 3 na soja. Os tratamentos com e sem extratos de algas diferiu ($p \leq 0,05$) para o feijoeiro na época 1 e na soja não diferiu. Não houve interação entre os tratamentos para os dois ensaios (Tabelas 57 e 58).

Rocha et al. (2013), avaliando as relações hídricas do feijoeiro sub deficiência hídrica, obtiveram valores de condutância estomática de 0,28 mol H₂O m⁻² s⁻¹ para plantas irrigas e 0,12 mol H₂O m⁻² s⁻¹ para o tratamento de deficiência hídrica. Catuchi et al. (2012), estudou as respostas fisiológicas da cultura de soja sob estresse hídrico, obtiveram gs de 34,8 m⁻² s⁻¹ de H₂O para o tratamento controle e 98,1 m⁻² s⁻¹ de H₂O para o tratamento de deficiência hídrica. Os resultados corroboram com o do presente trabalho.

Tabela 57 - Condutância estomática (g_s) em plantas de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação

Trat.	Condutância estomática (g _s ; mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A	C/A		
AR	0,36	aB	0,48	aA	0,37	aA	0,42	aA	0,33	aA	0,25	aA	0,30	aA	0,35	aA
C	0,27	aA	0,31	bA	0,24	aA	0,27	bA	0,33	aA	0,31	aA	0,38	aA	0,31	aA
DHM	0,25	aA	0,34	bA	0,07	bA	0,12	cA	0,04	bA	0,10	bA	0,05	bA	0,11	bA
DHS	0,30	aA	0,36	bA	0,04	bA	0,03	cA	0,02	bA	0,02	bA	0,02	bA	0,04	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 58 - Condutância estomática (g_s) em plantas de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação

Trat.	Condutância estomática (g _s ; mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A	C/A		
AR	0,60	aA	0,54	aA	0,64	aA	0,69	aA	0,66	aA	0,65	aA	0,17	aA	0,22	aA
C	0,47	abA	0,45	abA	0,55	aA	0,54	aA	0,56	aA	0,57	aA	0,16	aA	0,21	aA
DHM	0,46	abA	0,40	abA	0,24	bA	0,32	bA	0,36	bA	0,33	bA	0,19	aA	0,15	aA
DHS	0,43	bA	0,34	bA	0,04	cA	0,09	cA	0,05	cA	0,07	cA	0,10	aA	0,11	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.7.3 Concentração intercelular de CO₂ (Ci)

A concentração intercelular de CO₂ (Ci) nas plantas de feijão e soja reduziu com a severidade do estresse hídrico. No entanto, as plantas que receberam o extrato de algas aumentaram Ci. Na AR, em geral apresentou os melhores resultados de Ci para o feijoeiro e soja. Isso ocorreu em função de alterações na A e gs que afetam o Ci (Tabelas 59 e 60).

Para os tratamentos hídricos houve diferença ($p \leq 0,05$) para as épocas 2, 3 e 4 no feijoeiro e ao ($p \leq 0,01$) nas épocas 2 e 3 para a soja. Já os tratamentos com e sem extratos de algas diferiram ($p \leq 0,05$) nas épocas 1, 3 e 4 no feijoeiro e na época 1 para soja. Houve interação ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos nas épocas 3 e 4 no feijoeiro, na soja não diferiu.

Ferraz et al. (2012), analisando as trocas gasosas do feijoeiro cultivado no semiárido, obtiveram concentração intercelular média de 250 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$ em diferentes genótipos de feijão. Catuchi et al. (2012), verificou que concentração intercelular na soja para o tratamento controle de 239 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$ e para deficiência hídrica 210,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$ em estudo com soja sob deficiência hídrica. Os resultados acima se aproximam dos valores do presente estudo.

Tabela 59 - Concentração intercelular de CO₂ (Ci) em plantas de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação

Trat.	Concentração intercelular de CO ₂ (Ci; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	276,2	aA	281,0	aA	234,0	aA	243,5	aA	222,8	bA	203,5	aA	274,7	abA	289,8	aA
C	281,0	aA	294,2	aA	274,2	aA	285,7	aA	297,9	bA	276,7	aA	314,9	aA	300,9	aA
DHM	268,6	aB	295,8	aA	152,8	aA	203,0	aA	260,6	bA	206,2	aA	198,9	bA	254,9	aA
DHS	269,4	aB	293,4	aA	210,1	aA	266,4	aA	449,8	aA	182,3	aB	253,7	abA	168,4	bB

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 60 - Concentração intercelular de CO₂ (C_i) em plantas de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação

Trat.	Concentração intercelular de CO ₂ (C _i ; μmol CO ₂ mol ar ⁻¹)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A				
AR	286,8	aA	265,8	aA	273,0	aA	285,5	aA	280,8	aA	279,3	aA	241,3	aA	273,0	aA
C	293,3	aA	282,1	aA	289,2	aA	303,5	aA	311,4	aA	308,4	aA	266,2	aA	304,1	aA
DHM	298,1	aA	263,8	aB	266,1	abA	295,7	aA	301,6	aA	302,1	aA	276,1	aA	344,1	aA
DHS	284,7	aA	273,0	aA	218,3	bA	230,7	bA	217,0	bA	225,6	bA	238,4	aA	262,6	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.7.4 Transpiração (E)

Para a transpiração (E) nos ensaios de feijão e soja, as plantas passaram a transpirar menos a medida que intensificou a deficiências hídrica. Observou-se, que o desequilíbrio em um dos parâmetros de trocas gasosas acarreta efeito generalizada na planta. Assim, as menores transpirações foram para os tratamentos de DHM e DHS pelo fato de grande parte dos estômatos estarem fechados (Tabelas 61 e 62). Para os tratamentos hídricos houve diferença ($p \leq 0,01$), para as épocas 2, 3 e 4 do feijoeiro e nas épocas 2, 3 e 4 na soja. Os tratamentos com e sem extratos de algas não diferiram para o feijoeiro, porém, na soja houve diferença ($p \leq 0,05$) na épocas 2. Não houve interação entre os tratamentos nos dois ensaios.

Rocha et al. (2013), constatou que deficiência hídrica proporcionam uma leve redução na transpiração foliar, onde os valores de transpiração foram 19,2 g cm² s⁻¹ para o tratamento controle e 14,1 g cm² s⁻¹ para deficiência hídrica. Ferraz et al. (2012), obtiveram valores de transpiração entre 2 e 4 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ para diferentes genótipos de feijão cultivado no semiárido.

Tabela 61 - Transpiração (E) em plantas de feijoeiro em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação

Trat.	Transpiração (E; mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A						
AR	6,50	aA	7,07	aA	5,10	aA	6,45	aA	6,43	aA	4,77	abA	4,39	aA	5,09	aA
C	5,39	aA	5,01	aA	3,31	abA	4,88	abA	6,88	aA	7,32	aA	5,23	aA	4,33	aA
DHM	4,51	aA	5,09	aA	1,26	bA	2,71	bcA	1,28	bA	2,65	bcA	0,89	bA	1,94	bA
DHS	5,67	aA	5,93	aA	0,80	bA	0,76	cA	0,74	bA	0,78	cA	0,46	bA	0,89	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 62 - Transpiração (*E*) em plantas de soja em função dos tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas em diferente épocas de avaliação

Transpiração (<i>E</i> ; mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)																
Trat.	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	9,63	aA	9,22	aA	10,34	aA	8,21	aB	8,87	aA	10,40	aA	2,57	aA	3,61	aA
C	8,49	aA	8,72	aA	9,90	aA	7,24	abB	7,97	aA	9,85	aA	2,45	aA	3,43	aA
DHM	8,31	aA	8,21	aA	5,94	bA	5,17	bA	6,47	aA	7,14	bA	3,28	aA	3,73	aA
DHS	8,11	aA	7,22	aA	1,50	cA	1,91	cA	1,68	bA	2,30	cA	1,87	aA	1,68	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.8 Teor de clorofila

As clorofilas são pigmentos de cor verde, facilmente encontradas em células fotossintéticas. A clorofila *a* é responsável pela reação fotoquímica (1° estágio da fotossíntese) no tecido vegetal, assim, tem atuação nos cloroplastos das folhas. Já a clorofila *b* e os carotenoides são apontadas como pigmentos suplementares, onde são encarregadas pela assimilação de luz e transporte da energia radiante ao centro da reação.

4.8.1 Clorofila *a*

Plantas tratadas com AR apresentaram maior concentração das clorofilas *a*, *b* e carotenoides, isso porque através da análise de água notou altos teores de nitrogênio que favorece a formação de pigmentos verdes no ensaio de feijão e soja (Tabelas 63, 64, 65, 66, 67, 68). É importante ressaltar que a produção de clorofila não foi afetada pela água residuária. E as plantas que receberam extratos de algas em geral, apresentaram maior acúmulo de pigmentos. De acordo com a intensidade do estresse hídrico ocorreu a degradação dos pigmentos em função de cada época de avaliação.

A aplicação dos diferentes tratamentos hídricos diferiram significativamente ($p \leq 0,01$) na clorofila *a* para as épocas 2, 3 e 4 no feijoeiro e na soja para todas as épocas. Já os tratamentos com e sem extrato de algas diferiu diferem ($p \leq 0,05$) na época 4 no feijoeiro e época 1 na soja. Para interação entre os tratamentos houve diferença ($p \leq 0,05$) apenas na época 4 no feijoeiro e nas épocas 1 e 4 na soja (Tabelas 63 e 64).

Abo-Sedera et al. (2016), em aplicação de extrato de algas e fertilizante mineral em plantas de feijoeiro obtiveram médias de clorofila *a* 4,33 mg 100 g⁻² de folha para

tratamento controle e 4 mg 100 g⁻² de folha para o tratamento com extrato de algas. Mousumi et al.(2015), constataram que clorofila *a* apresenta diferença significativa entre extrato de algas e fertilizante mineral na cultura do feijoeiro. Amarante et al. (2007), avaliando o teores de clorofilas em plantas de soja em associação simbiótica obtiveram concentração de clorofila *a* 0,27 mg g⁻² de folha.

Tabela 63 - Concentração de clorofila *a* em folhas de feijão para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas

Trat.	Clorofila <i>a</i> (µg cm ⁻² de folha)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A	C/A		
AR	11,8	aA	11,2	aA	13,9	aA	14,0	aA	13,2	aA	13,5	aA	8,6	aA	8,1	aA
C	10,2	aA	11,3	aA	8,1	bA	8,3	bA	8,2	bA	8,6	bA	8,2	aA	7,9	aA
DHM	11,7	aA	10,7	aA	7,6	bA	7,8	bA	8,8	bA	7,4	bA	7,4	aA	5,8	aA
DHS	9,9	aA	10,5	aA	6,9	bA	7,7	bA	7,4	bA	7,9	bA	3,6	bB	6,9	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 64 - Concentração de clorofila *a* em folhas de soja para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas

Trat.	Clorofila <i>a</i> (µg cm ⁻² de folha)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A	C/A		
AR	14,7	aA	13,7	aA	16,2	aA	13,7	aA	18,5	aA	18,5	aA	11,3	abA	10,5	aA
C	10,8	bA	11,3	abA	9,5	bA	11,2	abA	10,5	bA	12,8	bA	9,0	bA	8,4	bA
DHM	6,8	cB	11,0	abA	8,9	bA	7,8	bA	11,8	bA	14,0	abA	8,5	bA	8,1	bA
DHS	9,5	bcA	10,3	bA	7,9	bA	10,4	abA	11,6	bA	14,8	abA	12,7	aA	12,6	abA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.8.2 Clorofila *b*

Nas Tabelas 65 e 66, a Clorofila *b* no feijoeiro e soja apresentaram resultados semelhantes a clorofila *a*, onde os tratamentos com maior estresse hídrico apresentou maiores perdas de pigmento. Houve diferença estatística ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos em todas as épocas para o feijoeiro e na soja para as épocas 2 e 3. Os tratamentos com e sem extrato de algas não diferiram para os dois ensaios.

Para interação houve diferença ($p \leq 0,05$) apenas na época 1 no feijão e na soja não diferiu.

Mansori et al. (2015), verificaram o efeito do déficit hídrico no feijoeiro com extrato de ulva rígida e obtiveram concentração de índice de clorofila *b* 1,1 mg 100 g⁻² de folha no tratamento controle e 1,5 mg 100 g⁻² de folha no tratamento com deficiência hídrica moderada. Mousumi et al.(2015), avaliando o efeito da extrato de algas e fertilizante mineral na cultura do feijoeiro constataram que índice de clorofila *b* oferece diferença significativa entre os tratamentos. Amarante et al. (2007), constataram que as plantas de soja em associação simbiótica expressaram índice de clorofila *b* 0,09 mg g⁻² de folha.

