

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ.  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS.**

**FRANCISCO HOLANDA NUNES JUNIOR**

**USO DO PERCOLADO DE ATERRO SANITÁRIO COMO FONTE DE  
NUTRIENTES E SEUS EFEITOS NA FISIOLOGIA E BIOQUÍMICA DE  
PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

**MARACANAÚ, CEARÁ**

**- 2016 -**

**FRANCISCO HOLANDA NUNES JUNIOR**

**USO DO PERCOLADO DE ATERRO SANITÁRIO COMO FONTE DE  
NUTRIENTES E SEUS EFEITOS NA FISIOLOGIA E BIOQUÍMICA DE  
PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

Dissertação de Mestrado apresentada como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis, outorgado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE - *Campus* Maracanaú.

**ORIENTADOR:**

**PROF. Dr. FRANKLIN ARAGÃO GONDIM**

**MARACANAÚ, CEARÁ**

**- 2016 -**

### Catálogo na Fonte

N972u Nunes Junior, Francisco Holanda.  
    Usu do percolato de aterro sanitário como fonte de nutrientes e seus efeitos na fisiologia e bioquímica de plantas de girassol (*Helianthus annuus L.*)/Francisco Holanda Nunes Junior -- 2016. 143f, il.

    Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) - - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, *campus* Maracanaú, 2016.  
    Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr. Franklin Aragão Gondim.

    1. ECOFISIOLOGIA DE PLANTAS. 2. BIOQUÍMICA - PLANTA DE GIRASSOL. 3. ATERRO SANITÁRIO - PERCOLADO. I.Título.

571.74

## PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DISSERTAÇÃO

FRANCISCO HOLANDA NUNES JÚNIOR

USO DO PERCOLADO DE ATERRO SANITÁRIO COMO FONTE DE NUTRIENTES E SEUS EFEITOS NA FISIOLOGIA E BIOQUÍMICA EM PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

Aprovada em 25/05/2016

### BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Franklin Aragão Gondim (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE



Profa. Dra. Valdineia Soares Freitas

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE



Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita

Universidade Federal do Ceará – UFC

Dedico este trabalho,  
Aos meus pais Francisco Holanda e Eliete Gonçalves,  
à minha esposa Denise Holanda,  
ao meu filho Heitor Holanda,  
aos meus irmãos Natália, Nataly e Luiz Américo,  
Com muito amor!

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças nessa longa jornada de dois anos, por sempre ter me protegido nas muitas de viagens que fiz do interior para à capital, por me manter firme nos meus propósitos.

Ao professor Franklin Aragão Gondim pelas contribuições na minha formação através de sua orientação, confiança, amizade, compreensão e incentivo a buscar sempre o melhor de mim.

Aos componentes da banca, as professoras Dra. Valdineia Soares Freitas e Dra. Rosilene Oliveira Mesquita pela disponibilidade em participar da banca examinadora.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis – PPGER – IFCE – *Campus* Maracanaú e a todos os professores e funcionários que compõem o programa, em especial aos professores Dr. Pedro Pedrosa Rebouças Filho e Dr. João Carlos da Costa Assunção pelas contribuições à minha formação científica.

Ao Instituto Federal do Ceará *Campus* Jaguaribe, por incentivar e dar o apoio necessário para que eu pudesse trabalhar e cursar o mestrado. Agradeço em especial aos professores e amigos Cícero Antônio, Valdineia Soares, Ana Gláudia, Efigênia Alves, Ileanne Oliveira, Izamaro de Araújo e a todos os outros pelo convívio e amizade.

Aos meus pais Francisco Holanda e Eliete Gonçalves pelo amor e compreensão incondicional.

A minha esposa Denise Holanda pelo amor, apoio e compreensão de estar sempre ao meu lado me incentivando a alcançar meus sonhos.

Ao meu filho Heitor Holanda que aos seus 06 anos de idade não compreendia bem as minhas ausências. Espero que um dia possa me perdoar e entender que essa fase foi necessária, me dando a oportunidade de recuperar esse tempo.

Aos meus irmãos Natália, Nataly e Luiz Américo por estarem sempre torcendo pelo meu crescimento.

Aos meus amigos Brennda Bezerra, Jonas Platini, André Luis, Maurício Nunes e Edmar Bezerra, irmãos e companheiros que muito contribuíram nessa difícil jornada.

Aos demais amigos do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal do Instituto Federal do Ceará *Campus* Maracanaú, Professor Roberto Albuquerque, Magnum, Edineide, Rifandreo, Paulo, Kaio, e todos aqueles que direta ou indiretamente me ajudaram a atingir esse objetivo.

“Combati o bom combate, acabei a carreira,  
guardei a fé.”

(2 Timóteo 4:7)

## RESUMO

NUNES JUNIOR, F. H. **Uso do percolado de aterro sanitário como fonte de nutrientes e seus efeitos na fisiologia e bioquímica de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. Orientador: Franklin Aragão Gondim. Maracanaú: IFCE. 143 p. (Dissertação). 2016.

Este trabalho teve como objetivo analisar os efeitos da utilização de concentrações variadas de percolado de aterro sanitário na fisiologia e bioquímica de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) crescendo sob condições controle (irrigadas) e de estresse hídrico. A presente dissertação foi dividida em três experimentos independentes que resultaram na produção de cinco capítulos, cada um correspondendo a um artigo científico. Os experimentos foram conduzidos em telado agrícola, localizado na cidade de Maracanaú, no estado do Ceará, Brasil, utilizando sementes de girassol, cultivares BRS 323 e BRS 324, gentilmente cedidas pela Embrapa Produtos e Mercados, escritório Dourados, MS. No primeiro experimento, realizou-se a análise comparativa entre dois híbridos de girassol desenvolvidos pela Embrapa visando à escolha daquele que melhor se aclimataria à condição do local de estudo (clima tropical quente subúmido). Dos resultados encontrados, para as variáveis germinativas, biométricas e de vigor, o cultivar BRS 323 se mostrou mais aclimatado às condições experimentais empregadas, sendo, dessa forma, utilizado nos experimentos posteriores com percolado de aterro sanitário, cuja concentração foi baseada no teor de N-total desse efluente. No segundo experimento, foram analisadas as respostas do cultivar BRS 323 à aplicação de percolado de aterro sanitário (em diferentes concentrações) como fonte de nitrogênio nos parâmetros germinativos, biométricos, de fitomassa e nos teores relativos de clorofila. Os resultados demonstraram que o percolado de aterro sanitário, nas condições experimentais empregadas, não alterou o percentual de emergência das plântulas de girassol. Adicionalmente, o efluente influenciou positivamente os parâmetros biométricos, de fitomassa e os teores relativos de clorofila, com destaques para os maiores incrementos verificados nos tratamentos que receberam percolado a 100 kg N ha<sup>-1</sup>. No terceiro experimento, avaliaram-se as trocas gasosas, a produção de matéria fresca, o crescimento foliar (número de folhas e área foliar) e as atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico (imposto pela suspensão da irrigação). Verificaram-se maior produção de matéria fresca e maiores taxas fotossintéticas nos

tratamentos suplementados com percolado a 100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>, tanto em condições controle como de estresse hídrico. Em relação aos parâmetros foliares, o tratamento 100 kg N ha<sup>-1</sup> suplementado com percolado de aterro sanitário obteve os maiores incrementos em número de folhas e área foliar. Além disso, foram observados aumentos nas atividades das enzimas antioxidativas em folhas e raízes de plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário, em especial a enzima catalase nas folhas e, peroxidase do guaiacol, nas raízes. Assim, sugere-se que o aumento em atividade enzimática tenha contribuído para reduzir os efeitos deletérios no crescimento da parte aérea em plântulas submetidas a estresse hídrico.

**Palavras-chave:** Percolado de aterro sanitário, crescimento inicial, *Helianthus annuus* L., trocas gasosas, enzimas antioxidativas.

## ABSTRACT

NUNES JUNIOR, F. H. **Use of sanitary landfill leachate as source of nutrients and their effects in the physiology and biochemistry of sunflower plants ( *Helianthus annuus* L. )**. Advisor. Franklin Aragão Gondim. Maracanaú: IFCE. 143 p. (Ms. Dissertation). 2016.

This study aimed to analyze the effects of using varying concentrations by sanitary landfill leachate in the physiology and biochemistry of sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) growing under control (irrigated) or drought stress (non-irrigated) conditions. The present study was divided in three independent experiments that resulted in the production five chapters, each corresponding to a scientific article. The experiments were conducted under greenhouse conditions, located at Maracanaú, Ceará, Brazil, using sunflower seed (hybrids BRS 323 and BRS 324) kindly provided by Embrapa Produtos e Mercados, Escritório Dourados, MS. In the first experiment, we performed a comparative analysis between two sunflower hybrids developed by Embrapa (BRS 323 and BRS 324) in order to choose that which best acclimatise to the conditions of the study site (tropical climate warm subhumid). The results found for the germination variables, biometric and vigor, the BRS 323 cultivar was more acclimatized to the experimental conditions employed. Thus, the BRS 323 was used in subsequent experiments with sanitary landfill leachate, whose concentration was based on the N-total the effluent content. In the second experiment, we analyzed the responses of the hybrid BRS 323 to the application of sanitary landfill leachate (at different concentrations) as a nitrogen source in the germination parameters, biometric, matter and relative chlorophyll contents. The results showed that the sanitary landfill leachate did not change the percentage emergence of sunflower seedlings under the present experimental conditions. In addition, the effluent increased the biometric parameters, phytomass and relative chlorophyll contents, highlighting the treatment with percolate at 100 kg N ha<sup>-1</sup>. In the third experiment, we evaluated the gas exchange, fresh matter production, leaf growth (leaf number and leaf area) and antioxidative enzymes activities of sunflower seedlings supplemented by sanitary landfill leachate and subjected to drought stress. It may be observed high production of fresh mass and high photosynthetic rates in plants supplemented by sanitary landfill leachate at 100 and 150 kg N ha<sup>-1</sup> in both, under control or drought stress conditions (Imposed by the suspension

of irrigation). In relation to leaf growth, the plants supplemented by sanitary landfill leachate at 100 kg N ha<sup>-1</sup> had higher number of leaves and leaf area when compared to the other treatments. Furthermore, there were increases in the antioxidative enzymes activities in leaves and roots of sunflower seedlings supplemented by sanitary landfill leachate. Thus it is possible that the reductions in harmful effects on the leaves growth in treatments supplemented by sanitary landfill leachate, occurred due to increased antioxidative enzymes activities, especially CAT in leaves and GPX in roots.

**Keywords:** Sanitary landfill leachate, initial plant growth, *Helianthus annuus* L., gas exchange, antioxidative enzymes.

## LISTA DE FIGURAS

### EXPERIMENTO I

#### ARTIGO 1

**Figura 1.** Plantas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’, aos 14 (A) e 21 dias (B) após a semeadura crescendo sob condições de casa de vegetação.....53

**Figura 2.** Percentual de emergência do solo de plantas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’ .....53

**Figura 3.** Número de folhas (A) e diâmetro dos caules (B) de plantas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’ .....55

**Figura 4.** Matéria fresca da parte aérea (A), das raízes (B) e total (C) de plantas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’ .....56

**Figura 5.** Matéria seca da parte aérea (A), das raízes (B) e total (C) de plantas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’ .....57

### EXPERIMENTO II

#### ARTIGO 2

**Figura 1.** Percentual de emergência do solo de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário .....70

**Figura 2.** Índice de velocidade de emergência de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário .....72

**Figura 3.** Plântulas de girassol aos 15 e 30 dias após semeadura (DAS), crescendo sob diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário em condições de casa de vegetação .....73

**Figura 4.** Matérias fresca (A) e seca (B) totais aos 15 e 30 dias após semeadura de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário .....74

**Figura 5.** Teores relativos de clorofila aos 15 (A) e aos 30 (B) dias após semeadura de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário. ....75

## **EXPERIMENTO II**

### **ARTIGO 3**

**Figura 1.** Diâmetro do coleto (A), altura da parte aérea (B) e número de folhas (C) de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS) .....87

**Figura 2.** Matéria seca da raiz (A) e matéria seca da parte aérea (B), de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS).....89

## **EXPERIMENTO III**

### **ARTIGO 4**

**Figura 1.** Matéria fresca das raízes (A), parte aérea (B) e total (C) de plantas de girassol sob condições controle (barras brancas) e estresse hídrico (barras cinzas) aos 5 e 7 dias após suspensão da irrigação.....105

**Figura 2.** Teores relativos de clorofila de plantas de girassol sob condições controle (barras brancas) e de estresse hídrico (barras cinzas) aos 5 e 7 dias após suspensão da irrigação.....107

**Figura 3.** Condutância estomática (A), taxa de transpiração (B), razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (C) e taxa de fotossíntese líquida (D) de plantas de girassol sob condições controle (barras brancas) e estresse hídrico (barras cinzas), aos 5 dias após suspensão da irrigação.....109

**Figura 4.** Eficiência instantânea do uso de água (A), eficiência instantânea de carboxilação (B) e taxa de transporte de elétrons (C) de plântulas de girassol sob condições controle (barras brancas) e estresse hídrico (barras cinzas), aos 5 dias após suspensão da irrigação.....111

### **EXPERIMENTO III**

#### **ARTIGO 5**

**Figura 1.** Número de Folhas (A) e área foliar (B) de plântulas de girassol aos 5 (1<sup>a</sup> coleta) e 7 dias (2<sup>a</sup> coleta) após a suspensão da irrigação (que ocorreu aos 16 dias após a semeadura) crescendo sob condições controle (barras brancas) ou de estresse hídrico (barras cinzas).....125

**Figura 2.** Atividade das enzimas SOD (A), APX (B), GPX (C) e CAT (D) em folhas de plântulas de girassol aos 05 (1<sup>a</sup> coleta) e 07 dias (2<sup>a</sup> coleta) após a suspensão da irrigação (que ocorreu aos 16 dias após a semeadura) crescendo sob condições controle (barras brancas) ou de estresse hídrico (barras cinzas).....126

**Figura 3.** Atividade das enzimas SOD (A), APX (B) e GPX (C) em raízes de plântulas de girassol aos 05 (1ª coleta) e 07 dias (2ª coleta) depois de submetidas a estresse hídrico crescendo sob condições controle (barras brancas) ou estresse hídrico (barras cinzas).....128

## LISTA DE TABELAS

### EXPERIMENTO II

#### ARTIGO 2

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do percolado de aterro sanitário utilizado no experimento .....67

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para as variáveis estudadas durante a emergência de plântulas de girassol (*Helianthus annuus* L.) submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário .....69

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para as variáveis estudadas durante o crescimento inicial de plântulas de girassol (*Helianthus annuus* L.) submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário .....70

### EXPERIMENTO II

#### ARTIGO 3

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do percolado de aterro sanitário utilizado no experimento .....84

**Tabela 2.** Análises microbiológicas do percolado de aterro sanitário utilizado no experimento .....84

**Tabela 3.** Resumos das análises de variância referentes ao número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (APA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário como fonte de N-total ao longo do tempo .....86

## **EXPERIMENTO III**

### **ARTIGO 4**

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do percolado de aterro sanitário utilizado no experimento .....101

**Tabela 2.** Resumos das análises de variância das matéria frescas da raiz (MFR), parte aérea (MFPA), total (MFT) e teores relativos de clorofila (CL) de plantas de girassol em diferentes substratos sob condições controle e estresse hídrico aos 5 e 7 dias após a suspensão da irrigação .....103

**Tabela 3.** Resumos das análises de variância da condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de transpiração (E), razão entre a concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_a$ ), fotossíntese líquida (A), eficiência instantânea do uso de água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação (EIC) e taxa de transporte de elétrons (ETR) de plantas de girassol em diferentes substratos sob condições controle e estresse hídrico aos 5 dias após a suspensão da irrigação .....108

## **EXPERIMENTO III**

### **ARTIGO 5**

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do percolado de aterro sanitário utilizado no experimento .....122

**Tabela 2.** Resumos das análises de variância do número de folhas (NF) e área foliar (AF) de plantas de girassol em diferentes substratos sob condições controle e estresse hídrico aos 5 e 7 dias após a suspensão da irrigação .....124

**Tabela 3.** Resumos das análises de variância da atividade das enzimas, catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX), peroxidase do guaiacol (GPX) e dismutase do

superóxido (SOD) em folhas de plantas de girassol em diferentes substratos sob condições controle e estresse hídrico aos 5 e 7 dias após a suspensão da irrigação.....125

**Tabela 4.** Resumos das análises de variância da atividade das enzimas, peroxidase do ascorbato (APX), peroxidase do guaiacol (GPX) e dismutase do superóxido (SOD) em raízes de plantas de girassol em diferentes substratos sob condições controle e estresse hídrico aos 5 e 7 dias após a suspensão da irrigação .....127

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**AF:** Área foliar

**APX:** Peroxidase do ascorbato

**ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ABRELP:** Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

**APA:** Altura da parte aérea

**ASMOC:** Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia

**CAT:** Catalase

**CONAB:** Companhia nacional de abastecimento

**CE:** Condutividade elétrica

**CETESB:** Companhia Paulista de Tecnologia de Saneamento Ambiental

**CL:** Teores relativos de clorofila

**DAS:** Dias após a semeadura

**DBO:** Demanda bioquímica de oxigênio

**DC:** Diâmetro do coleto

**DQO:** Demanda química de oxigênio

**EMBRAPA:** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**EROs:** Espécies reativas de oxigênio

**ETo:** Evapotranspiração de referência

**FEAM:** Fundação Estadual do Meio Ambiente

**FUNASA:** Fundação Nacional da Saúde

**FUNCEME:** Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

**GPX:** Peroxidase do Guaiacol

**GL:** Grau de liberdade

**IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IFCE:** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

**IVE:** Índice de velocidade de emergência

**MFPA:** Matéria fresca da parte aérea

**MFR:** Matéria fresca da raiz

**MFT:** Matéria fresca total

**MSPA:** Matéria seca da parte aérea

**MSR:** Matéria seca da raiz

**MST:** Matéria seca total

**NBR:** Norma brasileira

**NF:** Número de folhas

**PNPB:** Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel

**ROS:** Do inglês, *Reactive Oxygen Species* (Espécies Reativas de Oxigênio)

**RSU:** Resíduos sólidos urbanos

**SOD:** Dismutase do superóxido

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	09
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	13
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	17
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	20
<b>SUMÁRIO</b> .....	22
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	25
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	26
2.1. Resíduos sólidos urbanos (RSU) .....	26
2.2. O percolado de aterro sanitário.....	29
2.3. Uso de resíduos orgânicos na agricultura .....	31
2.4. A cultura do girassol.....	32
2.5. O estresse hídrico em plantas .....	34
<b>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	36
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	46
4.1. Objetivo geral .....	46
4.2. Objetivos específicos.....	46
<b>5. ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL</b> .....	48
<b>ARTIGO 1 (Crescimento inicial de dois cultivares de girassol sob condições de clima tropical quente subúmido)</b> .....	49
<b>RESUMO</b> .....	50
<b>ABSTRACT</b> .....	50
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	50
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	52
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	53
<b>CONCLUSÃO</b> .....	58
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	58
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	58
<b>ARTIGO 2 (Emergência e crescimento inicial de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário)</b> .....	62

<b>RESUMO</b> .....	63
<b>ABSTRACT</b> .....	63
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	64
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	65
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	68
<b>CONCLUSÃO</b> .....	76
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	76
<b>LITERATURA CIENTÍFICA CITADA</b> .....	76

**ARTIGO 3 (Percolado de aterro sanitário como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plantas de girassol) .....**

<b>RESUMO</b> .....	81
<b>ABSTRACT</b> .....	82
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	82
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	83
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	86
<b>CONCLUSÃO</b> .....	91
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	92

**ARTIGO 4 (Trocas gasosas em plântulas de girassol *Helianthus annuus* L. suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico)**

.....	95
<b>RESUMO</b> .....	96
<b>ABSTRACT</b> .....	97
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	98
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	100
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	103
<b>CONCLUSÕES</b> .....	113
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	113

**ARTIGO 5 (Atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico)**

.....	119
<b>RESUMO</b> .....	120

<b>ABSTRACT</b> .....	120
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	121
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	122
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	123
<b>CONCLUSÕES</b> .....	130
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	130
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	135
<b>7. ANEXOS</b> .....	138

## 1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é hoje um dos maiores problemas ambientais, e sua gestão para as próximas décadas tornou-se um desafio para as cidades (SANTIAGO; DIAS, 2012). Quanto maior o centro urbano, mais complexo torna-se o tratamento e destinação final dos resíduos gerados (MANNARINO *et al.*, 2013).

Em todo o mundo, a utilização dos aterros sanitários continua sendo a principal alternativa de destinação dos RSU. Entretanto, esse destino final gera subprodutos como o percolato e o gás metano, que são potentes contaminantes e necessitam de um gerenciamento adequado para mitigar seus danos ao ambiente (MOREIRA *et al.*, 2011).

O percolato de aterro sanitário é o resultado da biodegradação da matéria orgânica e inorgânica aterrada após a percolação da água da chuva nas camadas de RSU compactados (NASCENTES *et al.*, 2015). O efluente possui alto índice de contaminação e composição química complexa, o que dificulta seu tratamento (RIGUETTI *et al.*, 2015).

De modo geral, o percolato é formado por matéria orgânica dissolvida, compostos orgânicos xenobióticos, elementos inorgânicos e metais pesados (MORAIS *et al.*, 2006). A presença de matéria orgânica no percolato pode possibilitar sua utilização como fonte de nutrientes na agricultura, sugerindo-se assim, uma destinação final (MATOS *et al.*, 2008). No entanto, são requeridos estudos sobre os possíveis efeitos fitotóxicos da aplicação do percolato na fisiologia e na bioquímica em plantas cultivadas.

De maneira geral, as plantas necessitam de 16 elementos químicos essenciais para crescerem (BELOTTE; NEVES, 2001), que são subdivididos em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn), além de C, H e O, que são encontrados em elevadas concentrações no percolato (MARIANO; OKUMURA, 2012).

O nitrogênio (N), em especial, desempenha papel fundamental no crescimento e desenvolvimento, uma vez que é constituinte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e pigmentos. A carência de N pode afetar diretamente o desenvolvimento foliar e a taxa fotossintética das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2012). Adicionalmente, a redução dos gastos com fertilizantes químicos é outro ponto importante a ser observado com a destinação agrícola de

resíduos orgânicos (MORAES *et al.*, 2012), como no caso do percolado de aterro sanitário.