Tabela 65 - Concentração de clorofila *b* em folhas de feijão para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas

TRAT.	Clorofila <i>b</i> ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	4,19	abA	3,58	aA	4,68	aA	4,83	aA	4,77	aA	4,85	aA	3,25	aA	2,95	aA
C	3,32	abA	3,73	aA	2,76	bA	2,80	bA	2,66	bA	3,02	bA	2,81	abA	2,83	aA
DHM	4,33	aA	3,55	aB	2,57	bA	2,60	bA	2,97	bA	2,57	bA	2,65	abA	1,97	aA
DHS	3,22	bA	3,73	aA	2,37	bA	2,87	bA	2,76	bA	2,86	bA	1,57	bA	2,49	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 66 - Concentração de clorofila *b* em folhas de soja para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas

Trat.	Clorofila <i>b</i> ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	4,61	aA	4,66	aA	6,36	aA	5,56	aA	9,31	aA	7,70	aA	4,76	aA	4,02	aA
C	3,71	aA	3,80	aA	3,55	bA	4,22	abA	4,48	bA	5,78	aA	3,53	aA	3,50	aA
DHM	4,03	aA	3,80	aA	3,16	bA	3,07	bA	6,02	bA	5,98	aA	3,36	aA	3,62	aA
DHS	3,31	aA	3,74	aA	2,93	bA	3,87	abA	4,64	bA	4,78	aA	6,17	aA	5,02	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.8.3 Concentração de carotenoides

Entre os principais pigmentos, os carotenoides foram os que apresentaram a maior taxa de degradação, principalmente em plantas dos tratamentos DHM e DHS

sem extrato de algas (Tabelas 67 e 68). Altas perdas desse pigmento acessório causa danos na captação de energia solar, em seguida na fotossíntese. Os tratamentos hídricos diferem significativamente ($p \leq 0,01$) para as épocas 2, 3 e 4 no feijoeiro e na soja para as épocas 1, 2 e 3. Já para tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,05$) apenas na época 4 no feijoeiro e época 1 na soja. Para interação entre tratamentos houve significância ($p \leq 0,05$) na época 4 para feijão e soja.

Abo-Sedera et al. (2016), obtiveram concentração de carotenoides em plantas de feijoeiro com aplicação de extrato de algas e fertilizante mineral na ordem de 3,74 mg 100 g⁻² de folha para tratamento controle e 3,73 mg 100 g⁻² de folha para tratamento com extrato de algas. Nascimento et al. (2009), em medidas de carotenoides em três cultivares de soja sob diferentes adubações obtiveram concentração média 4,5 µg mg⁻² de folha sem adubação e 5,5 µg mg⁻² de folha com adubação.

Tabela 67 - Concentração de carotenoides em folhas de feijão para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas

Trat.	Carotenoides (µg cm ⁻² de folha)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	2,68	aA	2,75	aA	3,06	aA	3,21	aA	3,08	aA	3,11	aA	2,19	aA	2,03	aA
C	2,57	aA	2,70	aA	2,09	bA	2,12	bA	2,18	bA	2,20	bA	2,17	aA	1,99	aA
DHM	2,80	aA	2,61	aA	1,93	bA	1,96	bA	2,17	bA	1,85	bA	1,76	aA	1,44	aA
DHS	2,41	aA	2,58	aA	1,77	bA	1,94	bA	1,90	bA	1,99	bA	1,07	bB	1,75	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 68 - Concentração de carotenoides em folhas de soja para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas

Trat.	Carotenoides (µg cm ⁻² de folha)															
	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A								
AR	3,61	aA	3,34	aA	3,92	aA	3,25	aA	4,65	aA	4,42	aA	2,94	aA	2,78	aA
C	2,70	bA	2,73	aA	2,42	bA	2,69	abA	2,65	bA	3,01	bA	2,42	aA	2,28	aA
DHM	1,95	bB	2,72	aA	2,25	bA	1,99	bA	2,83	bA	3,30	abA	2,27	aA	2,22	aA
DHS	2,10	bA	2,63	aA	2,10	bA	2,60	abA	2,91	bA	3,64	abA	3,25	aA	3,13	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.8.4 Clorofila total

Para clorofila total (Tabelas 69 e 70), observou-se que ocorreu a degradação da clorofila a medida que acentuou-se a deficiência hídrica na cultura do feijoeiro e soja. As plantas que receberam extrato de algas apresentaram melhores teores de clorofila em relação as plantas sem extrato de algas em condição de DH. O tratamento de AR apresentou o maior teor de clorofila nos dois ensaios. Os tratamentos hídricos diferiram ($p \leq 0,01$) para as épocas 2, 3 e 4 no feijoeiro e na soja para as épocas 1, 2 e 3. Para os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,05$) na época 4 no feijoeiro e na épocas 1 para a soja. Em relação a interação entre tratamentos diferiram ($p \leq 0,05$) na época 4 para os dois ensaios.

Mansori et al. (2015), estudando o efeito do déficit hídrico no feijoeiro obtiveram clorofila total para plantas irrigadas $1,9 \mu\text{g mg}^{-2}$ de folha e para plantas em déficit hídrico $2,2 \mu\text{g mg}^{-2}$ de folha. Nascimento et al. (2009), observaram que a clorofila total em folhas de soja com e sem adubação foram em média $0,8 \mu\text{g mg}^{-2}$ sem adubação e $1,3 \mu\text{g mg}^{-2}$ de folha com adubação.

Tabela 69 - Concentração total de clorofila em folhas de feijão para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas

Clorofila total ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha)																
Trat.	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A		
AR	22,3	aA	20,5	aA	25,8	aA	26,2	aA	25,0	aA	25,6	aA	16,5	aA	15,4	aA
C	18,8	aA	20,8	aA	15,1	bA	15,5	bA	15,1	bA	16,2	bA	15,4	aA	15,0	aA
DM	22,4	aA	19,9	aA	14,2	bA	14,4	bA	15,4	bA	14,8	bA	14,1	aA	13,9	aA
DS	18,2	aA	19,9	aA	12,9	bA	14,8	bA	14,2	bA	15,0	bA	7,3	bB	13,1	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 70 - Concentração total de clorofila em folhas de soja para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas

Clorofila total ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha)																
Trat.	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4									
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A		
AR	26,7	aA	25,5	aA	31,6	aA	27,0	aA	39,4	aA	36,7	aA	22,6	aA	20,4	aA
C	20,1	bA	20,9	abA	18,2	bA	21,5	abA	21,1	bA	26,2	aA	17,5	aA	17,7	aA
DM	15,6	bB	20,6	abA	16,8	bA	15,2	bA	25,2	bA	28,1	aA	16,6	aA	16,5	aA
DS	17,8	bA	19,5	bA	15,1	bA	19,9	abA	21,2	bA	27,1	aA	26,6	aA	25,6	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.8.5 Índice relativo de clorofila

O índice relativo de clorofila (IRC) representa a intensidade de cor verde nas folhas de plantas de feijão e soja. As plantas do tratamento de AR com extrato de algas mostrou-se com maior IRC, por outro lado, as plantas sob estresse severo sem extrato de algas apresentaram os menores IRC. Portanto, a intensidade do estresse hídrico associado a nutrição da planta interfere diretamente no IRC.

Assim, os tratamentos hídricos diferiram ($p \leq 0,01$) para todas as épocas no feijoeiro e na soja. Os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença ($p \leq 0,01$) na época 2 no feijoeiro e nas épocas 2 e 3 na soja. Em relação a interação entre tratamentos não houve diferença para os dois ensaios (Tabelas 71 e 72).

Bertoldo et al. (2015), em cultivo de feijoeiro com e sem inoculação constataram que índice relativo de clorofila para plantas inoculas 35,56 unidade SPAD e não inoculadas 36,03 unidade SPAD. Campos et al.(2008), obtiveram índice relativo de clorofila para as plantas de soja na ordem de 38,0 a 35,5 unidade SPAD em estudos do crescimento de plantas de soja tratadas com reguladores.

Tabela 71 - Índice relativo de clorofila em folhas de feijão para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas

Trat.	Índice relativo de clorofila (U SPAD)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	15,6	aA	15,4	aA	45,6	aA	45,8	aA	42,1	aA	43,3	aA	36,7	aA	38,7	aA
C	9,7	bA	9,5	bA	28,2	bB	30,6	bA	29,4	bA	31,0	bA	27,2	bA	25,5	bA
DHM	11,5	bA	10,5	bA	26,8	bB	29,5	bcA	28,4	bA	30,7	bA	24,4	bA	22,8	bA
DHS	9,5	bA	10,9	bA	26,4	bA	26,6	cA	21,7	cA	25,6	bA	26,8	bA	27,5	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 72 - Índice relativo de clorofila em folhas de soja para os tratamentos AR, C, DHM, DHS e extrato de algas

Trat.	Índice relativo de clorofila (U SPAD)															
	Época 1				Época 2				Época 3				Época 4			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	40,2	aA	40,2	aA	43,0	aA	42,1	aA	46,9	aA	44,3	aA	38,4	aA	35,1	aA
C	28,8	bA	30,1	bA	34,2	bA	35,3	abA	33,0	cA	34,8	bA	29,2	bA	29,6	abA
DHM	28,7	bB	32,1	bA	32,0	bA	32,1	bA	30,0	cB	36,4	bA	27,3	bA	30,4	abA
DHS	30,2	bA	30,0	bA	28,3	bB	33,7	bA	38,6	bA	37,3	bA	27,0	bA	28,0	bA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

4.8 Análises bioquímicas

As plantas em situação de estresse estabelecem reações em série visando dismutar eventos oxidativos em nível celular (mitocondrial, cloroplastidal e citossólico). Estas regiões, em função da sua elevada atividade metabólica são suscetíveis de iniciar a ativação de grupos enzimáticos em resposta antioxidativa. Este complexo é formado por enzimas que objetivam dismutar espécies reativas de oxigênio (ERO), defendendo assim os componentes celulares e grupos de membranas. O estresse hídrico é uma variante capaz de instigar a explosão oxidativa em diferentes espécies vegetais. Portanto, a ativação dos distintos processos referentes a defesa antioxidativa das plantas estabelece uma ferramenta eficaz para apontar a ocorrência de estresses.

4.8.1 Teor de proteína solúvel total (PST)

O teor de proteína solúvel total (PST) em folhas de feijoeiro e soja (Figuras 40 e 41), é um indicador de referência usados na atividade de diferentes enzimas. A PST no feijoeiro foi maior no tratamento de AR sem extrato de algas até a época 3. Os valores de proteína variaram entre 8,3 a 27,9 mg de proteína g⁻¹ MF para AR, C (7,8 a 11,4 mg de proteína g⁻¹ MF), DHM (5,5 a 9,8 mg de proteína g⁻¹ MF) e DHS (5,4 a 9,1 mg de proteína g⁻¹ MF).

Na soja, a PST foi maior para as plantas que receberam extrato de algas, com destaque para AR. Os valores variaram de 13,8 a 32,7 mg de proteína g⁻¹ MF na AR, C (7,8 a 23,3 mg de proteína g⁻¹ MF), DHM (9,8 a 24,5 mg de proteína g⁻¹ MF) e DHS (13,9 a 23,0 mg de proteína g⁻¹ MF). Notou-se que PST reduziu com a severidade do estresse e a época de avaliação.

Em relação aos tratamentos hídricos houve diferença ($p \leq 0,01$) em todas as épocas de avaliação no feijoeiro e na soja. Os tratamentos com e sem extrato de algas diferiram ($p \leq 0,01$) no feijoeiro nas épocas 1, 2 e 4 e na soja ($p \leq 0,05$) nas épocas 1 e 2. Já a interação entre os tratamentos não diferiram nos dois ensaios.

Abo-Sedera et al. (2016), obtiveram teor de proteína total em plantas de feijoeiro com aplicação de extrato de algas e fertilizante mineral na ordem de 16,11 mg de proteína g⁻¹ MF para plantas que receberam extrato de algas e 13,40 mg de proteína g⁻¹ MF para plantas adubas com fertilizante mineral.

Wittenbach (1983), pesquisando a composição proteica da soja cultivada em campo observou que os valores de proteína permaneceram entre 5 a 6 mg de proteína cm^{-1} MF. Já Vasconcelos et al. (2009), avaliando a resposta da soja a bioestimulantes obtiveram 249,4 μg proteína g^{-1} MF. Observou-se que os valores citados na literatura aproximam-se do presente estudo para os tratamentos com deficiência hídrica.