A região semiárida do nordeste brasileiro apresenta maior parte dos solos com baixo teor de matéria orgânica e baixa disponibilidade hídrica devido às baixas precipitações anuais (SANTOS *et al.*, 2009; PRIMO *et al.*, 2011). Deste modo, faz-se necessária a identificação de novas fontes orgânicas de adubação que favoreçam o desenvolvimento dessas culturas, bem como a adoção de cultivares tolerantes às condições edafoclimáticas da região.

O girassol (*Helianthus annuus* L.) encontra-se entre as nove principais culturas oleaginosas do Brasil, podendo se tornar uma boa opção para regiões de clima semiárido em virtude da existência de cultivares tolerantes ao déficit hídrico (SILVA; FREITAS, 2008). Além disso, o alto teor de óleo em suas sementes e o maior rendimento em relação às leguminosas anuais torna a cultura propícia para pequenas propriedades. Deste modo, favorece-se assim a implantação de projetos sociais e a inclusão da agricultura familiar na cadeia produtiva de grãos (SLUSZZ; MACHADO, 2006) e de biocombustíveis (LEITE; LEAL, 2007).

Adicionalmente, desenvolver estudos que viabilizem a adubação de plantas com o percolado de aterro sanitário torna-se importante, pois se soma às alternativas já existentes que buscam substituir os adubos químicos industrializados no cultivo de plantas. Adicionalmente, visa-se contribuir com a busca por solucionar a problemática ambiental de gestão dos aterros sanitários quanto à destinação correta do percolado.

Perante o exposto, o presente trabalho buscou analisar os efeitos da utilização de percolado de aterro sanitário na fisiologia e bioquímica de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) crescendo na ausência e presença de déficit hídrico.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Resíduos sólidos urbanos (RSU)**

São considerados resíduos sólidos urbanos, todos os resíduos resultantes da atividade humana nos diversos setores da sociedade, abrangendo desde o lixo gerado nos domicílios, hospitais, obras de construção civil, agrícola, comercial e industrial (ALVES *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, o aumento verificado na quantidade e diversidade de resíduos sólidos gerados nos centros urbanos, vem ocorrendo em decorrência do crescimento populacional e das mudanças na forma de produzir e consumir das pessoas (GOUVEIA, 2012).

Na dinâmica atual, não há sinais de que essa geração de resíduos tenderá a uma diminuição, ao contrário, na maioria dos países ela tem aumentado de forma significativa (KARAK *et al.*, 2012). No Brasil, segundo o panorama dos resíduos sólidos, lançado pela Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2014), foram produzidos cerca de 78,6 milhões de toneladas de resíduos no ano de 2014, correspondendo a 2,9% a mais em relação ao ano anterior. Desse total, 29,6 milhões de toneladas foram despejadas em lixões e aterros controlados, formas que põe em risco a saúde humana e o equilíbrio ambiental.

Como a geração dos resíduos sólidos urbanos (RSU) está diretamente relacionada à ação humana, torna-se importante a adequada gestão destes, uma vez que refletem diretamente na saúde das pessoas e do meio ambiente. Assim, é necessário que os gestores das cidades protejam seus cidadãos dos resíduos gerados (VERGARA; TCHOBANOGLOUS, 2012).

Na área da gestão sustentável dos RSU, o maior objetivo é conseguir um sistema acessível e eficaz. Atualmente não se aceita dos governantes as antigas prática de disposição de baixo custo e sem controle dos resíduos, como no caso dos lixões (RADA *et al.*, 2013).

Assim, a dispersão inadequada dos resíduos pode ocasionar a contaminação do ar, do solo e de águas superficiais e subterrâneas pelos gases e pelo percolado provenientes da decomposição dos resíduos (MEDEIROS; LOPES, 2015)

Porém, nos países desenvolvidos e naqueles em desenvolvimento, manter um sistema de coleta, reciclagem, tratamento e disposição final para os grandes volumes de lixo produzido torna-se oneroso (CHERUBINI *et al.*, 2009). Diante disso, foi que se popularizou por todo o mundo o uso de aterros sanitários como a forma mais adequada de destinação final dos resíduos urbanos e industriais, principalmente por ser considerada a técnica de estocagem com menor custo (SCHIOPU; GAVRILESCU, 2010).

Apesar disso, no Brasil, de acordo com dados da pesquisa nacional de saneamento básico - IBGE (2008), apenas 27,7% dos municípios utilizam aterro sanitário para o descarte de seus RSU, a maior parte das cidades brasileiras, principalmente na região Norte e Nordeste ainda o fazem no solo sem nenhuma preparação.

Na tentativa de melhorar o cenário nacional de gestão dos RSU, nos últimos anos, alguns marcos legais foram instituídos, dentre eles destaca-se o da Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos - PNRS (lei nº 12.305/2010), que dentre os vários pontos propostos de gestão integrada e sustentável de resíduos, destaca a importância da destinação final dos resíduos através da implantação dos aterros sanitários em todos os municípios brasileiros como forma de substituição aos lixões e aterros controlados (JACOBI; BESEN, 2011).

Segundo Alvarenga e Barbosa (2014), a maioria dos municípios brasileiros ainda não conseguiu se adequar ao que preconiza a lei da PNRS. Os autores ainda acrescentam que o maior problema enfrentado tem sido o de ordem técnica, falta de pessoal especializado em elaborar e implantar planos de gestão integrada de resíduos sólidos. Dados apresentados pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA (2014) corroboram com os autores, e destacam que menos da metade dos municípios brasileiros (2,2 mil) dispõem seus resíduos sólidos em aterros sanitários.

No Ceará, o Aterro metropolitano Oeste de Caucaia – ASMOC foi o primeiro aterro a entrar em operação no estado. Localizado na margem esquerda, km 14,5 da BR-020 em Caucaia – CE, o aterro surgiu como resultado do convênio 003/98 firmado entre os municípios de Fortaleza e Caucaia, com área para disposição dos resíduos de 78,47 hectares (ACFOR, 2010). Posteriormente, em 2011, o órgão gestor (ECOFOR AMBIENTAL S/A) realizou pedido de ampliação junto à Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE para operação adicional mínima de 16 anos, (registro número 072), sendo, portanto, um dos poucos em atividade no estado a atender o que é estabelecido no PNRS, recebendo na atualidade os resíduos provenientes dos dois municípios.

O aterro sanitário, segundo a NBR 8419/1992 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é uma técnica de disposição de RSU no solo que não causa danos a saúde pública, sendo capaz de minimizar os impactos ao meio ambiente. Ainda segundo a norma, trata-se de um método de engenharia que consiste em confinar os

resíduos no menor espaço possível, cobertos por uma camada de terra ao final de cada trabalho.

No entanto, segundo as orientações básicas para operação de aterros sanitários da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, Minas Gerais (2006), antes da aplicação da metodologia de destinação final de resíduos em aterros sanitários são requeridas a preparação prévia das instalações com os seguintes elementos básicos de proteção ambiental:

- Sistema de impermeabilização de base e laterais;
- Sistema de recobrimento diário e cobertura final;
- Sistema de coleta e drenagem de líquidos percolados;
- Sistema de coleta e tratamento dos gases;
- Sistema de drenagem superficial;
- Sistema de tratamento de líquidos percolados;
- Sistema de monitoramento;

Diante do exposto, apesar de os aterros sanitários serem considerados o meio mais adequado e com menor custo para a estocagem de RSU, todas as precauções supracitadas são necessárias, diante de os resíduos alocados ainda permanecerem ativos, produzindo biogás e percolado por longos períodos após o fim de sua vida útil (CASTILHO JUNIOR *et al.*, 2009), precisando de contenção e tratamento para que não contaminem o meio ambiente.

## **2.2. O percolado de aterro sanitário**

O percolado de aterro sanitário é um efluente aquoso, gerado a partir da percolação da água da chuva através dos resíduos depositados no aterro e que se encontram em processo de decomposição, através da ação de agentes químicos, físicos e microbiológicos (RENOU *et al.*, 2008).

De acordo com KJELDSSEN *et al.* (2002), bioquimicamente, a degradação dos resíduos e a formação do percolado envolve quatro etapas: (1) aeróbica; (2) hidrólise e fermentação de fase; (3) anaeróbica (acetogênica); (4) anaeróbica (metanogênica). Ainda segundo os autores, diante do fato de haver a entrada constante de resíduos no aterro ao longo de sua vida útil, várias das etapas supracitadas de degradação podem

ocorrer ao mesmo tempo em um aterro sanitário, tornando a composição do percolado bastante variável.

De modo geral, o percolado de aterro sanitário é formado por matéria orgânica, elementos inorgânicos, metais pesados e compostos tóxicos diversos (DENG; EZYSKE, 2011; AHMED; LAN, 2012). Suas características, bem como a composição, dependem do tipo de resíduo depositado, condições climáticas da região, modo de operação e idade do aterro (PANIZZA; MARTINEZ-HUITLE, 2013).

Segundo dados apresentados por Alvarez-Vazquez *et al.* (2004), em aterros jovens (< 5 anos de operação) que encontram-se nos estágios iniciais das etapas de degradação, o percolado tende a apresentar maior biodegradabilidade, conseqüentemente, são verificadas altas taxas de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), baixo pH e menores concentrações de nitrogênio amoniacal.

Em contrapartida, em aterros com maior período de atividade (> 5 anos de operação) ocorre uma redução no DBO e DQO, aumento do pH e elevação das concentrações de N-amoniacal. Em todos os casos, antes de sua disposição, existe a necessidade de serem tratados os componentes que potencialmente podem poluir o solo e os recursos hídricos (FOO *et al.*, 2013).

Várias técnicas têm sido utilizadas convencionalmente para essa finalidade. Renou *et al.* (2008), divide as principais metodologias empregadas em três grupos: (1) transferência de percolado - reciclagem e tratamento combinado com esgoto doméstico; (2) degradação biológica - decomposição aeróbica e anaeróbica feita por microrganismos; (3) métodos físico-químicos.

No Brasil a metodologia de degradação biológica é a mais utilizada, porém, tem sua eficiência prejudicada em percolados oriundos de aterros mais antigos, em virtude das menores concentrações de matéria orgânica (MORAIS *et al.*, 2006).

Dessa forma, perante as múltiplas eficiências que os diferentes tratamentos apresentam, e das vantagens e desvantagens dos vários métodos, o ideal é que se utilizem mais de uma metodologia no tratamento do percolado para sua destinação final (PACHECO; PERALTA-ZAMORA, 2004; FELICI *et al.*, 2013). No entanto, o problema é que quanto mais técnicas são empregadas no tratamento, menos viável economicamente torna-se o processo.

### 2.3. Uso de resíduos orgânicos na agricultura

São muitos os resíduos orgânicos de origem urbana, industrial e agrícola que podem ser utilizados no cultivo de plantas (MELO, 2007). Na literatura científica, diversos são os estudos que visam melhorias nas propriedades do solo e incrementos em plantas decorrentes da aplicação destes na agricultura (BARBOSA; TAVARES FILHO, 2006; SANTOS *et al.*, 2015).

Os resultados positivos de aumentos na produtividade vegetal encontrados, normalmente estão relacionados à presença de matéria orgânica e nitrogênio (WEBER *et al.*, 2014). O lodo de esgoto é um exemplo de resíduo que há tempos vem sendo empregado na agricultura, apresentando bons resultados de melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo, além de ter se mostrado uma excelente fonte de nitrogênio para a produção de diversas culturas (AILINCAI *et al.*, 2007; ČERNÝ *et al.*, 2010; MOTTA; MAGGIORE, 2013).