Figura 40 - Valores médios de proteína solúvel total (mg g^{-1} MF) em folhas de feijoeiro sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letras minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas

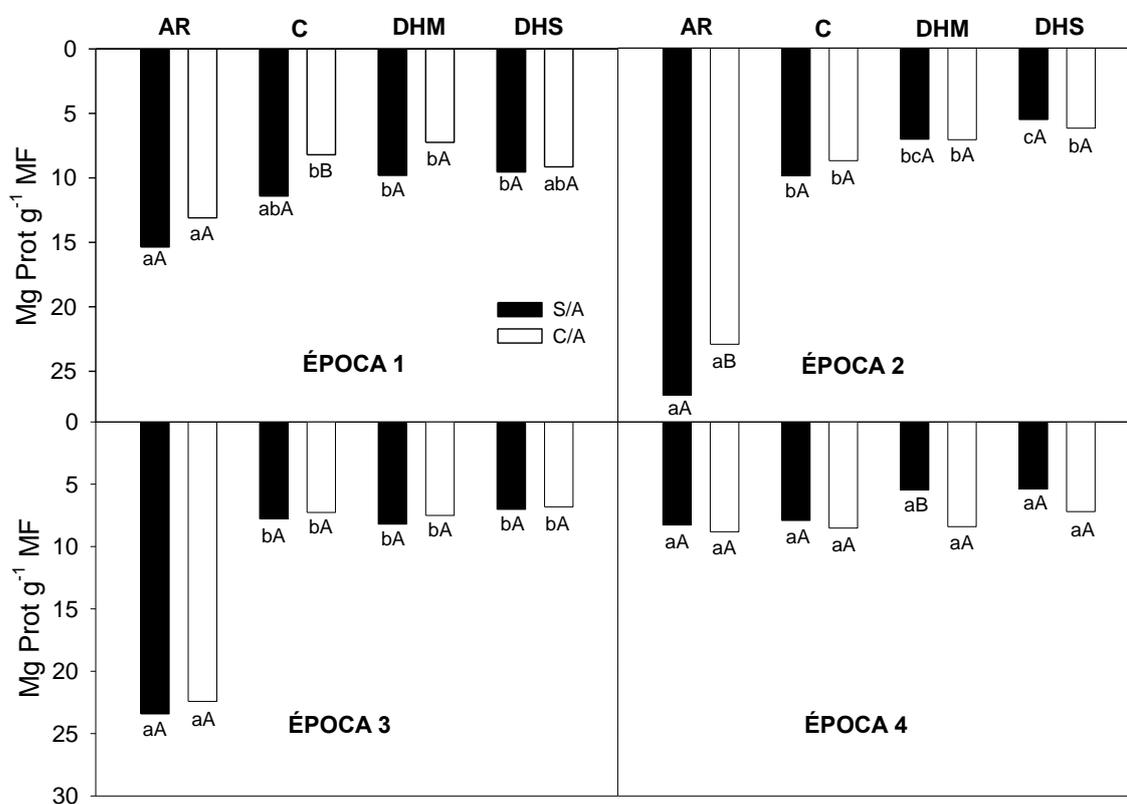
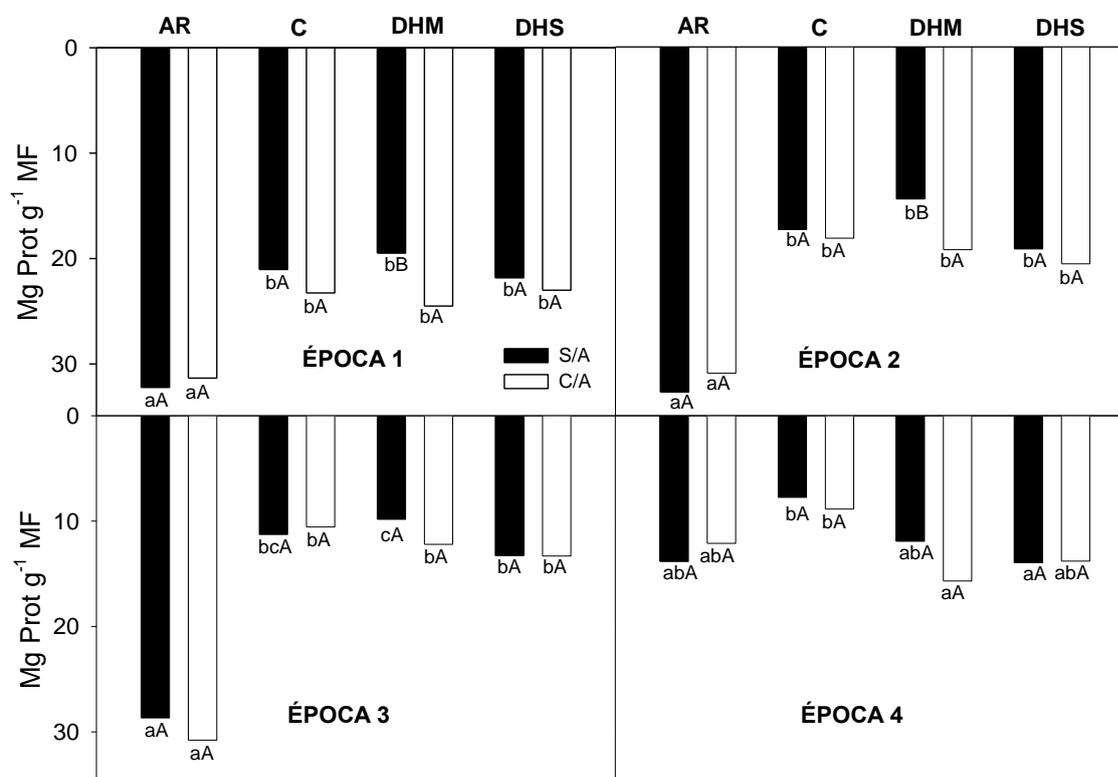


Figura 41 - Valores médios de proteína solúvel total (mg g^{-1} MF) em folhas de soja sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas



4.8.2 Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD; EC 1.15.1.1)

A enzima superóxido dismutase (SOD) é encarregada pela dismutação de radicais superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$) com formação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), constituindo a primeira linha de proteção antioxidativa enzimática. Os peróxidos são em seguida neutralizados formando água, pela atuação de diversas peroxidases e catalases (SILVEIRA et al. 2010).

A atividade da SOD foi maior nos tratamentos de estresse hídrico severo com extrato de algas até a épocas 3 no feijoeiro, entretanto, na soja observou-se que os tratamentos sem extrato de algas sob estresse apresentaram as maiores atividades (Figura 42 e 43). No feijoeiro a atividade da SOD para AR variou 1,14 a 3,20 UI μg proteína⁻¹, C (2,26 a 3,10 UI μg proteína⁻¹), DHM (2,26 a 4,69 UI μg proteína⁻¹) e DHS (2,35 a 5,60 UI μg proteína⁻¹). Na soja, as maiores atividades foram para as plantas que não receberam o extrato de algas. Os valores variaram de 0,87 a 2,0 UI μg

proteína⁻¹ na AR, C (1,26 a 1,77 UI µg proteína⁻¹), DHM (1,19 a 2,78 UI µg proteína⁻¹) e DHS (1,22 a 3,19 UI µg proteína⁻¹).

Para os tratamentos hídricos houve diferença ($p \leq 0,01$) nas épocas 2, 3 e 4 no feijoeiro e na soja em todas as épocas. Os tratamentos com e sem extrato de algas diferiram ($p \leq 0,05$) no feijoeiro nas épocas 1, 3 e 4 e na soja nas épocas 1, 2 e 3. Já a interação entre os tratamentos diferiram nas épocas 3 e 4 para o feijoeiro e na soja não houve diferença.

Mansori et al. (2015), observaram que as plantas de feijoeiro sob DH e pulverizadas com diferentes concentrações de extrato de algas marinhas, apresentaram aumentos na atividade enzimática da SOD na ordem de 2,5 a 7,2 UI µg proteína⁻¹ para plantas irrigas e não irrigadas. Vasconcelos et al. (2009), avaliando a resposta da soja a bioestimulantes sob DH obtiveram atividade da SOD de 0,66 UI µg proteína⁻¹ para plantas irrigada e 1,70 UI µg proteína⁻¹ para plantas submetidas a DH.

Figura 42 - Atividade da enzima superóxido dismutase SOD (UI µg proteína⁻¹) em folhas de feijoeiro sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas

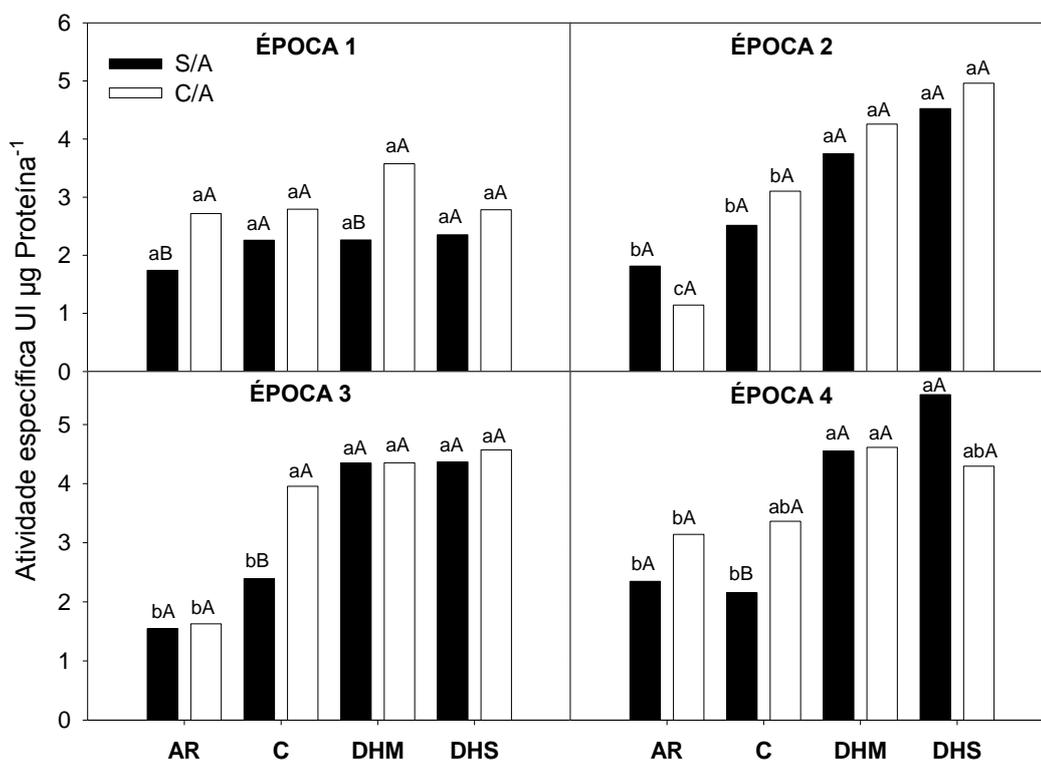
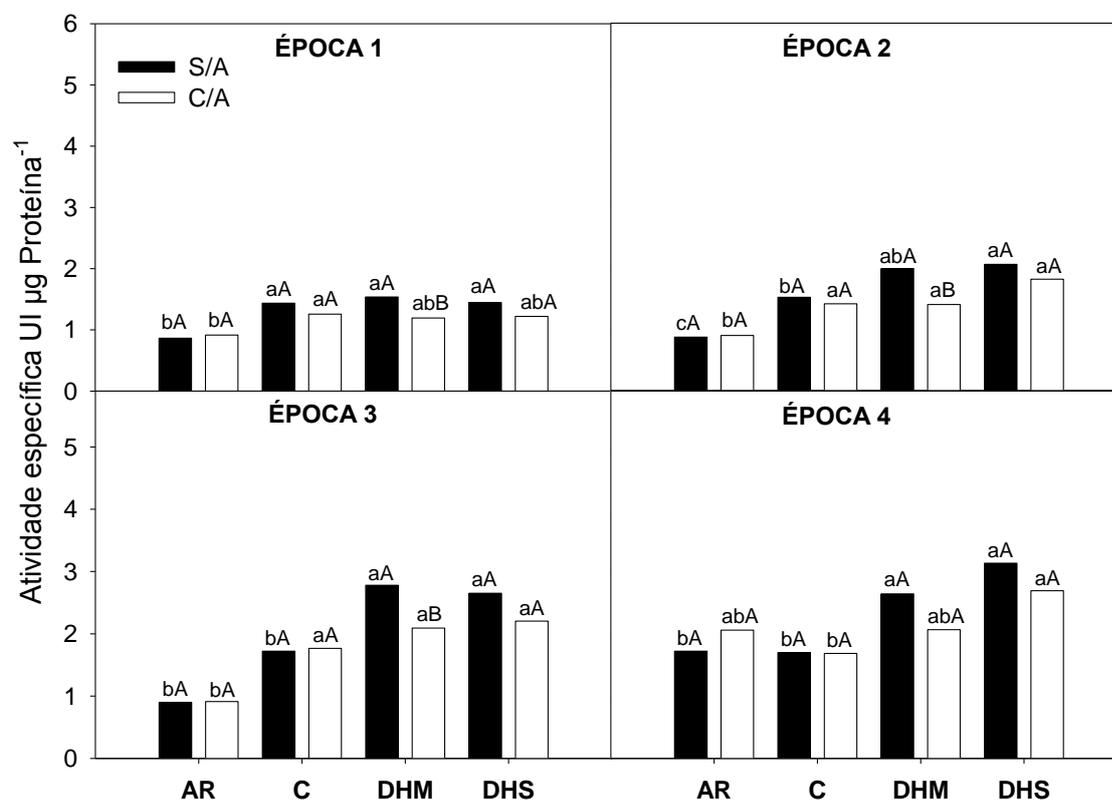


Figura 43 - Atividade da enzima superóxido dismutase SOD (UI $\mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de soja sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas



4.8.3 Atividade da enzima catalase (CAT; EC.1.11.1.6)

A enzima catalase (CAT) é encarregada por complementar a dismutação do H_2O_2 em água. A atividade da CAT foi maior nos tratamentos de estresse hídrico severo sem extrato de algas em todas as épocas no feijoeiro e na soja. Na época 4, observou-se que as plantas sob estresse severo exibiram alta atividade da CAT no dois ensaios (Figuras 44 e 45).