Para os RSU, sua destinação na agricultura também é vista como uma alternativa viável para a destinação final (MANGIERI; TAVARES FILHO, 2015). Muitos dos usos até então feitos, tem sido através da compostagem e sua aplicação sob a forma de fertilizantes, aditivos orgânicos para o solo e substrato (HERRERA *et al.*, 2008). Porém, normalmente esse procedimento é realizado antes da disposição dos RSU nos aterros sanitários.

Devido à presença de matéria orgânica e nitrogênio, o percolato gerado nos aterros sanitários, vem apresentando resultados que mostram ser possível o seu uso na agricultura. Matos *et al.* (2013), verificaram aumentos na produção de matéria seca e proteína bruta de plantas de capim-Tifton 85 (*Cynodon ssp*) utilizando percolato de aterro sanitário como fonte de matéria orgânica e nitrogênio. Entretanto, os autores enfatizam que é preciso atenção nos teores de metais pesados e outros contaminantes presentes no percolato, podendo, a depender da concentração e origem, limitar seu aproveitamento para essa finalidade.

Segundo Hargreaves e Warman (2008), a presença de metais pesados bem como outros elementos que promovem alterações no pH e na condutividade elétrica (CE) do solo, tem se mostrado as maiores barreiras para a utilização do RSU para o cultivo de

plantas. Isso também pode ser atribuído ao percolado de aterro sanitário, principalmente se este for aplicado *in natura*.

Nos estudos até então realizados, é possível perceber aspectos positivos e negativos da aplicação do percolado de aterro sanitário no cultivo de plantas. Chan *et al.* (1999), utilizando percolado na irrigação de plantas leguminosas (*Acacia confusa* e *Leucaena leucocephala*) durante um período seco, identificaram aumentos na produção de biomassa e na condutância estomática em relação às plantas não-leguminosas (*Cinnamomum parthenoxylon* e *Tristania conferta*). De maneira similar, Chen e Chu (2007), também verificaram melhor crescimento nas espécies *Hibiscus tiliaceus* e *Litsea glutinosa* irrigadas com percolado e água, em relação às que foram regadas apenas com água.

Porém, de forma contrária, Sang *et al.* (2010), encontraram efeitos fitotóxicos do percolado em plantas de milho (*Zea mays* L.) submetidas a estresse oxidativo. Segundo os autores, o percolado de aterro promoveu efeitos inibitórios no crescimento e nos teores de clorofila das plantas. Zalesny *et al.* (2008), também atribuem ao percolado, aumentos significativos nos teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , em raízes e folhas de clones de *Populus* quando foram aplicadas nestas por meio da irrigação o percolado de aterro, promovendo de forma adicional alterações osmóticas e redução da fitomassa.

Dessa forma, perante o que foi exposto, ainda não é possível definir um padrão universal da forma de uso do percolado de aterro sanitário na agricultura, tornando necessária a realização de estudos sobre as melhores concentrações, formas de aplicação e culturas que sejam capazes de aproveitar esse efluente como fonte de nutrientes para o seu crescimento.

#### **2.4 A cultura do Girassol**

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta dicotiledônea anual pertencente à família Asteraceae (GAZZOLA *et al.*, 2012). Originária da América do Norte, a planta apresenta um ciclo de vida curto, sendo capaz de se adaptar à diferentes condições edafoclimáticas (SOUZA *et al.*, 2004).

A cultura destaca-se como sendo a quarta oleaginosa mais produzida no mundo, ocupando a quinta maior área de cultivo (TRAVASSOS *et al.*, 2011). Segundo dados apresentados por Factfish (2015), no ano de 2013 foram cultivados cerca de 25 milhões

de hectares e colhidos pouco mais de 44 milhões de toneladas de sementes de girassol em todo o planeta.

Nos últimos anos, os aumentos na produtividade de sementes de girassol foram significativos, sendo a maior parte da produção mundial, cerca de 90%, destinada à produção industrial de óleos (GOES *et al.*, 2010). Apesar de seu emprego majoritário na alimentação, o óleo das sementes de girassol também vem sendo visto como uma alternativa no fornecimento de matéria-prima para a produção de biocombustíveis (PEREYRA-IRUJO *et al.*, 2009). O que enaltece o papel ambiental da cultura como fonte de matéria prima para a produção de energia renovável.

No território brasileiro, o girassol se adapta bem a quase todos os tipos de clima e solo, podendo, em algumas regiões, ser cultivado em várias épocas do ano (PEREIRA *et al.*, 2014). Nesse cenário, a planta se destaca em relação às outras opções de oleaginosas, em virtude de suas características agronômicas desejáveis e da alta qualidade do óleo que produz, sendo, portanto, uma boa opção de renda para os agricultores brasileiros (FREITAS *et al.*, 2013).

Apesar disso, no Brasil ainda é pouco expressiva a produção de sementes de girassol, as estimativas para a safra de 2014/15 ficaram em torno de 189,7 mil toneladas, valor bem abaixo do maior produtor mundial, a Ucrânia, com uma produção estimada de 10 milhões de toneladas para o mesmo período (CONAB, 2015).

No entanto, um maior interesse vem sendo dado à cultura do girassol no país, principalmente, após a implantação em 2005 do Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel – PNPB – Lei nº 11.097. A presente lei estabelece a obrigatoriedade do uso parcial e crescente de biodiesel misturado ao diesel fóssil, o que tem impulsionado as discussões em torno do assunto e a busca por novas fontes de matéria-prima para a produção de biocombustíveis (OSAKI; BATALHA, 2011).

Devido à rusticidade da cultura e da capacidade de se desenvolver em condições adversas sem manejo especializado (GENTIL *et al.*, 2012), o girassol têm sido bastante empregado nos estudos de viabilidade do uso de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes para plantas (LOBO *et al.*, 2013; STROJAKI *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2013).

De maneira adicional, a utilização da espécie nos estudos de fitoextração e recuperação de áreas contaminadas por metais pesados também vem sendo realizado

com seu posterior aproveitamento na indústria de biocombustíveis (ZEITTOUNI *et al.*, 2007; GABOS *et al.*, 2011). De acordo com Ruttens *et al.* (2011), o emprego da biomassa de plantas energéticas cultivadas em solos contaminados por metais na produção de biodiesel vem se tornando viável, o que amplia ainda mais as possibilidades de uso da cultura do girassol, incluindo nisso a utilização do percolado de aterro sanitário.

## **2.5. O estresse hídrico em plantas**

No ambiente natural ou agrícola, as plantas estão constantemente expostas a diferentes tipos de estresses ambientais, como variações na disponibilidade de água, temperatura e salinidade (LATA; PRASAD, 2011). De acordo com Cramer *et al.* (2011), é possível que os estresses abióticos que as plantas estão sujeitas tornem-se mais acentuados frente às recentes mudanças no clima do planeta. Diante disso, diversos estudos têm sido realizados no sentido de desenvolver plantas mais tolerantes e/ou capazes de se aclimatarem às diversas condições abióticas do meio (ARAÚJO *et al.*, 2010; XU *et al.*, 2011; MELO *et al.*, 2014).

O estresse hídrico é tido como um dos principais fatores ambientais que afetam negativamente o crescimento e a produtividade das espécies vegetais (GOLLDACK *et al.*, 2011). Situações de baixo potencial hídrico no solo podem ocasionar alterações fisiológicas e bioquímicas nas plantas (ZOBAYED *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2012). Essas respostas incluem o fechamento dos estômatos, e como consequências, a diminuição da fotossíntese, aumento da taxa de respiração e redução no crescimento celular (SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 2007). No entanto, como medida protetivas e respostas ao estresse, as plantas são capazes de ajustar o conteúdo osmótico de suas células por meio do acúmulo de solutos compatíveis (açúcares, açúcares-poliois, aminoácidos e compostos quaternários de amônio) que mantem a turgência das células, estabilizando-as e protegendo suas enzimas da ação de metabólitos tóxicos que se originam nas situações de estresse (MARIJUAN; BOSCH, 2013).

Alguns trabalhos como os de Hassine *et al.* (2008), Silveira *et al.* (2009) e Silva *et al.* (2010), destacam essa relação entre o aumento de solutos (aminoácido prolina e o composto quaternário de amônio glicina betaína) sob condições de estresse hídrico, à estabilidade osmótica e proteção de macromoléculas supracitadas.

Porém, apesar desse aparato de aclimação para a sobrevivência em períodos mais prolongados de estresse, algumas respostas como o fechamento dos estômatos podem afetar o processo de fotossíntese, tanto pela redução das trocas gasosas, como por danos ao aparelho fotossintético, causados pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS – Do inglês, *Reactive Oxygen Species*) (CERQUEIRA *et al.*, 2015).

As ROS, surgem quando o excesso de elétrons nos fotossistemas não é dissipado de maneira eficaz, reduzindo o O<sub>2</sub> a diferentes espécies reativas como o oxigênio singleto; radicais superóxido; peróxido de hidrogênio e radical hidroxil (SILVEIRA *et al.*, 2010).

A produção de ROS nas células ocorre naturalmente nos processos metabólicos dependentes de oxigênio (respiração aeróbica, fotossíntese e fotorrespiração) (BARBOSA *et al.* 2014), e atuam como sinalizadores e reguladores de diversos processos biológicos nas plantas (crescimento, desenvolvimento, morte) (FOYER; NOCTOR, 2003). No entanto, estímulos ambientais como os estresses abióticos, podem intensificar sua produção causando danos oxidativos, como a peroxidação de lipídeos de membrana, proteínas e ácidos nucleicos, podendo ocasionar a morte celular (SILVEIRA *et al.*, 2010)

O girassol (*Helianthus annuus* L.), apesar de ser considerada uma espécie tolerante à seca (GOMES *et al.*, 2006), estudos sobre as respostas da cultura quando submetida a situações de estresse hídrico ainda são inconclusivos. Desconhece-se a real capacidade de aclimação da planta a esse tipo de estresse abiótico.

Duarte *et al.* (2012), verificaram diminuição na produção de óleo em plantas de girassol submetidas a restrição hídrica. De maneira similar, Anastasi *et al.* (2010), encontraram, em condições de restrição hídrica, quedas substanciais na produção e no rendimento final de óleo da cultura. Os autores detectaram ainda oscilações de produtividade na faixa de 400 a 1000 kg de óleo/hectare, nas plantas que foram submetidas a estresse hídrico, e de 700 a 2200 kg de óleo/hectare nas plantas irrigadas.

Apesar dos resultados apresentados pelos autores supracitados, Silva *et al.* (2013), ao verificarem as respostas fisiológicas da espécie ao estresse hídrico, em diferentes estádios de desenvolvimento, não encontraram efeitos significativos do déficit de água nos parâmetros de temperatura foliar, fotossíntese, concentração interna de CO<sub>2</sub> e eficiência no uso de água, independentemente do período em que foi aplicado.

Basendo-se nas trocas gasosas verificadas nas plantas de girassol, os autores afirmaram ainda que, a cultura tolera de maneira satisfatória o déficit hídrico, podendo ser irrigada com 50% da evapotranspiração de referência.

Perante o exposto, em regiões semiáridas, devido ao fator ambiental natural de baixa disponibilidade hídrica, existem limitações para que se possa ter produção agrícola em larga escala durante todo o ano. No entanto, isso pode ser possível caso sejam traçadas estratégias de uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis, por meio da escolha de genótipos ou cultivares mais tolerantes às condições edafoclimáticas locais, acrescido de um manejo adequado do solo, o que inclui uma adubação adequada (BRITO *et al.*, 2013; CHAVARRIA *et al.*, 2015).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

ACFOR – Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental. **Relatório técnico Aterro Metropolitano Oeste de Caucaia – ASMOC**. Diretoria de Resíduos Sólidos, 2009-2010, 70 p. Disponível em: <[http://www.fortaleza.ce.gov.br/sites/default/files/acfor/arquivos\\_conteudos/relatorio\\_as\\_moc\\_2009\\_2010\\_site.pdf](http://www.fortaleza.ce.gov.br/sites/default/files/acfor/arquivos_conteudos/relatorio_as_moc_2009_2010_site.pdf)>. Acesso em: 03 de Maio de 2015.

AILINCAI, C.; JITAREANU, G.; BUCUR, D.; AILINCAI, D. Influence of sewage sludge on maize yield and quality and soil chemical characteristics. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 5, p. 310-313, 2007.

AHMED, F. N.; LAN, C. Q. Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: a review. **Desalination**, v. 287, p. 41-54, 2012.

ALVARENGA, E. M.; BARBOSA, L. L. Gerenciamento de resíduos sólidos na teoria e na prática pós Lei nº 12.305/2010: o caso da capital Teresina – PI. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 8, p. 155-168, 2014.

ALVAREZ-VAZQUEZ, H.; JEFFERSON, B.; JUDD, S. J. Membrane bioreactors vs conventional biological of landfill leachate: a brief review. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 79, p. 1043-1049, 2004.

ALVES, D. H. C.; ISHII, F. M.; MORAIS, H. A. de S.; HOFFMANN, H.; SILVA, R. S. C. M. da; MARCHETO, M. Resíduos sólidos, mais que uma questão ambiental, uma questão social. **Engineering and Science**, v.1, p. 44-51, 2015.

ANASTASI, U.; SANTONOCETO, C.; GIUFFRE, A. M.; SORTINO, O.; ABBATE, V. Yield performance and grain lipid composition of standard and oleic sunflower as affected by water supply. **Field Crops Research**, v.119, p.145-153, 2010.

ARAÚJO, C. A. de S.; RUIZ, H. A.; CAMBRAIA, J.; NEVES, J. C. L.; FREIRE, M. B. G. dos S.; FREIRE, F. J. Seleção varietal de *Phaseolus vulgaris* quanto à tolerância ao estresse salino com base em variáveis de crescimento. **Revista Ceres**, v. 57, p. 132-139, 2010.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 8419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. NBR 10004: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, p. 565-580, 2006.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. de A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, p. 453-460, 2014.

BELOTTI, A. F. J.; NEVES, E. J. M.. Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural. **Colombo: Embrapa Florestas**, Circular Técnica, 54, 2001. 6 p.

BRASIL. Lei Nº 11097. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Presidência da República. Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos, 13 de janeiro de 2005. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm)> . Acesso em: 18 de outubro de 2014.

BRITO, M. E. B.; FILHO, G. D. de A.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S. de;

CASTILHOS JUNIOR, A. B. de; MEDEIROS, P. A.; FIRTA, I. N.; LUPATINI, G.; SILVA, J. D. da. **Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos**. In: Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Editora Rima Artes e Textos, Florianópolis – SC, 2003, 26p.

ČERNÝ, J.; BALÍK, J.; KULLÁNEK, M.; ČÁSOVÁ, K.; NEDVĚD, V. Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. **Plant, Soil and Environment**, v. 56, p. 28-36, 2010.

CERQUEIRA, R. C.; COSTA, J. M.; CHAVES, M. M.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia e metabolismo foliar em duas variedades de videira sujeitas a um ciclo de deficit hídrico e reidratação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, p. 211-217, 2015.

Companhia Nacional de Abastecimento – Conab. **Conjuntura Mensal – Girassol**, 2015. Disponível em: <  
[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_06\\_19\\_15\\_33\\_29\\_girassolmaio2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_19_15_33_29_girassolmaio2015.pdf)>. Acesso em: 15 de outubro de 2015.

CHAVARRIA, G.; DURIGON, M. R.; KLEIN, V. A.; KLEBER, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1387-1393, 2015.

CHAN, Y. S. G.; WONG, M. H.; WHITTON, B. A. Effects of landfill leachate on growth and nitrogen fixation of two leguminous trees (*Acacia confuse*, *Leucaena leucocephala*). **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 111, p. 29-40, 1999.

CHENG, C. Y.; CHU, L. M. Phytotoxicity data safeguard the performace of the recipient plants in leachate irrigation. **Environmental Pollution**, v. 147, p. 195-202, 2007.

CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. Life cycle assessment (LCA) of waste management atrategies: landfilling, sorting plant and incineration. **Energy**, v.34, p. 2116-2123, 2009.

COSTA, F. B. da; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, v.29, p. 1244-1254, 2013.

CRAMER, G. R.; URANO, K.; DELROT, S.; PEZZOTTI, M.; SHINOZAKI, K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. **BMC Plant Biology**, v.11, p. 1-14, 2011.

DENG, Y.; EZYSKE, C. M. Sulfate radical-advanced oxidation process (SR-AOP) for simultaneous removal of refractory organic contaminants and ammonia in landfill leachate. **Water Research**, v. 45, p. 6189-6194, 2011.

DUARTE, J. M. de L.; LIMA, A. D.; NASCIMENTO, R. S.; VIANA, T. V. de A.; SARAIVA, K. R.; AZEVEDO, B. M. de. Eficiência do uso da água na produção de óleo do girassol (*Helianthus annuus* L.), sob suspensão hídrica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, p. 166-175, 2012.

FACTFISH. **Sunflower seed, area harvested (hectare) – for all countries**, 2015.

Disponível em: <  
<http://www.factfish.com/statistic/sunflower%20seed%2C%20area%20harvested>>.

Acesso em: 29 de outubro de 2015.

FELICI, E. M.; KURODA, E. K.; YAMASHITA, F.; SILVA, S. M. C. P. da. Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratado biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.18, p. 177-184, 2013.

FOO, K. Y.; LEE, L. K.; HAMEED, B. H. Preparation of tamarind fruit seed activated carbon by microwave heating for the adsorptive treatment of landfill leachate: A laboratory column evaluation. **Bioresource Technology**, v. 133, p. 599-605, 2013.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. *Physiologia Plantarum*, v. 119, p. 355–364, 2003.

Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. **Orientações básicas para a operação de aterro sanitário**. Belo Horizonte, 2006. 36 p. Disponível em:<  
<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Aterro2.pdf>>. Acesso em: 08 de Agosto de 2014.

FREITAS, C. A. S. de; SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M. L.; ANDRADE, R. R. de; MOTA, F. S. Análise energética do girassol irrigado com esgoto doméstico tratado para produção de biodiesel. **Revista Caatinga**, v.26, p. 62-72, 2013.

GABOS, M. B.; CASAGRANDE, G.; ABREU, C. A.; PAZ-FERREIRO, J. Uso da matéria orgânica como mitigadora de solo multicontaminado e do girassol como fitoextratora. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p. 1298-1306, 2011.

GAZZOLA, A.; FERREIRA JUNIOR, C. T. G.; CUNHA, D. A.; BORTOLINI, E. PAIAO, G. D.; PRIMIANO, I. V.; PESTANA, J.; D'ANDRÉA, M. S. C.; OLIVEIRA, M. S. **A cultura do girassol**. Trabalho Didático, Piracicaba – SP: ESALQ, 2012. p. 69.

GENTIL, R. de M.; SERRA, J. C. V.; CASTRO, R. B. de. Resíduos sólidos orgânicos provenientes da extração de oleaginosas para biodiesel e seus potenciais de uso. **Geoambiente On-line**, p. 127-142, 2012.

GOES, de B.; TONISSI, R. H. de; SOUZA, K. A. de; PATUSSI, R. A.; CORNÉLIO, T. da C.; OLIVEIRA, E. R. de; BRABES, K. C. da S. Degradabilidade in situ dos grãos de cambre, girassol e soja, e de seus coprodutos em ovinos. **Acta Scientiarum**, v. 32, p. 271-277, 2010.

GOMES, D. P.; BRINGEL, J. M. M.; MORAES, M. F. H.; GOMES, J. J. A.; LEITE, R. M. V. B. de C. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de girassol produzidas na região de Timon, Maranhã. **Summa Phytopathologica**, v. 32, p. 291-292, 2006.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectivas de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.17, p. 1503-1510, 2012.

GOLLDACK, D.; LÜKING, I.; YANG, O. Plant tolerance to drought and salinity: stress regulating transcription factors and their functional significance in the cellular transcriptional network. **Plant Cell Rep**, v.30, p.1383-1391, 2011.

HARGREAVES, J. C.; WARMAN, P. R. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 123, p. 1-14, 2008.

HERRERA, F.; CASTILLO, J. E.; CHICA, A. F.; LÓPEZ BELLIDO, L. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing médium in the nursery production of tomato plants. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 287-296, 2008.

HASSINE, A. B.; GHANEM, M. E.; BOUZID, S.; LUTTS, S. An inland and a coastal population of the Mediterranean xerohalophyte species *Atriplex halimus* L. differ in their ability to accumulate proline and glycinebetaine in response to salinity and water stress. **Journal of Experimental Botany**. v.59, p.1315-1326, 2008.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos avançados**, v.25, p. 135-158, 2011.

KARAK, T.; BHAGAT, R. M.; BHATTACHARYYA, P. Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario. **Environmental science and technology**, v.42, p. 1509-1630, 2012.

KJELDTSEN, K.; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; Christensen. Presentand long-term composition of MSW landfill leachate: a review. **Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.**, v. 32, p. 297-336, 2002.

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

LEITE, R. C. de C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos – CEBRAP**, v. 1, p. 15-21, 2007.

LOBO, T. F.; FILHO, H. G.; BULL, L. T.; KUMMER, A. C. B. Efeitos do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 504-509, 2013.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v.18, p. 660-665, 2013.

MANNARINO, C. F.; MOREIRA, J. C.; FERREIRA, J. A.; ARIAS, A. R. L.. Avaliação de impactos do efluente do tratamento combinado de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos e esgoto doméstico sobre a biota aquática. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, p. 3235-3243, 2013.

MARIANO, D. de C.; OKUMURA, R. S.. Aspectos agronômicos, uso pelo homem e mecanismos da fitorremediação: uma revisão. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.5, p. 85-101, 2012.

MATOS, A. T. de; CARVALHO, A. L. de; AZEVEDO, I. C. D. d'A. Viabilidade do aproveitamento agrícola de percolados de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 435-440, 2008.

MATOS, A. T. de; SILVA, D. de F.; LO MONACO, P. A. V.; PEREIRA, O. G. Produtividade e composição química do capim-tifton 85 submetido a diferentes taxas de aplicação do percolado de resíduo sólido urbano. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 188-200, 2013.

MELO, G. M. de; BARBOSA, M. R.; DIAS, A. L. de F.; WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Pré-condicionamento *in vitro* de plantas de cana-de-açúcar (*Sccharum spp.*) para

tolerância ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p. 27-33, 2014.

MELO, L. C. A. **Caracterização físico-química e comparação de métodos de digestão de resíduos orgânicos**. Dissertação (Mestrado) – Lavras: UFLA, 2007. 72p. Disponível em: < <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/3727>>. Acesso em: 12 de outubro 2015.