O feijoeiro apresentou atividade CAT entre 16,85 a 59,39 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$, C (35,75 a 82,50 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$), DHM (51,58 a 102,91 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) e DHS (42,94 a 139,12 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$). Para a soja os valores variaram de 11,00 a 25,60 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$ na AR, C (16,50 a 40,10 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$), DHM (16,10 a 85,60 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) e DHS (18,60 a 98,80 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$).

Houve diferença ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos em todas épocas no feijoeiro e nas épocas 2, 3 e 4 para a soja. Para os tratamentos com e sem extrato de algas diferiram ($p \leq 0,01$) no feijoeiro nas épocas 2, 3 e 4 e na soja nas épocas 3 e 4. A interação entre os tratamentos diferiram ($p \leq 0,01$) nas épocas 3 e 4 para o feijoeiro e a soja.

Mansori et al. (2015), observaram que as plantas de feijoeiro sob DH apresentaram maior atividade da CAT para os tratamentos de maior deficiência hídrica, onde atividade da CAT para as plantas irrigas $14 \mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$ e as plantas sob DH $20 \mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$.

Vasconcelos et al. (2009), avaliando atividade enzimática da CAT em plantas de soja sob DH em resposta a aplicação de bioestimulantes aos 60 DAE obtiveram atividade $407,5 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteína}$ para plantas irrigadas e $1262,3 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteína}$ para plantas em DH.

Figura 44 - Atividade da enzima catalase CAT ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de feijoeiro sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas

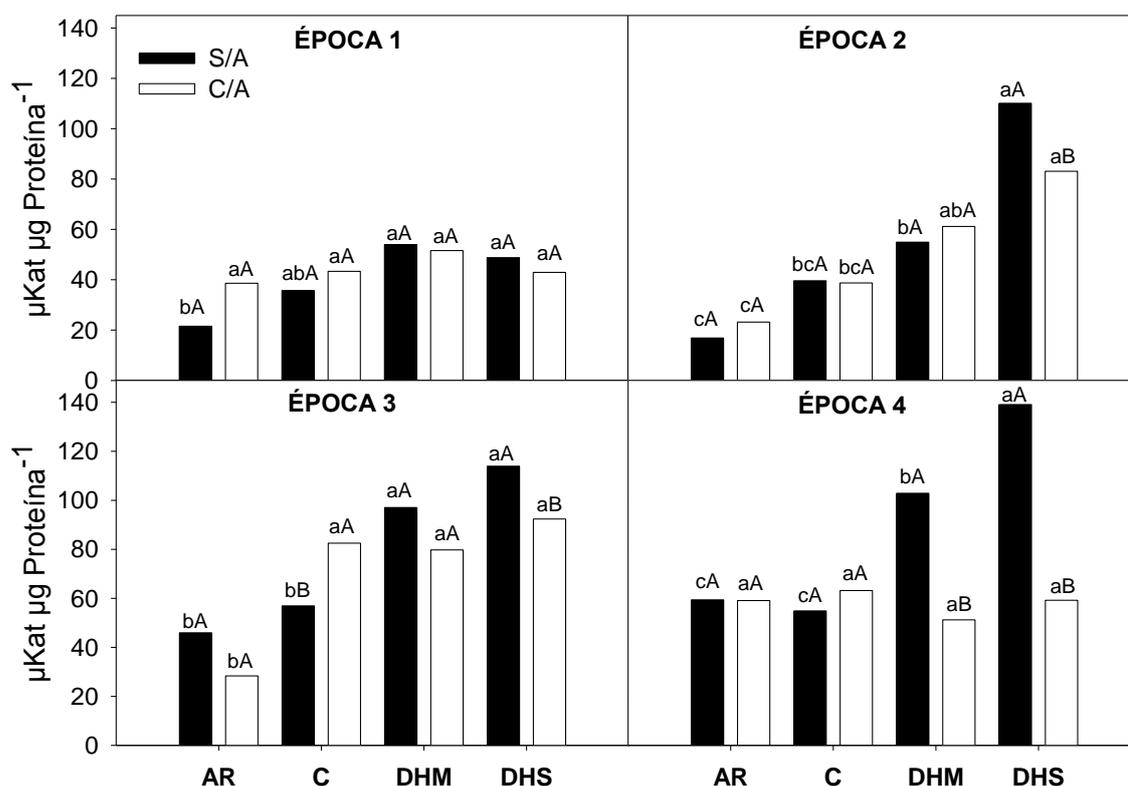
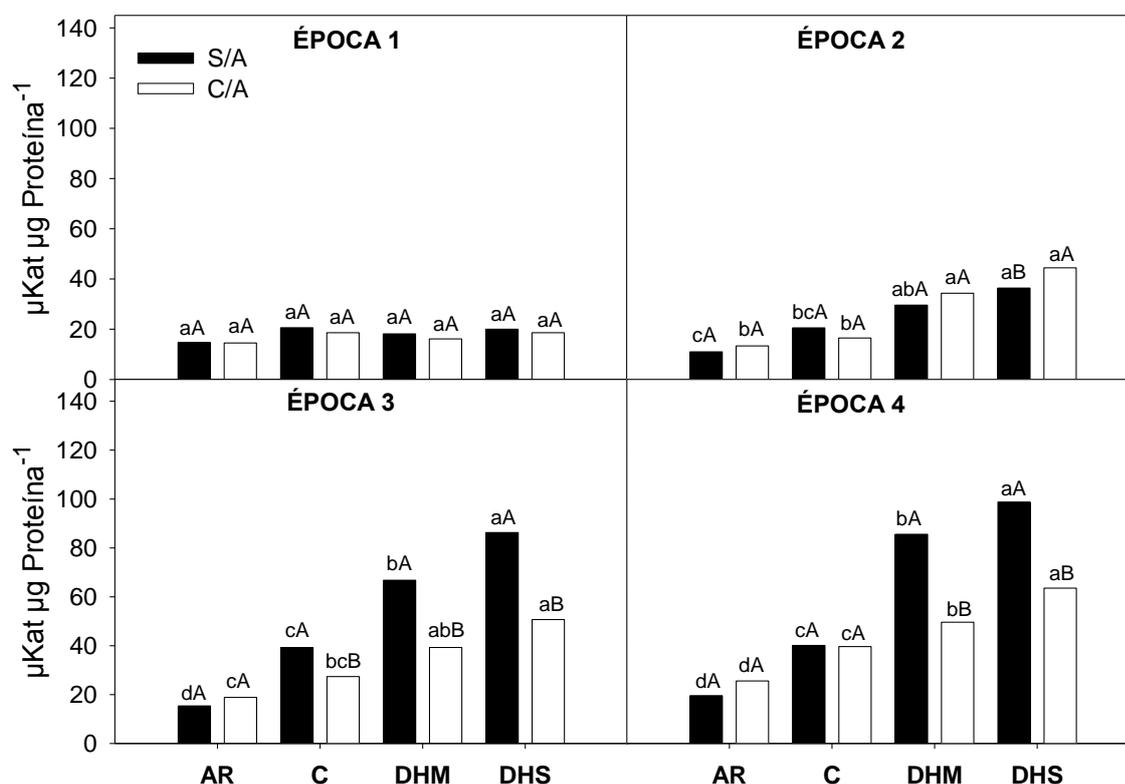


Figura 45 - Atividade da enzima catalase CAT ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de soja sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas



4.8.4 Atividade da enzima peroxidase (POX; EC 1.11.1.7)

A enzima peroxidase (POX) tem por função proteger o tecido vegetal face à efeitos tóxicos do peróxido formado durante o metabolismo celular, visto que essa enzima acelera a reação e dismutando o H_2O_2 em H_2O e O_2 .

As maiores atividades da enzima POX (Figuras 46 e 47) ocorreram para as plantas sob estresse hídrico e sem o uso de extrato de algas. Nota-se que nas épocas 3 e 4 intensificou a atividade da enzima no estresse hídrico severo no feijoeiro e na soja. O tratamento AR não apresentou alta atividade da POX em função das épocas.

Registrou-se atividade POX entre 230,60 a 973,10 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$ para AR, C (272,10 a 919,90 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$), DHM (251,60 a 1229,50 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) e DHS (299,50 a 1636,20 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) para as plantas de feijoeiro. Para a soja os valores foram de 346,80 a 652,40 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$ na AR, C (445,70 a 552,30

$\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$), DHM (382,60 a 962,50 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) e DHS (457,00 a 1126,40 $\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$).

Estatisticamente houve diferença ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos em todas épocas no feijoeiro e nas épocas 2, 3 e 4 para a soja. Os tratamentos com e sem extrato de algas diferiram ($p \leq 0,05$) no feijoeiro na épocas 2 e nas épocas 3 e 4 ao ($p \leq 0,01$), já a soja apenas as épocas 1 e 2. Para interação entre os tratamentos houve diferença ($p \leq 0,05$) nas épocas 3 e 4 para o feijoeiro e época 1 na soja.

Campos et al. (2004), verificou resistência do feijoeiro à antracnose em resposta a atividade da peroxidase, onde a atividade da POX no tratamento controle 39 $\text{UE min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ tecido e no tratamento com fungo 72 $\text{UE min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ tecido. Pereira et al. (2009), estudando aplicação foliar de silício na resistência da soja a ferrugem obtiveram atividade média da POX de 25 $\text{M min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ na aplicação do silicato de potássio. Segundo o autor esse valor é considerada normal para a soja.

Figura 46 - Atividade da enzima peroxidase POX ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de feijoeiro sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas

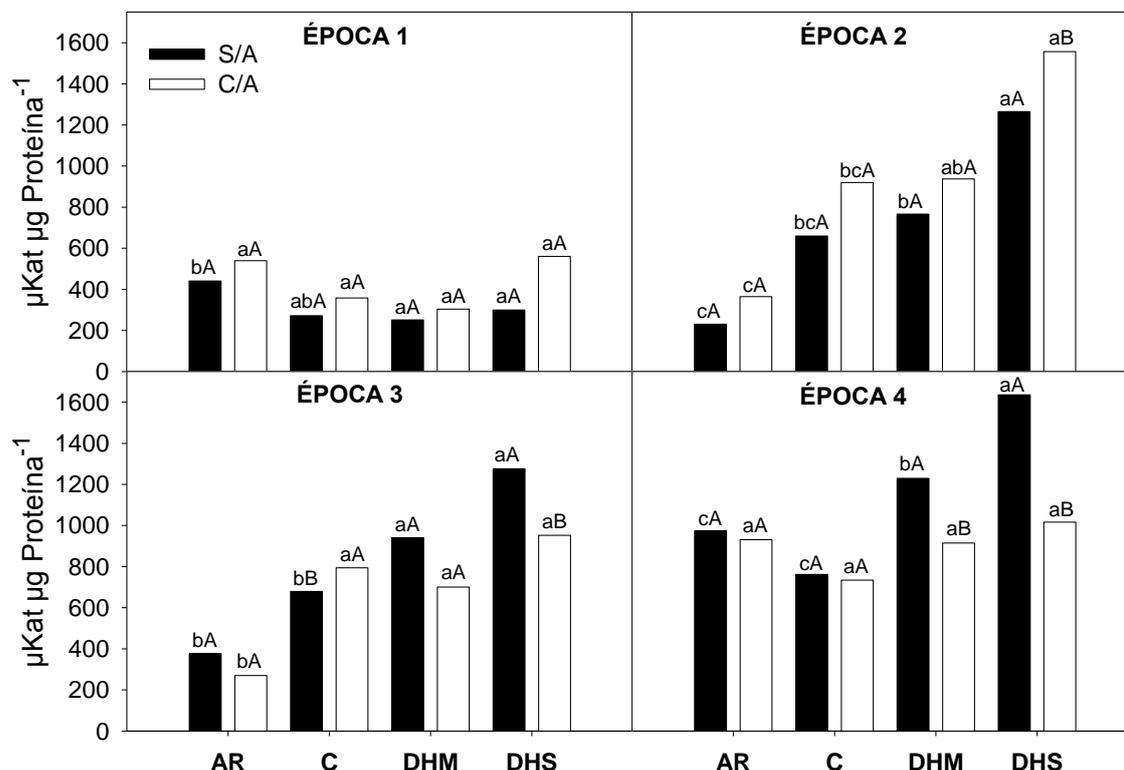
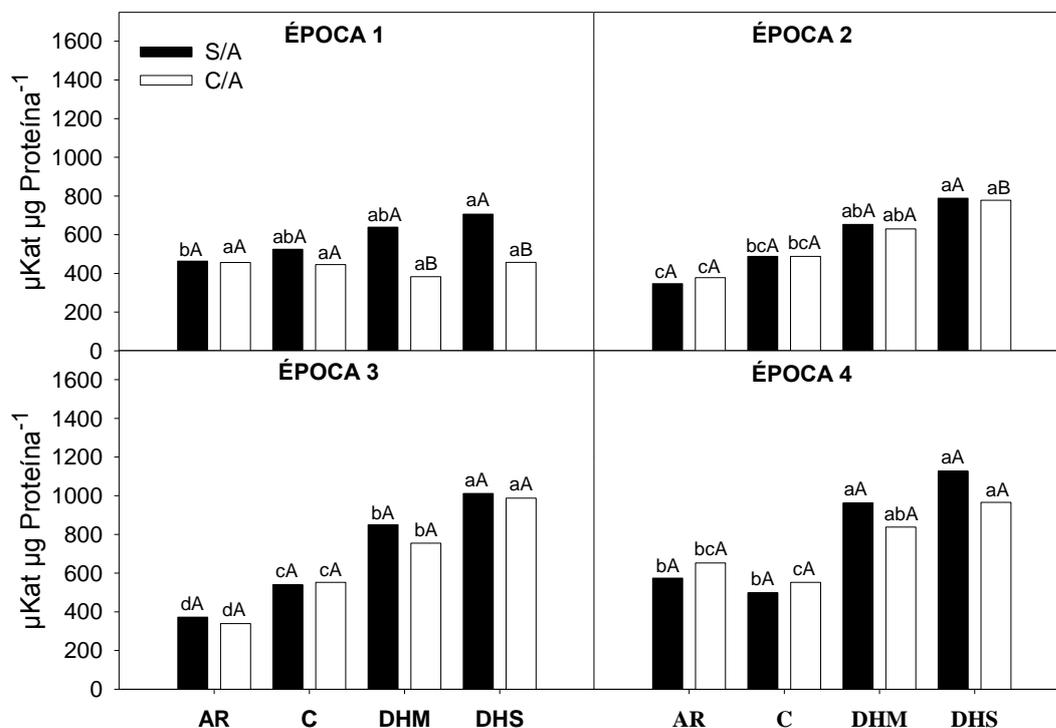