MANGIERI, V. R. L.; TAVARES FILHO, J.. Disposição de resíduos sólidos no solo: efeito nos atributos físicos, químicos e na material orgânica. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, p. 747 – 764, 2015.

MEDEIROS, D. F. de; LOPES, J. C. de J. Estudo da gestão e disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no município de Campo Grande (MS). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.8, p. 165-179, 2015.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Política de resíduos sólidos apresenta resultados em 4 anos**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/informma/item/10272-pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-apresenta-resultados-em-4-anos>> . Acesso em: 15 de nov. de 2015.

MOTTA, S. R.; MAGGIORE, T. Evaluation of nitrogen management in maize cultivation grows on soil amended with sewage sludge and urea. **European Journal of Agronomy**, v. 45, p. 59-67, 2013.

MORAES, M. T. de; SILVA, V. R. das; ARNUTI, F. Resíduos líquidos de efluentes de carnes na produtividade do girassol. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, p. 843-853, 2012.

MORAIS, J. L. de; SIRTORI, C.; ZAMORA, P. G. P.. Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional. **Química Nova**, v.29, p. 20-23, 2006.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. de O.; HANSEN, M. A. F.. Estimativa do tempo de produção de chorume em aterro controlado por meio de medidas de resistividade elétrica. **Revista Brasileira de Geociências**, v.41, p. 549-557, 2011.

NASCENTES, A. L.; NASCIMENTO, M. M. P. do; BRASIL, F. da C.; CAMPOS, J. C.; FERREIRA, J. A.. Combined treatment of landfill leachate and domestic sewage – operational and microbiological aspects. **Revista Teccen**, v.6, p. 01-32, 2015.

- OSAKI, M.; BATALHA, M. O. Produção de biodiesel e óleo vegetal no Brasil: realidade e desafio. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v.13, p. 227-242, 2011.
- OLIVEIRA, J. T. de L.; CHAVES, L. H. G.; CAMPOS, V. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; GUEDES FILHO, D. H. Fitomassa de girassol cultivado sob adubação nitrogenada e níveis de água disponível no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, V.6, p.23-32, 2012.
- PACHECO, J. R.; PERALTA-ZAMORA, P. G. Integração de processos físico-químicos e oxidativos avançados para remediação de percolado de aterro sanitário (chorume). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, p. 306-311, 2004.
- PANIZZA, M.; MARTINEZ-HUITLE, C. A. Role of electrode materials for the anodic oxidation of a real landfill leachate – Comparison between Ti-Ru-Sn ternary oxide, PbO<sub>2</sub> and boron-doped diamond anode. **Chemosphere**, v. 90, p. 1455-1460, 2013.
- PEREIRA, T. de A.; SOUTO, L. S.; SÁ, F. V. da S.; PAIVA, E. P. de; SOUZA, D. L. de; SILVA, V. N. da; SOUZA, F. M. de. Esterco ovino como fonte orgânica alternativa para o cultivo do girassol no semiárido. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.10, p.59-64, 2014.
- PEREYRA-IRUJO, G. A.; IZQUIERDO, N. G.; COVI, M.; NOLASCO, F. Q.; AGUIRREZÁBAL, L. A. N. Variability in sunflower oil quality for biodiesel production: A simulation study. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p. 459-468, 2009.
- PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. da. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v.7, p. 01-12, 2011.
- RADA, E. C.; RAGAZZI, M.; FEDRIZZI, P. Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. **Waste Management**, v.33, p. 785-792, 2013.
- RIGUETTI, P. F.; CARDOSO, C. A. L.; CAVALHEIRO, A. A.; LENZI, E.; FIORUCCI, R.; SILVA, M. S. da. Manganês, zinco, cádmio, chumbo, mercúrio e crômio no chorume de aterro sanitário de Dourados, MS, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.10, p. 153-163, 2015.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, P.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, p. 468-493, 2008.

RUTTENS, A.; BOULET, J.; WEYENS, N.; SMEETS, K.; ADRAENSEN, K.; MEERS, E.; SLYCKEN, S. V.; TACK, F.; MEIRESONNE, L.; THEWYS, T.; WITTERS, N.; CARLEE, R.; DUPAE, J.; VANGRONSVELD, J. Short rotation coppice culture of willows and poplars as energy crops on metal contaminated agricultural soils. **International Journal of Phytoremediation**, v.13, p. 194-207, 2011.

SANG, N.; HAN, M.; Li, G.; HUANG, M. Landfill leachate affects metabolic responses of *Zea mays* L. seedlings. **Waste Management**, v. 30, p. 856-862, 2010.

SANTOS, S. M. C.; ANTONANGELO, J. A.; DEUS, C. F.; BÜLL, T. L. Efeito da aplicação de resíduos urbanos e industriais na cultura da aveia preta cultivada em Latossolo vermelho em sistema plantio direto. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, p. 66-75, 2015.

SANTIAGO, L. S.; DIAS, S. F. M.. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.17, p. 203-212, 2012.

SANTOS, P. R.; RUIZ, H. A.; NEVES, J. C. L.; FREIRE, M. G. B. S.; FREIRE, F. J. Acúmulo de cátions em dois cultivares de feijoeiro crescidos em soluções salinas. **Revista Ceres**, v.56, p. 666-678, 2009.

SILVA, R. T. L. da; OLIVEIRA NETO, C. F. de; BARBOSA, R. R. do N.; COSTA, R. C. L. da; CONCEIÇÃO, H. E. O. da. Resposta fisiológica de planta de mamoeiro submetidas ao déficit hídrico. **Nucleus**, v.9, p. 113-120, 2012.

SILVA, P. R. F. da; FREITAS, T. F. S. de. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.38, p. 843-851, 2008.

SILVA, E. N.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, p. 279-285, 2010.

SILVA, V. F.; BRITO, K. S. A. de; Nascimento, E. C.; Ferreira, A. C.; Maracajá, P. B. Resíduo agroindustrial na formação de mudas ornamentais irrigadas com água

residuária. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, p. 258-266, 2013.

SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F. de; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. de. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p. 86-93, 2013.

SILVEIRA, J. A. G.; ARAÚJO, S. A. M.; LIMA, J. P. M. S.; VIÉGAS, R. A. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex numularia*. **Environmental and Experimental Botany**, v.66, p.1-8, 2009.

SILVEIRA, J.A.G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. D.; LACERDA, C. F. (Eds.), **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010, p.p 161-180.

SOUZA, A. de; OLIVEIRA, M. F. de; CASTIGLIONI, V. B. R. O boro na cultura do girassol. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 25, p. 27-34, 2004.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p. 221-227, 2007.

SCHIOPU, A. M.; GAVRILESCU, M. Options for treatment and management of municipal landfill leachate: common and specific issues. **Clean – Soil, Air, Water**, v.38, p. 1101-1110, 2010.

SLUSZZ T.; MACHADO, J. A. D. **Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar**. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 6.,Campinas, 2006. Disponível em:<[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022006000100032&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000100032&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 29 de Setembro de 2015.

STROJAKI, T. V.; SILVA, V. R. da; SOMAVILLA, A.; ROS, C. O. da; MORAES, M. T. de. Atributos químicos do solo e produtividade de girassol e milho em função da aplicação de compost de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, p. 278-285, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Tradução Eliane Romanato Santarém, et al. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; SILVA, D. R. S.; NASCIMENTO, A. K. S.; DIAS, N. da S. Produção de arquiônio do girassol irrigado

com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 371-376, 2011.

VERGARA, S. E.; TECHOBANOGLOUS, G. Municipal solid waste and the environment: a global perspective . **Environment and Resources**, v.37, p. 277-309, 2012.

VIANA, T. V. de A.; LIMA, A. D.; MARINHO, A. B.; DUARTE, J. M. de L.; AZEVEDO, B. M.; COSTA, S. C. Lâminas de Irrigação e cobertura do solo na cultura do girassol, sob condições semiáridas. **Irriga, Botucatu**, v. 17, p. 126 – 136, 2012.

WEBER, J.; KOCOWICZ, A.; BEKIER, J.; JAMROZ, E.; TYSZKA, R.; DEBICKA, M.; PARYLAK, D.; KORDAS, L. The effect of a sandy soil amendment with municipal solid waste (MSW) compost on nitrogen uptake efficiency by plants. **European Journal of Agronomy**, v.54, p. 54-60, 2014.

XU, Y.; ZHAN, C.; HUANG, B. Heat shock proteins in association with heat tolerance in grasses. **International Journal of Proteomics**, 2011, 11p.

ZALESNY, J. A.; ZALESNY JUNIOR, R. S.; WIESE, A. H.; SEXTON, B.; HALL, R. B. Sodium and chloride accumulation in leaf, woody, and root tissue of *Populus* after irrigation with landfill leachate. **Environment Pollution**, v. 155, p. 72-80, 2008.

ZEITOUNI, C. de F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A. de. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. **Bragantina**, v.66, p. 649-657, 2007.

ZOBAYED, S. M. A.; AFREEN, F.; KOZAI, T. Phytochemical and physiological changes in the leaves of St. John's wort plants under a water stress condition. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 109-116, 2007.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo geral**

Analisar os efeitos da utilização de percolado de aterro sanitário na fisiologia e bioquímica de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) crescendo na ausência e presença de déficit hídrico.

### **4.2. Objetivos específicos**

Sob condições experimentais de casa de vegetação:

- Selecionar genótipos de girassol com capacidade de aclimatação às condições de clima Tropical Quente Subúmido (município de Maracanaú, Ceará, Brasil);
- Verificar os efeitos da utilização do percolado de aterro sanitário nos parâmetros germinativos (percentual de emergência e índice de velocidade de emergência) em sementes de girassol;
- Analisar a viabilidade da utilização do percolado de aterro sanitário na adubação de plantas como alternativa de destinação.

Em casa de vegetação, sob condições controle e de déficit hídrico, e com diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário no substrato:

- Avaliar o crescimento de plantas de girassol, através de parâmetros biométricos (número de folhas, altura, diâmetro do coleto, área foliar) e produção de matérias fresca e seca;
- Analisar as trocas gasosas em plantas de girassol através dos parâmetros de condutância estomática, taxa de transpiração, taxa de fotossíntese líquida; razão da concentração interna e externa de CO<sub>2</sub>; eficiência no uso de água; eficiência instantânea de carboxilação e a taxa de transporte de elétrons;
- Estudar as atividades das enzimas antioxidativas (Catalase, peroxidase do ascorbato, peroxidase do guaiacol e dismutase do superóxido) espectrofotometricamente.

## 5. ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL

Os experimentos foram conduzidos no telado agrícola do laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, *Campus* Maracanaú, Ceará, Brasil. As sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivares BRS 323 e BRS 324, utilizadas nos experimentos foram cedidas pela Embrapa Produtos e Mercados, Escritório Dourados, MS.

A presente dissertação foi dividida em três experimentos independentes, que resultaram na produção de cinco capítulos, cada um correspondendo a um artigo científico submetidos e/ou publicados em revistas científicas.

1 - **“Crescimento inicial de dois cultivares de girassol sob condições de clima tropical quente subúmido”**. Publicado na Revista Conexões – Ciência e Tecnologia e v 10, *in press*, 2016.

2 - **“Emergência e crescimento inicial de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário”**. Submetido à revista Agro@mbiente On-line e está aguardando designação do editor.

3 - **“Percolado de aterro sanitário como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plantas de girassol”**. Encontra-se em revisão na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Agriambi, aguardando parecer final dos revisores.

4 - **“Trocias gasosas em plântulas de girassol (*Helianthus annuus* L.) suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico”**. O artigo encontra-se formatado para submissão à revista IRRIGA (Brazilian Journal of Irrigation and Drainage).

5 - **“Atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico”**. O artigo encontra-se formatado para submissão à revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science.

Todos os artigos dispostos na presente dissertação encontram-se formatados de acordo com as normas das revistas aos quais foram submetidos e/ou publicados.

As descrições detalhadas de cada um dos experimentos encontram-se independentemente descritas nas seções “Material e Métodos” de cada artigo.

## **EXPERIMENTO I**

### **ARTIGO 1**

(Artigo publicado na Revista Conexões – Ciência e Tecnologia e v 10, *in press*, 2016.)

## CRESCIMENTO INICIAL DE DOIS CULTIVARES DE GIRASSOL EM CASA DE VEGETAÇÃO SOB CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL QUENTE SUBÚMIDO

### RESUMO

Este trabalho objetivou analisar o crescimento inicial de dois cultivares de girassol, 'BRS 323' e 'BRS 324', determinando-se: percentual de emergência de plântulas do solo, número de folhas, diâmetro dos caules e, as matérias fresca e seca da parte aérea, das raízes e total. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Instituto Federal do Ceará, na cidade de Maracanaú, Ceará, Brasil. As sementes dos cultivares 'BRS 323' e 'BRS 324' foram semeadas em vasos de plástico de 6 L preenchidos com húmus de minhoca e vermiculita na proporção de 1:1, com cinco repetições. Os resultados de diferentes períodos de coleta (14 e 21 dias) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Nas condições experimentais empregadas, constatou-se que o cultivar 'BRS 323' apresentou uma melhor aclimatação do que o 'BRS 324'. O 'BRS 323' apresentou parâmetros de crescimento (percentual de emergência de plântulas do solo, número de folhas, diâmetro dos caules, matérias fresca e seca da parte aérea, das raízes e total) mais elevados do que o 'BRS 324'. No entanto, estudos em campo fazem-se necessários para confirmar uma possível indicação do cultivar 'BRS 323' para regiões que apresentem condições climáticas semelhantes às empregadas.

**Palavras-chave:** Análise de crescimento. *Helianthus annuus* L.. Percentual de emergência de plântulas do solo.

## INITIAL GROWTH OF TWO SUNFLOWER CULTIVARS IN GREENHOUSE UNDER CONDITIONS OF TROPICAL CLIMATE WARM SUBHUMID

### ABSTRACT

The aim of this study was to analyze comparatively the initial growth of two sunflower cultivars 'BRS 323' and 'BRS 324', where it was determined: soil seedling emergency percentage, the leaves number, the stems diameter and, fresh and dry matter of the shoot, roots and total. The study was conducted under greenhouse conditions, located at the Instituto Federal do Ceará, in Maracanaú city, Ceará, Brazil. The seeds of the 'BRS 323' and 'BRS 324' cultivars were sown in plastic pots (6L) containing earthworm castings and vermiculite in the ratio of 1:1, with five replicates of each cultivar. The results of different harvest times (14 and 21 days) were subjected to analysis of variance (ANOVA) and the means compared by Tukey's test ( $P \leq 0,05$ ). In the employed experimental conditions, it was found that the 'BRS 323' cultivar showed a better acclimation than the 'BRS 324'. The 'BRS 323' had growth parameters (soil seedling emergency percentage, the number of leaves, the stems diameter and, fresh and dry matter of shoot, roots and total) higher than the 'BRS 324'. However, studies under field conditions are required to confirm the possible indication of the 'BRS 323' cultivar for similar regions with climatic conditions those they were here used.

**Keywords:** Growth analysis. *Helianthus annuus* L.. Soil seedling emergency percentage

### INTRODUÇÃO

Originário da América do Norte, o girassol (*Helianthus Annuus* L.) tem sido cultivado em grandes áreas por todo o mundo objetivando a extração de óleo para o consumo humano e, também, animal, como farelo e ração (BRIGHENTI et al. 2003). A espécie destaca-se entre as cinco maiores produtoras de óleos comestíveis, atrás da soja, algodão, canola e amendoim (NOBRE et al. 2010).

É uma planta que se adapta bem a diferentes condições edafoclimáticas sofrendo pouca influência de fatores como a latitude, a altitude ou o fotoperíodo (CASTRO et al., 1997). A cultura tem despertado grande interesse mercadológico e socioeconômico em todo o mundo, integrando os sistemas de produção de grãos e biocombustíveis devido

ao curto ciclo de vida, a alta produtividade aliada ao elevado rendimento de óleo em seus grãos (NOBRE et al., 2012b; VIANA et al., 2012).

O óleo extraído das sementes de girassol é considerado nobre, com alto valor nutricional, rico em ácidos graxos poli-insaturados, sendo sua maior parte ácido linoléico (69%), que é essencial ao bom desempenho das funções fisiológicas do organismo humano (LIRA et al., 2011).

Recentemente, a preocupação com o aquecimento global e a redução da emissão de gases do efeito estufa, têm resultado no aumento pela procura de fontes de energia potencialmente neutras na emissão de CO<sub>2</sub>. Nesse panorama, o cultivo de oleaginosas tem ganhado destaque. Estima-se que, nos últimos anos, cerca de 26 milhões de hectares de *Helianthus annuus* L. foram cultivados em todo o mundo, sendo boa parte empregada na produção de biodiesel (MANTZOS et al., 2014). Diante disso, a planta passou a ser vista como uma opção viável para a produção de biocombustíveis, devido ao alto teor de óleo em suas sementes e da possibilidade de cultivo em larga escala (ZOBIOLE et al. 2010).

No Brasil, o cultivo de oleaginosas para a utilização na produção de biocombustíveis foi estimulado a partir de 2004 com a lei nº 11.097/2005, que criou o Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel – PNPB (BRASIL, 2005). Desde 2010, baseando-se no PNPB e por uma série de outras regras que sucederam a lei, foi estabelecida a obrigatoriedade da mistura ao diesel de origem fóssil, 5% de biodiesel. Com a perspectiva de aumento do percentual de mistura de biodiesel ao diesel convencional, o governo brasileiro tem estimulado a produção de culturas com maior possibilidade de produção de óleo, como as do girassol e da soja (LEITE et al., 2014).

Deste modo, existe um desafio de aumentar a produção do girassol e, ao mesmo tempo, reduzir os custos de seu cultivo. Parcialmente, tal problemática pode ser resolvida com a seleção e o desenvolvimento de genótipos ou cultivares (KANG et al., 2014). Normalmente a indicação destes é feita por meio das análises de comportamento produtivo em diferentes ambientes e suas particularidades (ano, local, época de plantio, sistema de plantio, dentre outros) (GRUNVALD et al., 2008).

A EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias) visando o fornecimento de genótipos adaptados às condições de clima e de solo do Brasil vem desenvolvendo cultivares de girassol que, além de tais características, agregam alta produtividade de óleo e precocidade no desenvolvimento. Dentre estes, destacam-se os cultivares ‘BRS 323’ (teor de óleo entre 40 e 44%) e ‘BRS 324’ (teor de óleo entre 45 a 49%). O ‘BRS 323’ possui indicação de cultivo para 18 estados brasileiros e o Distrito Federal. No nordeste, é indicado para quase todos os estados, excetuando-se Pernambuco. Já o ‘BRS 324’ possui uma indicação para 10 estados brasileiros, sendo que, no nordeste, os estados da Bahia e Sergipe são os únicos indicados (EMBRAPA, 2013).

O estado do Ceará, segundo dados da FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2007), possui cinco tipos de clima (tropical quente semiárido, tropical quente semiárido brando, tropical quente subúmido, tropical quente úmido e tropical subquente subúmido) com predominância do tropical quente semiárido com médias de temperaturas máximas que podem ultrapassar os 29 °C. Maracanaú, município situado na região metropolitana de Fortaleza, enquadra-se, segundo esta classificação, em tropical quente subúmido.

Diante do exposto, o presente trabalho buscou analisar o crescimento inicial de dois cultivares de girassol (‘BRS 323’ e ‘BRS 324’), crescendo sob condições de casa de vegetação através de medidas de percentual de emergência do solo, número de folhas, diâmetro dos caules e, matérias fresca e seca da parte aérea, das raízes e total.

## 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, na cidade de Maracanaú, Ceará, Brasil, no período de Agosto a Setembro de 2014. A cidade de Maracanaú possui clima Tropical Quente Subúmido (FUNCEME, 2007). Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar durante o dia dentro da casa de vegetação foram respectivamente, 33,3 °C e 54%.

As sementes dos cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’ foram gentilmente cedidas pela EMBRAPA Produtos e Mercados – Escritório Dourados, MS. Inicialmente 20 sementes de cada cultivar, foram semeadas em cada vaso de plástico de 6 L preenchidos com húmus de minhoca e vermiculita na proporção de 1:1, com cinco repetições e submetidas à rega diária próxima à capacidade de campo. Após 07 dias da semeadura, calculou-se o percentual de emergência de plântulas do solo, através de adaptação da equação proposta por Labouriau & Valadares (1976), descrita a seguir:

$$1) \%E = (E1/E) \times 100$$

Onde,

%E = percentagem de emergência

E1 = número total de plântulas emergidas

E = número total de sementes semeadas.

Terminado o período de análise do percentual de emergência das plântulas do solo, realizou-se o desbaste, deixando-se apenas duas plântulas por vaso e sendo cada vaso uma unidade experimental.

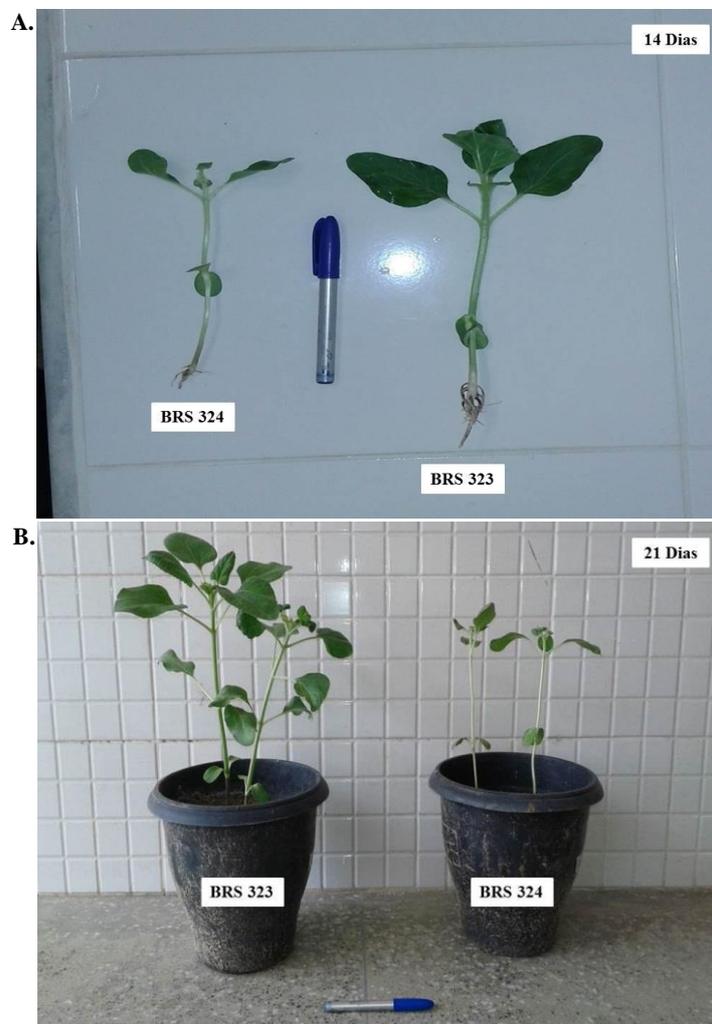
Aos 14 dias da semeadura, realizou-se a primeira coleta das plântulas, removendo-se cinco unidades experimentais de cada tratamento. Nesta ocasião, não foi possível coletar raízes intactas, desta forma as plântulas foram separadas em caules e folhas para as determinações da matéria fresca da parte aérea (MFPA), através de pesagem em balança analítica e, posteriormente, da matéria seca da parte aérea (MSPA), após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60° C até atingir peso constante.