Figura 47 - Atividade da enzima peroxidase POX ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de soja sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas



4.8.5 Teor de L-prolina

A prolina é um aminoácido produzido sob condições fisiológicas normais com a função de preservar as células dos processos de desnaturação sob situações de estresse. A concentração de L-prolina representa a reação de composto osmoregulador tolerantes a estresses físicos, protegendo espécies na adaptação osmótica e reduto celular, ou simplesmente uma consequência provocado por alterações metabólicas induzido pelo estresse (SILVEIRA et al. 2010).

A concentração de L-prolina para as plantas de feijoeiro e soja (Figuras 48 e 49), observou-se que no tratamento de AR, DHM e DHS sem extrato de algas apresentaram maior concentração de aminoácido. Nota-se ainda, que as plantas com extrato de algas apresentam menores acumulos de aminoácido a medida que intensificava-se a DH as plantas se aproximavam da fase de produção. Assim, fica evidente que as plantas com extrato de algas não sofreram grandes danos físicos em função do extrato de algas.

Portanto, o acumulou L-prolina foram de 0,52 a 2,93 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF para AR, C (0,67 a 2,31 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF), DHM (0,75 a 1,79 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) e DHS (0,62 a 3,12 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) para o feijoeiro. Já a soja os valores foram de 1,06 a 2,25 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF na AR, C (1,39 a 2,81 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF), DHM (1,68 a 2,42 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) e DHS (1,52 a 2,99 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF). Para os tratamentos hídricos houve diferença ($p \leq 0,01$) para as épocas 1 e 3 no feijoeiro e todas as épocas na soja. Já os tratamentos com e sem extrato de algas diferiram ($p \leq 0,01$) para todas as épocas no feijoeiro e na soja. A interação entre os tratamentos houve diferença ($p \leq 0,05$) apenas na época 3 para o feijoeiro e na soja não diferiu.

Bonfim et al. (2012), avaliando o impacto do DH em feijoeiro tratado com *arnica montana* obtiveram acúmulo da L-prolina de 61,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ massa fresca em plantas irrigadas e 87,84 $\mu\text{g g}^{-1}$ massa fresca para plantas submetidas a DH. Porcel e Ruiz-Lozano (2004), em estudo com soja sob DH obtiveram acumulou L-prolina de 0,5 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF para irrigados e 5 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF para plantas sob DH.

Figura 48 - Concentração de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em folhas de feijoeiro sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas

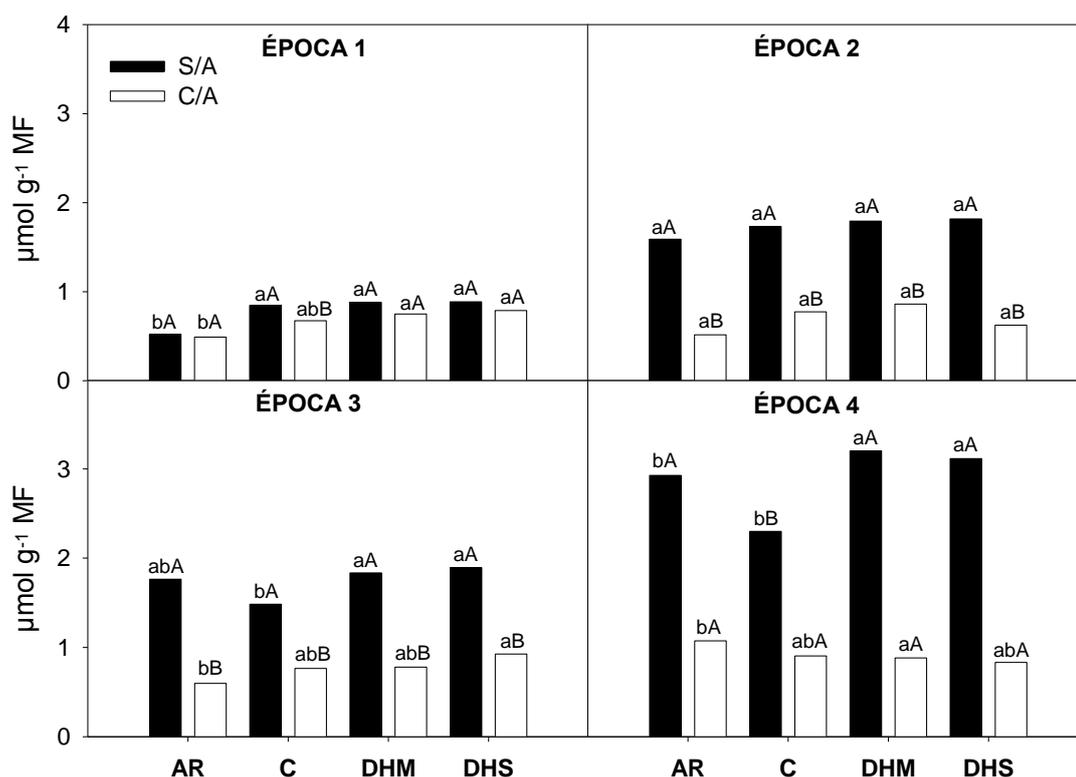
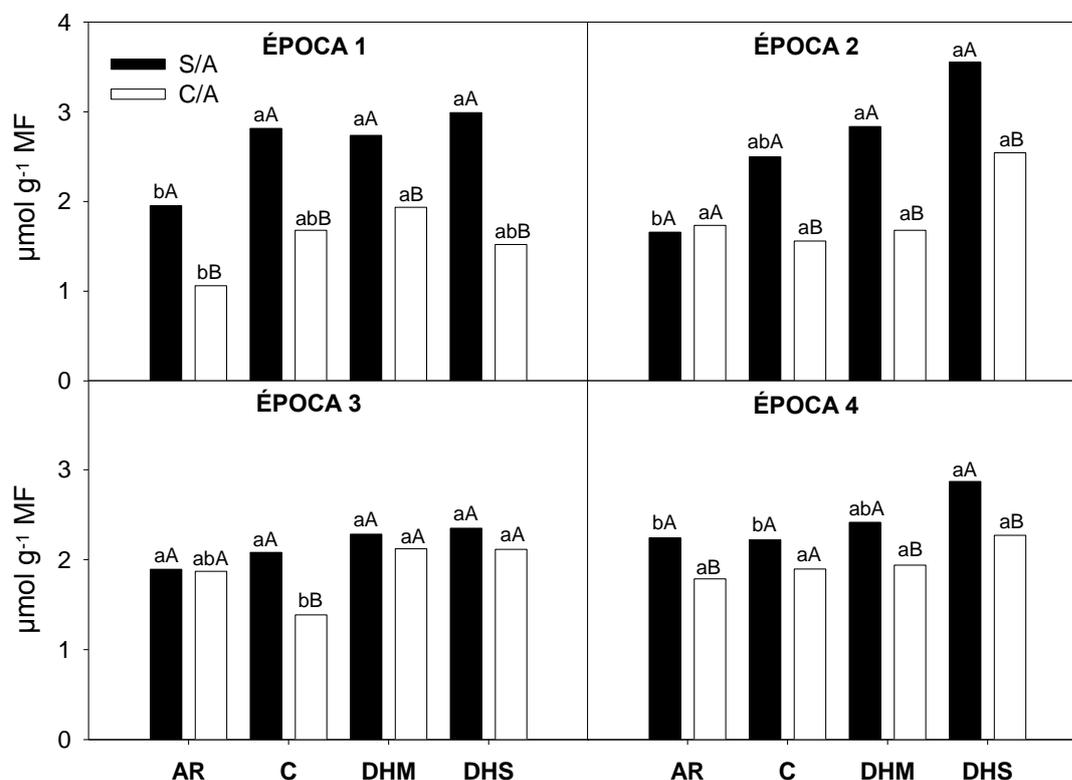


Figura 49 - Concentração de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em folhas de soja sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas



4.8.6 Atividade da enzima nitrato redutase

A enzima nitrato redutase (NR) tem a finalidade de reduzir íons de nitrato para nitrito nas folhas, para ser metabolizado pela planta, assim, integrando compostos orgânicos na produção de aminoácidos, compostos nitrogenados e proteínas. A NR é responsável pela assimilação de N pelas plantas, ou seja, a baixa atividade dessa enzima afeta o crescimento de órgãos vegetativo bem como o transporte de elétrons da fotossíntese, estrutura da clorofila entre outros fatores (BROETTO, 2014).

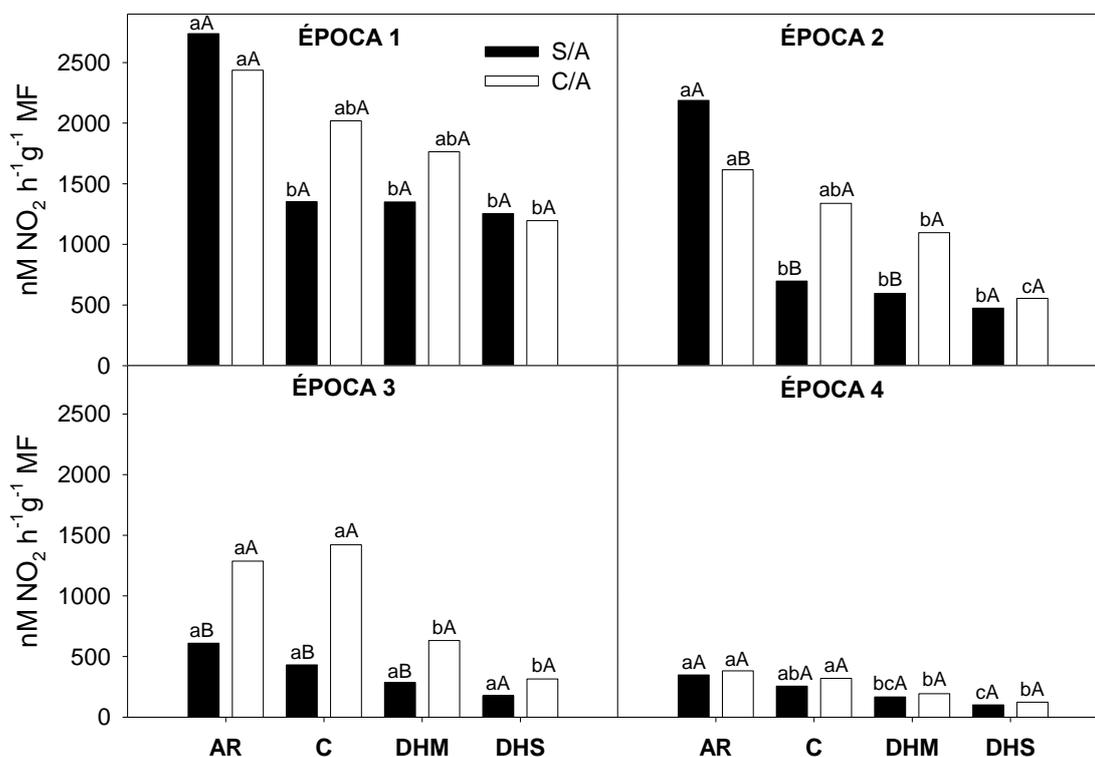
Nas Figuras 50 e 51, a maior atividade da enzima NR foi no tratamento AR sem extrato de algas no feijoeiro e na soja em função alta disponibilidade de N na água. As plantas sob DH e com extrato de algas apresentam as maiores atividades da NR. Nota-se ainda, que a medida que as plantas aproximaram-se do fim do ciclo, a atividade da NR também reduziu. Assim, fica evidente que o DHS afeta atividade da

NR, contudo, o extrato de algas favoreceu a manutenção da atividade enzimática da NR.

A atividade da NR variou de 2738,10 a 348,30 $\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ para AR, C (2018,70 a 255,80 $\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), DHM (1763,60 a 166,80 $\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) e DHS (1253,60 a 100,90 $\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) para o feijoeiro. Na soja, a atividade da NR no tratamento AR foi de 1455,10 a 606,705 $\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, C (1331,20 a 560,30 $\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), DHM (1206,60 a 348,30 $\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) e DHS (1163,40 a 209,50 $\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$).

Houve diferença estatística ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos em todas as épocas no feijoeiro e na soja. Para os tratamentos com e sem extrato de algas diferiram ($p \leq 0,01$) para as épocas 2 e 3 no feijoeiro e na soja para todas as épocas. A interação entre os tratamentos houve diferença ($p \leq 0,05$) para as épocas 2 e 3 no feijoeiro e na soja para as épocas 1 e 2.

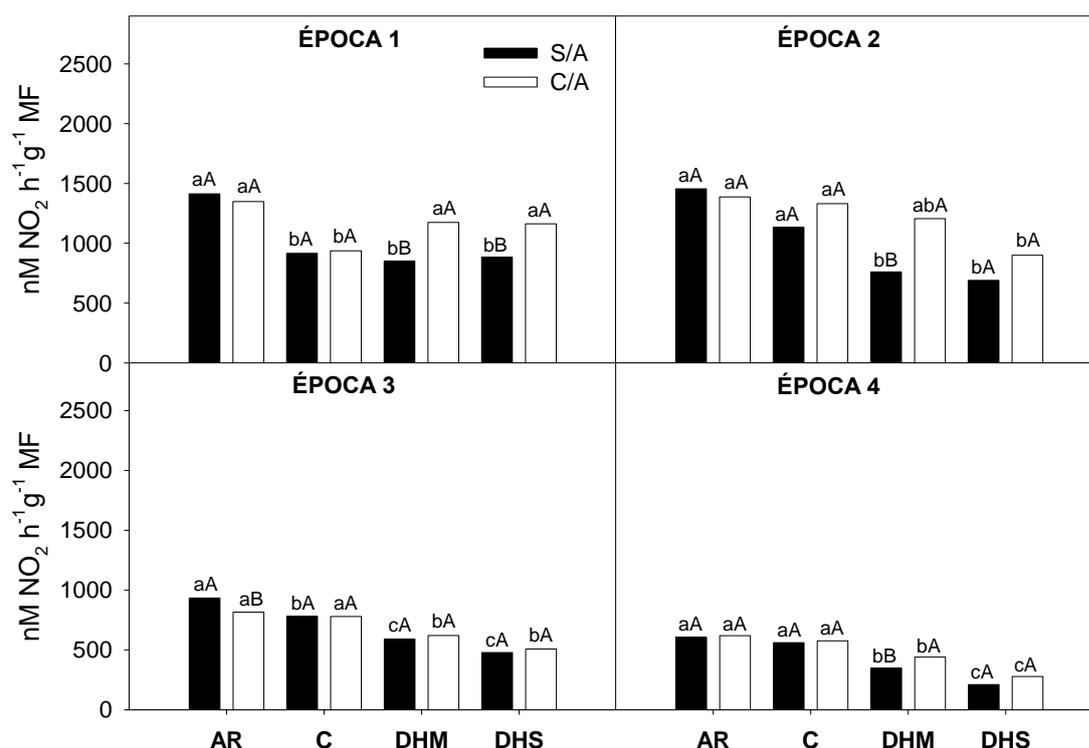
Figura 50 - Atividade da enzima nitrato redutase ($\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de feijoeiro sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas



Pessoa et al. (2001), avaliando a atividades da nitrato redutase no feijoeiro e produtividade em resposta a adubação foliar observaram que a maior atividade da nitrato redutase abrange entre 20 a 40 DAE. Jot Sharma (2010), observou o efeito do mercúrio na atividade da nitrato redutase nas folha do Feijoeiro e constatou que a atividade NR reduziu com o aumento da concentração de mercúrio na folha, onde sem mercúrio a NR 6,13 e na concentração de 1,0 mM de mercúrio 5,56.

Toledo et al. (2010), estudando a atividade da nitrato redutase em função da aplicação de molibdênio em soja constataram que a atividade da nitrato redutase não apresentou diferença estatística entre as plantas com e sem adubação de molibdênio.

Figura 51 - Atividade da enzima nitrato redutase ($\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de soja sob deficiência hídrica (AR, C, DHM e DHS) e extrato de algas em diferentes épocas de avaliação. As letra minúsculas representam os tratamentos hídricos e as maiúsculas os tratamentos com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A: tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, tratamentos que receberam o extrato de algas



5 Parâmetros de rendimento da cultura

Para os parâmetros de rendimento das culturas (Tabelas 73 e 74), observou-se que para CV, DV e MSVG para o tratamento AR com extrato de algas no feijoeiro ocorreram os melhores resultados. No entanto, na soja o CV e MSVG expressaram

os maiores valores. Já a MMG os tratamentos DHM e DHS exibiram os melhores resultados para o feijoeiro e a soja.

Os parâmetros CV, DV, MSVG e MMG diferiram ($p \leq 0,01$) para os tratamentos hídricos no feijoeiro e na soja. Para os tratamentos com e sem extrato de algas houve diferença para CV e DV ($p \leq 0,05$), MSVG e MMG ($p \leq 0,01$) no feijoeiro e na soja apenas para CV ($p \leq 0,05$). Já a interação entre os tratamentos houve diferença ($p \leq 0,05$) apenas MSVG no feijoeiro e soja.

Silva et al. (2012), estudando o manejo de irrigação no feijoeiro em ambiente protegido obtiveram comprimento de vagem de 4,3 cm. Abo-Sedera et al. (2016), analisando o efeito de fertilizante orgânico via foliar no crescimento do feijoeiro alcançaram diâmetros de vagens de 7,3 mm, e comprimentos de vagens de 14,5 cm. Gonçalves et al. (2015), obtiveram massa de mil grãos no feijoeiro de 38,41 g para plantas irrigadas e 4,94 g para plantas submetidas a DH.

Tabela 73 - Parâmetros de rendimento da cultura do feijão, comprimento de vagem (CV), diâmetro de vagem (DV), massa seca de vagem com grãos (MSVG) e massa de mil grãos (MMG) em função dos tratamentos

Rendimentos da cultura do feijoeiro																
Trat.	CV (cm)				DV (mm)				MSVG (g)				MMG (g)			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	9,1	aB	10,2	aA	7,9	aB	8,6	aA	15,9	aB	20,5	aA	196,1	abA	201,8	bB
C	9,2	aA	9,1	bA	7,2	bA	7,7	bA	17,4	aA	15,7	bA	181,3	bA	193,6	abA
DHM	8,2	abA	8,4	bcA	7,4	abA	7,5	bcA	13,2	aA	13,6	bcA	204,8	aA	223,4	bB
DHS	7,4	bA	7,7	cA	7,0	bA	6,9	cA	8,1	bA	9,5	cA	205,2	abA	216,2	aA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 74 - Parâmetros de rendimento da cultura da soja, comprimento de vagem (CV), diâmetro de vagem (DV), massa seca de vagem com grãos (MSVG) e massa de mil grãos (MMG) em função dos tratamentos

Rendimentos da cultura da soja																
Trat.	CV (cm)				DV (mm)				MSVG (g)				MMG (g)			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A	
AR	4,4	aA	4,6	aA	10,0	aA	8,9	aA	7,4	abA	8,1	abA	176,3	bA	190,5	bA
C	4,5	aA	4,6	aA	9,5	aA	8,6	aA	8,1	aA	8,9	aA	214,9	abA	233,8	aA
DHM	4,1	abB	4,5	aA	10,4	aA	10,5	aA	7,1	abA	8,0	abA	208,6	abA	228,8	abA
DHS	3,7	bA	4,0	bA	10,0	aA	10,2	aA	5,8	bA	6,4	bA	229,0	aA	219,4	abA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Nas Tabelas 75 e 76, os parâmetros de NGP, NMVP e PROD no feijoeiro exibiram os melhores resultados para o tratamento de AR com extrato de algas. Já na soja apenas NMVP e PROD para AR apresentaram melhores resultados com o uso de extrato de algas. Os tratamentos DHM e DHS sem extrato de algas tiveram os menores valores em função do estresse hídrico. Estatisticamente houve diferença ($p \leq 0,01$) para NGP, NMGP, NMVP e PROD para os tratamentos hídricos no feijoeiro e na soja. Para os tratamentos com e sem extrato de algas o NGP, NMVP e PROD diferiram ($p \leq 0,01$) no feijoeiro e na soja ($p \leq 0,01$) para NMVP e PROD. Não houve interação entre os tratamentos para nenhum parâmetro de rendimento no feijoeiro e na soja.

Rathore et al. (2009), verificando o efeito do extrato de algas no crescimento e produtividade da soja em regime de sequeiro, obtiveram 126 vagens por planta, 2,8 grãos por vagem e produção de 1339 kg ha⁻¹ no controle e no tratamento de 15% de extrato de algas 206 vagens por plantas, 4,2 grãos por vagem e produção de 2109 kg ha⁻¹. Abrantes et al. (2011), observaram que o uso de regulador de crescimento no cultivo de feijão no inverno aumenta o rendimento da cultura de forma não significativa, onde, obtiveram em média 10,6 vagens por planta, 4,8 grãos por vagem e produção de 2304 kg ha⁻¹. Os valores citados na literatura ficam abaixo dos resultados do presente estudo.

Tabela 75 - Índice de rendimento do feijoeiro, número de grãos por planta (NGP), número médio de grãos por vagem (NMGV); número médio de vagem por planta (NMVP) e produtividade kg ha⁻¹ (PROD) em função dos tratamentos

Trat.	Rendimentos da cultura do feijoeiro															
	NGP				NMGV				NMVP				PROD			
	S/A		C/A		S/A		C/A		S/A		C/A		S/A	C/A		
AR	99,7	aB	105,6	aA	6,6	aA	6,3	aA	15,0	aB	16,7	aA	3.909,6	aB	4.263,2	aA
C	62,3	bB	68,9	bA	5,1	bA	5,0	bA	12,2	bB	13,6	bA	2.258,1	bB	2.669,3	bA
DHM	34,3	cA	37,4	cA	4,3	cA	4,2	cA	7,9	cB	8,8	cA	1.404,1	cB	1.672,3	cA
DHS	15,1	dA	18,1	dA	3,7	dA	3,5	dA	4,1	dB	5,1	dA	620,6	dA	782,4	dA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas.

Tabela 76 - Índice de rendimento da soja, número de grãos por planta (NGP), número médio de grãos por vagem (NMGV); número médio de vagem por planta (NMVP) e produtividade kg ha⁻¹ (PROD) em função dos tratamentos

Rendimentos da cultura da soja																
Trat.	NGP		NMGV				NMVP		PROD							
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A				
AR	135,0	aA	132,5	aA	2,2	aA	2,4	aA	59,3	aA	54,1	aB	4.783,8	aA	5.051,4	aA
C	44,0	bA	53,9	bA	2,2	aA	2,4	aA	19,6	bA	21,9	bA	1.888,6	bB	2.524,5	bA
DHM	27,3	cA	33,4	cA	2,1	abA	2,1	abA	12,7	cA	15,5	cA	1.148,2	cA	1.543,7	cA
DHS	17,1	cA	20,7	cA	1,8	bA	1,9	bA	9,2	cA	10,6	cA	782,4	cA	906,6	cA

As médias na vertical com letra minúsculas na coluna comparação dos tratamentos hídricos e maiúsculas na horizontal estatística com e sem extrato de algas pelo teste Tukey. S/A representa os tratamentos sem aplicação de extrato de algas; C/A, representa os tratamentos que receberam o extrato de algas

6 CONCLUSÕES

1) A água residuária contém nutrientes suficientes para atender à necessidade nutricional do feijoeiro e da soja em relação ao tratamento controle. Os nutrientes fornecidos pela água residuária promoveram incremento na nutrição da planta, fertilidade do solo, fisiologia, atividade enzimática, proteína, L-prolina biometria e produtividade das plantas.

2) A água residuária quando combinada com extrato de algas potencializou os parâmetros de trocas gasosas, atividade enzimática da SOD, CAT e POX, teor de clorofila, valor nutricional, parâmetros biométricos e produção no feijoeiro e na soja.

3) A deficiência hídrica causou danos à cultura do feijoeiro e da soja alterando sua fisiologia, biometria, atividade enzimática da SOD, CAT, POX e nitrato redutase, clorofila, nutricional e produtiva. Os tratamentos com extrato de algas mostraram-se eficientes em condição de estresse hídrico de forma a aumentar o potencial hídrico foliar, teor de água nas plantas, atividade enzimática, rendimento das culturas, massa fresca e seca de caule e raiz.

4) As plantas de feijoeiro e soja utilizaram estratégia em cooperação com a ativação enzimática para minimizar os danos provocados pela deficiência hídrica. Assim, quando combinado com o extrato de algas em condição de deficiência hídrica ocorre a redução os danos sobre as culturas.

REFERÊNCIAS

- ABO-SEDERA, F. A.; SHAMS, A. S.; MOHAMED, M. H. M.; HAMODA, A. H. M. Effect of organic fertilizer and foliar spray with some safety compounds on growth and productivity of snap bean. **Annals of Agric. Sci.**, Moshtohor, v.54, n.1, p. 105 – 118, 2016.
- ABRANTES, F. L.; SÁ, M. E.; DE SOUZA, L. C. D.; SILVA, M. P.; SIMIDU, H. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; FILHO, W. V. V.; ARRUDA, N. Uso de regulador de crescimento em cultivares de feijão de inverno. **Pesq. Agropec. Trop., Goiânia**, v. 41, n. 2, p. 148-154, 2011.
- ACADIAN AGRITECH. Ciência das Plantas. [online], 2009. Disponível em: <http://www.acadianagritech.ca/portuguese/PSansA.htm>. Acesso em 10 de junho de 2015.
- AGRIANUAL. AGRIANUAL 2013: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria, 2013. 458 p.
- AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; AYRES, M. E.; PATERNIANI, G. Z. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas, 7ª Ed., Campinas: Instituto Agrônômico (**Boletim IAC, n.º 200**), 2014, 452 p.
- AGUIRRE, J. et al. Reactive oxygen species and development in microbial eukaryotes. **TrenDHS in Microbiology**, v.13, n. 3, 2005.
- ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L. E.; ÁVILA, M. R.; SUZUKI, L. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 865-873, 2008.
- ALSCHER R.G.; DONAHUE J.L.; CRAMER C.L.; Reactive oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells. **Physiologia Plantarum** 100, 224-233, 1997.
- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R.; SIQUEIRA, D. L.; RODRIGUÊS, D. E.; SASAKI, R.S.; RINALDI, P. C. N. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 182-193, 2014.
- AMARANTE, L.; COLARES, D. S.; OLIVEIRA, M. L.; ZENZEN, I. L.; BADINELLI, P. G.; BERNARDI, E. Teores de Clorofilas em Soja Associada Simbioticamente com Diferentes Estirpes de Bradyrhizobium sob Alagamento. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 906-908, 2007.
- ASHRAF, M. Inducing drought tolerance in plants. **Biotechnological Advances**, n. 28, p. 169–183, 2010.

AYERS, R.S.; WESTCOTT, D.W. Laboratory studies on salt distribution in furrow irrigated soil with special reference to the pre-emergence period. **Soil Science**, n. 81, p. 249-263, 1976.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. Rome: FAO, 1976. 97 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29).

AYRES, R.; STOTT, R.; LEE, D. L.; MARA, D. D.; SILVA, S. A. Comparison of techniques for the enumeration of human parasitic helminth eggs in treated wastewater. **Environmental Technology**. 12, p. 617-623, 1991.

AZEVEDO, C. V. G.; RIBEIRO, T.; SILVA, D. A.; CARBONELL, S. A. M; CHIORATO, A. F. Adaptabilidade, estabilidade e resistência a patógenos em genótipos de feijoeiro. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.50, n.10, p.912-922, out. 2015.

BAÑÓN, S. et al. Effects of diluted and undiluted treated wastewater on the growth, physiological aspects and visual quality of potted lantana and polygala plants. **Scientia Horticulturae**, v. 129, n. 4, p. 869–876, jul. 2011.

BARBIERI, A. P. P. et al. Tratamento de sementes de milho sobre o desempenho de plântulas em condições de estresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 3, p. 305-311, 2014.

BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-207, 1973.

BIANCO, S.; CARVALHO, L.B.; BIANCO, M.S.; PITELLI, R.A. Acúmulo de massa seca e de macronutrientes por plantas de *Glycine max* e *Solanum americanum*. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 87-95, 2012.

BOSE, J.; RODRIGO-MORENO, A.; SHABALA, S. ROS homeostasis in halophytes in the context of salinity stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 5, p. 1241–1257, 1 mar. 2014.

BOURSCHEIT, A. Produção e exportação de soja brasileira e cerrado. WWF-Brasil. Brasília, DF. Jun., 2012.

BONFIM, F. P. G.; CASALI, V. W. D.; MENDONÇA, E. G.; MARTINS, E. R. Estresse hídrico em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tratado com o preparados homeopáticos de *Arnica montana*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.8, n.14; p. 530-539, 2012.

BERTOLDO, G. J.; PELISSER, A.; SILVA, R. P.; FAVRETO, R.; OLIVEIRA, L. A. D. Alternativas na fertilização de feijão visando a reduzir a aplicação de N-ureia. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 348-355, 2015.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. **Analytical Biochemistry**, v.72 p. 248-254, 1976.

BRESSAN, D. et al. **Manual de utilização de águas residuárias em irrigação** (Cood, Oliveira, E.L de). In: O reuso de água na agricultura: Teorias e práticas. Botucatu, 2012, p. 13-89.

BRESSAN, F. D. Água de reuso e seu efeito sobre parâmetros fisiológicos em manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 129 p. 2015.

BROETTO, F. Métodos de trabalho em bioquímica vegetal e tecnologia de enzimas. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014, 86 p.

BROETTO, F.; LÜTTGE, U.; RATAJCZAK, R. Influence of light intensity and salt-treatment on mode of photosynthesis and enzymes of the antioxidativo response system of *Mesembryanthemum crystallinum*. **Functional Plant Biology**, v.29, p.13-23, 2002.

CAMARA, H. **Bioágua Familiar: Reuso de água cinza para produção de alimentos no Semiárido/ Fábio dos Santos Santiago...** [et al.]. 2012. Recife, 2012.

CARVALHO, M. E. A., et al. Seaweed extract improves the vigor and provides the rapid emergence of dry bean seedlings. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**. Deira, v. 13, n.8, p. 1104-1107, 2014.

CASTELLETTI, C. H. M.; COSTA, A. F. Feijão-caupi: alternativa sustentável para os sistemas produtivos. **Pesq. Agrop. Pernambucana**, Recife, v. 18, n. 1, p. 1-2, 2013.

CAVALCANTE, L. F. et al. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.1281-1290, 2010.

CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZZI, K. A.; BARBOSA, A. M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.4, p.519-527, 2012.

CHAKRABORTY K., SINGH A. L., KALARIYA K. A., GOSWAMI N., ZALA P. V. Physiological responses of peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars to water deficit stress: status of oxidative stress and antioxidant enzyme activities. **Acta Botanica Croatica**, v.74, n.1, p.123-142, 2015.

CHAVES, M.M.; OLIVEIRA, M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.407, p.2365-2384, 2004.

CHINNUSAMY, V., A. JAGENDORF AND J.K. ZHU. Understanding and improving salt tolerance in plants. **Crop Sci.**, n. 45, p. 437-448, 2005.

CAMPOS, M. F.; ONO, E. O.; BOARO, C. S. F.; RODRIGUES, J. D. Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras. **Revista Biotemas**, n. 21, v. 3, p. 53-63, 2008.

CAMPOS, A. D.; FERREIRA, A. G.; HAMPE, M. M. V.; ANTUNES, I.F.; BRANÇÃO, N.; SILVEIRA, E. P.; OSÓRIO, V. A.; AUGUSTIN, E. Atividade de peroxidase e polifenoloxidase na resistência do feijão à antracnose. **Pesq. agropec. bras.**, v.39, n.7, p.637-643, 2004.

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. **Oitavo levantamento da safra de grãos 2011/2012.** Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploaDHS/arquivos/12_05_10_08_49_52_boletim_mai_2_012.pdf. Acesso em: 10 agos. 2012.

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. Perspec. agropec., Brasília, v.3, p. 1-130, set. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>

CRUZ, J. G., PASTENES, C. Water-stress-induced thermotolerance of photosynthesis in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants: The possible involvement of lipid composition and xanthophyll cycle pigments. **Environmental and Experimental Botany**, n.77, p. 127–140, 2012.

CUNHA, R. P.; CORRÊA, M. F.; SCHUCH, L. O. B.; OLIVEIRA, R. C.; JUNIOR, J. S. A.; SILVA, J. D. G.; ALMEIDAI, T. A. Diferentes tratamentos de sementes sobre o desenvolvimento de plantas de soja. **Ciência Rural**, v.45, n.10, p.1761-1767, 2015.

CURY, J. P.; SANTOS, J.B.; VALADÃO SILVA, D.; CARVALHO, F.P.; BRAGA, R.R.; BYRRO, E.C.M.; FERREIRA, E. A. Produção e partição de matéria seca de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 1, p. 149-158, 2011.

DOURADO NETO, D. et al. Programa SWRC (Version 3.0): **Soil-Water Retention Curve** (Software). Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995.

EGLI, D.B. Soybean yield physiology: principles and processes of yield production. In: SINGH, Guriqbal (Ed.). **The soybean: botany, production and uses**. Ludhiana: CABI, 2010. p. 113-141.

EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 3ª ed., Rio de Janeiro, 2013, 353 p.

EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja: Região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261p.

FANCELLI, A. L.; TSUMANUMA, G. M. Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: YAMADA, T. et al. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba, IPNI, 2007. p. 445-486.

FAO-FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture. Roma: FAO. 50p.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola. 1. ed. Brasília: INMET, 2009, p.263-277.

FARIAS, S. G. G. et. al. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de *Gliricídia* (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1499-1505, 2009.

FELIPE, R. T. A.; OLIVEIRA, J. A.; LEÃO, G. A. Potencial de *Cajanus cajan* e *Crotalaria spectabilis* para fitorremediação: absorção de arsênio e respostas antioxidativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.2, p.245-254, 2009.

FERNANDES, A.L.T, et al. A Moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.

FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; JÚNIOR, E. S. N. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.

FIOREZE, 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. **Rev. Ceres**, v. 58, n.3, p. 342-349, 2011.

FIALHO, C. M. T.; SILVA, G. S.; FAUSTINO, L. A.; CARVALHO, F. P.; COSTA, M. C.; SILVA, A. A. Mycorrhizal association in soybean and weeds in competition. **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 2, p. 171-178, 2016.

FLUMIGNAN, D. N.; ALMEIDA, A. C. dos S.; GARCIA, R. A. Necessidade de irrigação complementar da soja na região Sul do Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015. 8 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. **Circular técnica**, 34).

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, V. J.; JUNIOR, E. F.F.; PERBONI, A. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 9, nº.6, p.349 - 359, 2015.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Rev. Bras. Ci. Solo**, n. 27, p. 1049-1056, 2003.

GOMES, E. R.; BROETTO, F.; QUELUZ, J.G.T.; BRESSAN, D. F. Efeito da fertirrigação com potássio sobre o solo e produtividade do morangueiro, **Irriga, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA**, p, 107-122, 2015.

GOMES, E.R.; SILVA, L. R. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUSA, V. F.; MOUSINHO, F. E.P. Potencial hídrico foliar da melancia em resposta a variação no conteúdo de água no solo. **Irriga, Edição Especial 01**, p. 29-39, 2014.

GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; SILVA, D. A.; ESTEVES, J. A. F.; BOSETTI, F.; CARBONELL, S. A. M. Análise da capacidade combinatória em feijoeiro comum submetido ao déficit hídrico. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p.149-155, 2015.

GUIMARÃES, M. C.; STONE, L. F.; PELOSO, M. J. D.; OLIVEIRA, J. P. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.15, n.7, p.649–656, 2011.

GUIRY, M.D.; GUIRY, G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em <<http://www.algaebase.org>> . Acesso em 18 out 2014.

HESPANHOL, I. A inexorabilidade do reúso potável direto. **Revista DAE**, v. 63, n. 198, p. 63–82, 2015.

HIRAKURI M. H.; LAZZAROTTO, J. J. Evolução e perspectiva de desempenho econômico associados com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. 3.ed. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 67p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n. 319).

HUNT, R. Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis. London: E. Arnold, p. 248, 1982.

JITHESH, M.N., et al. Analysis of seaweed extract-induced transcriptome lead to identification of a negative regulator of salt tolerance in *Arabidopsis*. **HortScience**, v. 46, n. 6, p. 704-709, 2012.

JOT SHARMA, A. V. S. The effect of mercury on nitrate reductase activity in bean leaf segments (*Phaseolus vulgaris*) and its chelation by phytochelatin synthesis. **Life Sciences and Medicine Research**, v.13, 2010.

JUNIOR, A. A. B.; PROCÓPIO, S. O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Redução do espaçamento entre linhas na cultura da soja. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2014. 8p. (**Embrapa Soja. Circular Técnica,106**).

KASCHUK, G. et al. Differences in photosynthetic behavior and leaf senescence of soybean (*Glycine max merrill*) dependent on N₂ fixation or nitrate supply. **Plant Biology**, v.12, n.1, p.60-69, 2010.

KOBAYASHI, B. F.; GOMIDES, J. E.; SANTANA, M. J.; AMARAL, D. R.; BORGES, R. M. Relação do turno de rega com a incidência de doenças foliares em cultivares de feijão irrigado. *Revista Sodebras*, v.11, n. 127, 2016.

KHAN, M. S. A., KARIM, M. A., MAHMUD, A. A., PARVEEN, S., BAZZAZ, M.M., HOSSAIN, M. A. Plant water relations and proline accumulations in soybean under salt and water stress environment. **Journal of Plant Sciences**.v. 3, n. 5, p. 272-278, 2015.

KUMAR, A. Activity and mechanisms of *Ascophyllum nodosum* extract induced salinity tolerance in tomato. 2014. 124 f. Dissertação - University of Dalhousie, Halifax, 2014.

LACERDA, C. F.; CARVALHO, C. M.; VIEIRA, M. R.; NOBRE, J. G. A.; NEVES, A. L. R. RODRIGUES, C. F. Análise de crescimento de milho e feijão sob diferentes condições de sombreamento. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.18-24, 2010.

LAWLOR, D.W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, p. 561-579, 2009.

LEAL, R. M. R.; FIRME, L. P.; HERPIN, U.; FONSECA, A. F.; MONTES, C. R.; DIAS, C.T.S; MELF, A. J. Carbon and nitrogen cycling in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, n° 97, p. 271–276, 2010.

LEAL-COSTA, M.V. et al. Anatomia foliar de plantas transgênicas e não transgênicas de *Glycine max* (L.) Merrill (Fabaceae). **Revista Brasileira de Biociências**, v.14, n.1, p.23-31, 2008.

LEE, D.W., BREMMEIER, S., SMITH, A.P. The selective advantage of anthocyanins in developing leaves of mango and cacao. **Biotropica**, v. 19, p. 40-49, 1987.

LIMA, M.E.; CARVALHO, D.F.; SOUZA, A.P.; ROCHA, H.S.; GUERRA, J.G.M. Desempenho do cultivo da berinjela em plantio direto submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 604-610, 2012.

LIZANA, C.; WENTWORTH, M.; MARTINEZ, J. P.; VILLEGAS, D.; MENESES, R.; MURCHIE, E. H.; PASTENES, C.; LERCARI, B.; VERNIERI, P.; HORTON, P.; PINTO, M. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I. Effects of drought on yield and photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v.57, p.685-697, 2006.

MANSORI, M.; CHERNANE, H.; LATIQUE, S.; BENALIAT, A.; HSISSOU, D.; EL KAOUA, M. Seaweed extract effect on water deficit and antioxidative mechanisms in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Appl Phycol**, v.v27, p.1689–1698, 2015.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: **Potafos**, 319p. 1997.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. **A escassez e o reúso de água em âmbito mundial**. In: Reúso de água. Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. dos; Philippi Jr., A. (coord.). Barueri: Manole, 2003. 18p.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MARTIN, J.D.; CARLESSO, R.; AIRES, N.P.; GATTO, J.C.; DUBOU, V.; FRIES, H.M.; SCHELIBLER, R.B. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, ed. esp., p. 192-205, 2012.

MATYSIK, J. et al. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. **Curr. Sci.** v. 82, p. 525–532, 2002.

MELO, T. M. de; WOTTRICH, I.; LOUZADA, J. A.; HELFER, F. Avaliação do atendimento da demanda hídrica da cultura do milho através da subirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.4, p.226–233, 2010.

MILLER, G. et al. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, n. 4, p. 453–467, abr. 2010.

MISSÃO, M.R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Revista de Ciências Empresariais**, v. 3, n.1 - p.7-15, jan./jun. 2006.

MÓGOR, A. F.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; MÓGOR, G. Aplicação foliar de extrato de alga, ácido l-glutâmico e cálcio em feijoeiro. **Scientia Agraria**, v.9, n.4, p.431-437, 2008.

MONTEIRO, P.F.C., ANGULO FILHO, R.; MONTEIRO, R.O.C. Efeitos da irrigação e da adubação nitrogenada sobre as variáveis agrônômicas da cultura do feijão. *Revista Irriga*, v. 15, n. 4, p. 386-400, 2010.

MORANDO, R.; SILVA, A. O.; 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.

MOUSUMI, S., P. K .PANDA AND P.MAHAPATRA. Effect of bio-inoculation and chemical fertilization on growth, yield and quality of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Environment and Ecology**, 33(3):1347-1350, 2015.

MURIEFAH, S. S. A. Effects of paclobutrazol on growth and physiological attributes of Soybean (*Glycine max*) plants grown under water stress conditions. **Int. J. Adv. Res. Biol.Sci.**, v.2, n. 7,p. 81–93, 2015.

NAIR, P., et al. Transcriptional and metabolomic analysis of *Ascophyllum nodosum* mediated freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **BMC genomics**. v.13, p. 643-666, 2012.

NASCIMENTO, S. P., BASTOS, E. A., ARAÚJO, E. C. E., FILHO, F. R. F., SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.15, n.8, p.853–860, 2011.

NASCIMENTO, R.; DEUNER, S.; FERREIRA, L. S.; BADINELLI, P. G.; KERBER, R. S. Crescimento e teores de clorofila e carotenóides em três cultivares de soja em função da adubação com magnésio. **Revista Ceres**, n.56, n. 3, p. 364-369, 2009.

OLIVEIRA, L.A.A., et.al. Uso de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*) na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Verde**. Mossoró, v.6, n.2, p. 1-4, 2011.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; SOUZA, A. A. T.; FERREIRA, J. A.; SOUZA, M. S. Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão caupi. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.5, p.465–471, 2013.

OZIEMBLOWSKI, M. M. et al. 13899-Cloreto de sódio altera o sistema de defesa antioxidante de *Baccharis trimera*. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, 2013.

PEDROTTI, A., CHAGAS, R. M., RAMOS, V. C., PRATA, A. P. N., LUCAS, A. A. T., SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEIXOTO, H.P.P.; CAMBRAIA, J.; SANT´ANA, R.; MOSQUIM, P.R.; MOREIRA, A. M. Aluminium effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Rev. Bras. Fis. Vegetal**, 11 (3):137-43, 1999.

PEREIRA, S. C.; RODRIGUES, F. A.; MISSIO, V. C.; OLIVEIRA, M. G. A.; ZAMBOLIM, L. Aplicação foliar de silício na resistência da soja à ferrugem e na atividade de enzimas de defesa. **Tropical Plant Pathology**, vol. 34, 3, p.164-170, 2009.

PESSOA, A. C. S.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M.; CASSINI, S. T. A. Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro “ouro negro” em resposta à adubação foliar com molibdênio. **R. Bras. Cien. Solo**, n.24, p.217-224, 2001.

PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. **Journal of Experimental Botany**, v.2, p.1-8, 2004.

RATHORE, S. S.; CHAUDHARY, D.R.; BORICHA, G. N.; GHOSH, A.; BHATT, B. P.; ZODAPE, S.T.; PATOLIA, J. S. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. **South African Journal of Botany**, v. 75, p. 351–355, 2009.

RICE, E.W.; BAIRD, R.B.; EATON, A.D.; CLESCERI, L.S. Standard Methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health organization, Washington, DC.**, 22th, 2012.

RODRIGUES, J. D. Biorreguladores, aminoácidos e extratos de algas: verdades e mitos. International Plant Nutrition Institute (INPI). **Jornal Informações Agrônomicas**, n.122, p.15-17, 2008.

ROCHA, D. G. F., TÁVORA, F. J. F. Relações hídricas de plantas em feijão-de-corda submetida à deficiência hídrica na fase vegetativa. **Enciclopédia biosfera**, v.9, n.16; p. 2967, 2013.

SAMPSON, J. A method of replicating dry or moist surface for examination by light microscopy. **Nature**, 191: 932-3, 1961.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research** v. 38, p. 995-1014, 2005.

SCHOPPACH, R.; SADOK, W. Differential sensitivities of transpiration to evaporative demand and soil water deficit among wheat elite cultivars indicate different strategies for drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, n. 84, p. 1–10, 2012.

SHARMA, H.S.S., et al. Plant bioestimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stress. **Journal of Applied Phycology**. n.26, p. 465-490, 2014.

SILVA, F. DE A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, R. R.; SCARIOTTO, S.; MALAGI, G.; MARCHESE, J. A. Análise de crescimento em feijoeiro cultivado sob diferentes densidades de semeadura. **Scientia Agraria**, v.13, n.2, p.41-51, 2012.

SILVA, A. F.; CONCENÇÃO, G.; ASPIAZÚ, I.; FERREIRA, E. A.; GALON, L.; COELHO, A. T. C. P.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F.A. Interferência de plantas daninhas em diferentes densidades no crescimento da soja. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 1, p. 75-84, 2009.

SILVA, H. T.; RODRIGUES, J. D.; COSTA, J. G. da. Influência do sombreamento causado pelo milho na anatomia da folha de feijoeiro de diferentes hábitos de crescimento: I. estômatos e tricomas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 12, p. 1387-1400, 1988.

SILVA, W. G.; CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, E. C.; REZENDE, F. C.; LIMA JUNIOR, J. A.; RIOS, G. F. A. Manejo de irrigação para o feijão-de-metro, nas fases vegetativa e produtiva, em ambiente protegido. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.9, p.978–984, 2012.

SILVA, J. C.; ARF, O.; GERLACH, G. A. X.; KURYIAMA, C. S.; RODRIGUES, R. A. SILVA, M.A.; SANTOS, C.M.; VITORINO, H.S.; RHEIN, A.F.L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p.173-181, 2014.

SILVEIRA, J.A.G. et al. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GREYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. In: Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p.161-180, 2010.

SOARES, A. M. S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Tropical – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.1, n. 1, p. 9, 2007.

SOARES, M. M., JUNIOR, H. C. S., SIMÕES, M. G., PAZZIN, D., SILVA, L. J. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 45, n. 4, p. 370-378, 2015.

SORATTO, R.P. et al. Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I - macronutrients. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1027-1042, 2013.

SOUSA, A.R.; LIMA, M.D.B. Influência da supressão da irrigação em estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. Carioca comum. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, p. 550-557, 2010.

SPANN, T.M.; LITTLE, H.A. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown Hamilin sweet orange nursery trees. **HortScience**. v.46, n.4, p. 1471-1474, 2011.

STOLF-MOREIRA, R.; LEMOS, E. G. M.; ABDELNOOR, R. V.; BENEVENTI, ROLLA, A. A. P.; PEREIRA, S. S.; OLIVEIRA, M. C. N.; NEPOMUCENO, A. L.; GUIMARÃES, M. C. Identification of reference genes for expression analysis by real-time quantitative PCR in drought-stressed soybean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.1, p.58-65, 2011.

STREIT, N.M.; CANTERLE, L.P.; CANTO, M.W. do; HECKTHEUER, L.H.H. As clorofilas. **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**, v. 15, n. 2, p. 89 - 97, fev. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 4a ed. Artmed, Porto Alegre, 2009, 820p.

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

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; OLIVEIRA, E. P.; CORRÊA, C. C. G.; TORRES, F. E. Acúmulo de massa seca na soja em resposta a aplicação foliar com silício sob condições de déficit hídrico. **Biosci. J.**, v. 31, n. 1, p. 161-170, 2015.

TOLEDO, M. Z.; GARCIA, R. A; PEREIRA, M. R. R; BOARO, C.S. F.; LIMA, G. P. P. Nodulação e atividade da nitrato redutase em função da aplicação de molibdênio em soja. **Biosci. J.**, v. 26, n. 6, p. 858-864, 2010.

TORRES, J.L.R.; SANTANA, M.J.; PIZOLATO NETO, A.; PEREIRA, M.G.; VIEIRA, D.M.S. Produtividade de feijão sobre lâminas de irrigação e coberturas de solo. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p.833- 841, 2013.

VASCONCELOS, A. C. F.; ZHANG, X.; ERVIN, E. H.; KIEHL, J. C. Enzymatic antioxidant responses to biostimulants in maize and soybean subjected to drought. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.66, n.3, p.395-402, 2009.

VALE, N. M.; BARILI, L. D.; ROZZETO, D. S.; STINGHIN, J. C.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; KÖOP, M. M. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Biotemas**, 25 (3), 135-144, 2012.

VAN GENUTCHEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 41, p. 892 – 898, 1980.

VIEIRA, F. C. F.; SANTOS JUNIOR, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O.; DIAS, A. C. C.; HAMAWAKI, O. T.; BONETTI, A. M. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 6000. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 2, p. 543-552, 2013.

WITTENBACH, V. A. Effect of Pod Removal on Leaf Photosynthesis and Soluble Protein Composition of Field-Grown Soybeans. **Plant Physiol.** v. 73, p. 121-124, 1983.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: **Wastewater use in agriculture**, Geneva. v. 2, 2006.

XAVIER, D. A. FURTADO, G. F., JÚNIOR, J. R. S., SOUSA, J. R. M., SOARES, L. A. A. Irrigação com água salina e adubação com nitrogênio no cultivo do feijão-caupi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v 9, n. 3, p. 131 - 136, 2014.

YAGI, R.; ANDRADE, D. S.; WAURECK, A.; GOMES, J. C. Nodulações e produtividades de grãos de feijoeiros diante da adubação nitrogenada ou da inoculação com *Rhizobium freirei*. **Revista Brasileira ciência do Solo**, 39:1661-1670, 2015.

YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; KASUGA, M.; LIU, Q.; NAKASHIMA, K.; SAKUMA, Y.; ABE, H.; SHIWARI, Z. K.; SEKI, M.; SHINOSAKI, K. Biological mechanisms of drought stress response. **Jircas Working Report**, Japan, v.23, p.1-8, 2002.