Aos 21 dias da semeadura, foram determinados os diâmetros dos caules (utilizando-se paquímetro digital 150 mm – Aço Inox Lee Tools Mod. 684132) e o número de folhas. Em seguida, procedeu-se uma nova coleta das plântulas, novamente cinco unidades experimentais por tratamento. Neste momento, as raízes foram coletadas de forma íntegra, determinando-se, portanto, a matéria fresca de raízes (MFR), MFPA e matéria fresca total (MFT), por meio do somatório da MFR + MFPA. Logo após as coletas, o material vegetal foi deixado em estufa, para as determinações de matéria seca das raízes (MSR), MSPA e matéria seca total (MST).

Os experimentos foram conduzidos com cinco repetições (sendo cada repetição um vaso contendo duas plântulas de cada cultivar) e repetidos pelo menos três vezes. Os dados de diferentes períodos de coleta (14 e 21 dias) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) através do programa Sigma Plot 11.0.

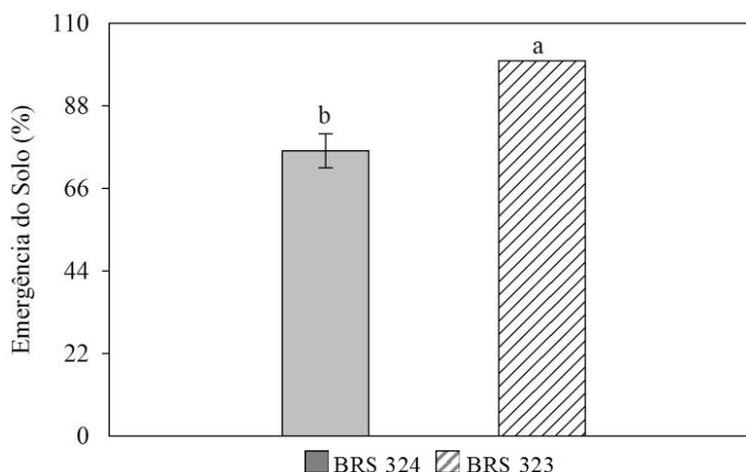
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que, nas condições experimentais empregadas, o cultivar de girassol ‘BRS 323’ obteve melhor crescimento em comparação ao ‘BRS 324’ nos dois períodos analisados, 14 (Figura 1A) e 21 dias (Figura 1B) após a semeadura.



**Figura 1 - Plantas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’, aos 14 (A) e 21 dias (B) após a semeadura crescendo sob condições de casa de vegetação. Fonte: Elaborada pelo autor.**

Na figura 2 observa-se o percentual de emergência do solo das plântulas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’. Decorridos 07 dias da semeadura, observou-se que o ‘BRS 324’ obteve um percentual de emergência das plântulas do solo de 76%, enquanto o ‘BRS 323’ alcançou 100% (Figura 2).

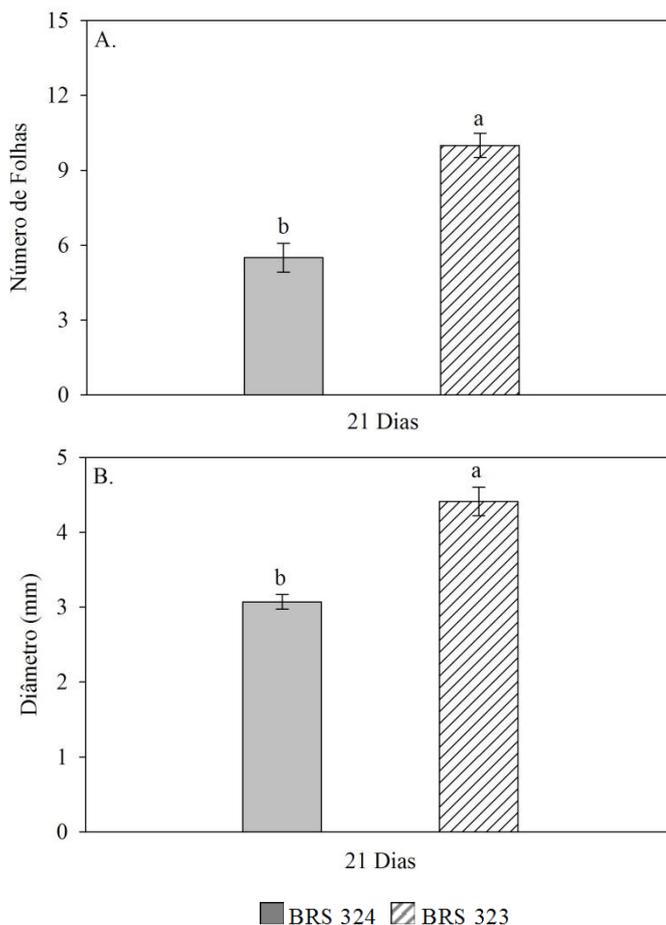


**Figura 2 - Percentual de emergência do solo de plantas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’.** As barras representam os valores das médias  $\pm$  o erro padrão. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os cultivares, de acordo com teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

A média de temperatura de 33,3 °C da casa de vegetação onde transcorreram os experimentos, pode ter contribuído para a redução do percentual de emergência das plântulas do solo do cultivar ‘BRS 324’, o qual se mostrou mais sensível. Conforme Moriondo et al. (2011), quando uma planta é cultivada em temperaturas superiores ou inferiores aquelas recomendadas, tais situações poderão ocasionar impactos negativos sobre a produção final. Experimentos realizados por Santos & Zonetti (2009), analisando os efeitos da temperatura sobre a germinação e o desenvolvimento das plantas de girassol, demonstraram que aumentos acima de 32,5 °C exerceram influência negativa sobre a germinação. Deste modo, segundo Castro & Farias (2005), a temperatura é um dos principais fatores que afeta o desenvolvimento das plantas de girassol.

Adicionalmente, Belo et al. (2014), trabalhando com diferentes híbridos de girassol afirmaram que a composição diferenciada de ácidos graxos nas sementes (lipídios de reserva), podem exercer diferenças no percentual de germinação. Os autores encontraram uma correlação inversa entre as concentrações de um ácido graxo na semente, o linoleico, e a tolerância às elevadas temperaturas. Além disso, a temperatura pode influenciar diretamente no potencial produtivo das plantas de girassol, visto que, de forma indireta, pode propiciar o aparecimento de doenças que acarretariam na redução do rendimento da cultura (BACKES et al., 2008).

Aos 21 dias da semeadura, verificou-se que o cultivar ‘BRS 323’ apresentou para os parâmetros, número de folhas (Figuras 3A) e diâmetro dos caules (Figuras 3B), valores superiores em 45 e 30% respectivamente, em relação ao ‘BRS 324’.



**Figura 3 - Número de folhas (A) e diâmetro dos caules (B) de plantas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’.** As barras representam os valores das médias  $\pm$  o erro padrão. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os cultivares, de acordo com teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

Diâmetros maiores de caules são preferíveis na cultura do girassol, uma vez que se relacionam ao bom manejo da cultura em períodos de colheita. A planta de girassol apresenta em sua fase reprodutiva uma inflorescência do tipo capítulo, com elevada massa, podendo provocar acamamento em plantas que apresentam caules com reduzidos diâmetros (BISCARO et al., 2008).

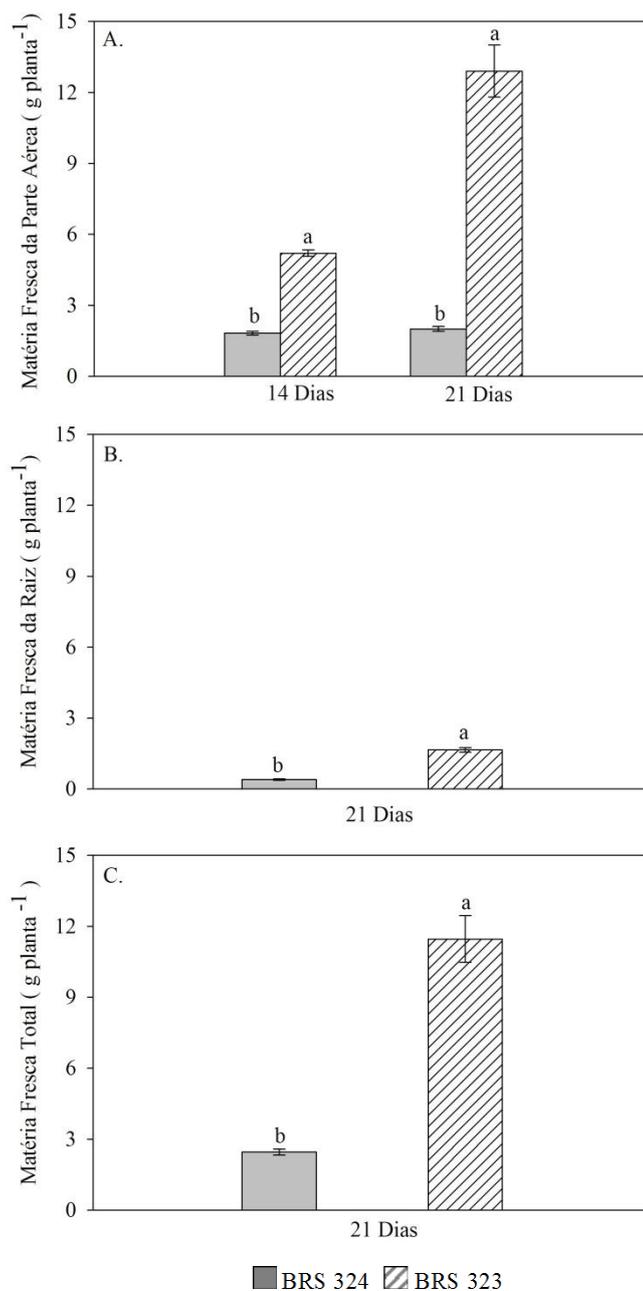
Analisar as influências da produção fotossintética no crescimento de plantas é de extrema importância para uma melhor compreensão das relações existentes entre os processos morfofisiológicos e seu rendimento final (OLIVEIRA et al., 2013).

Uma menor quantidade de folhas como no caso do cultivar ‘BRS 324’, pode ter afetado diretamente sua produção de matérias fresca e seca. Estima-se que cerca de 90% da matéria seca produzida por uma planta ao longo do seu crescimento, resulta do processo fotossintético, evento este que ocorre principalmente nas folhas (BENINCASA, 2004). Tal fato confirmou-se ao ser determinada a produção de matérias frescas e secas dos dois cultivares (Figuras 4 e 5).

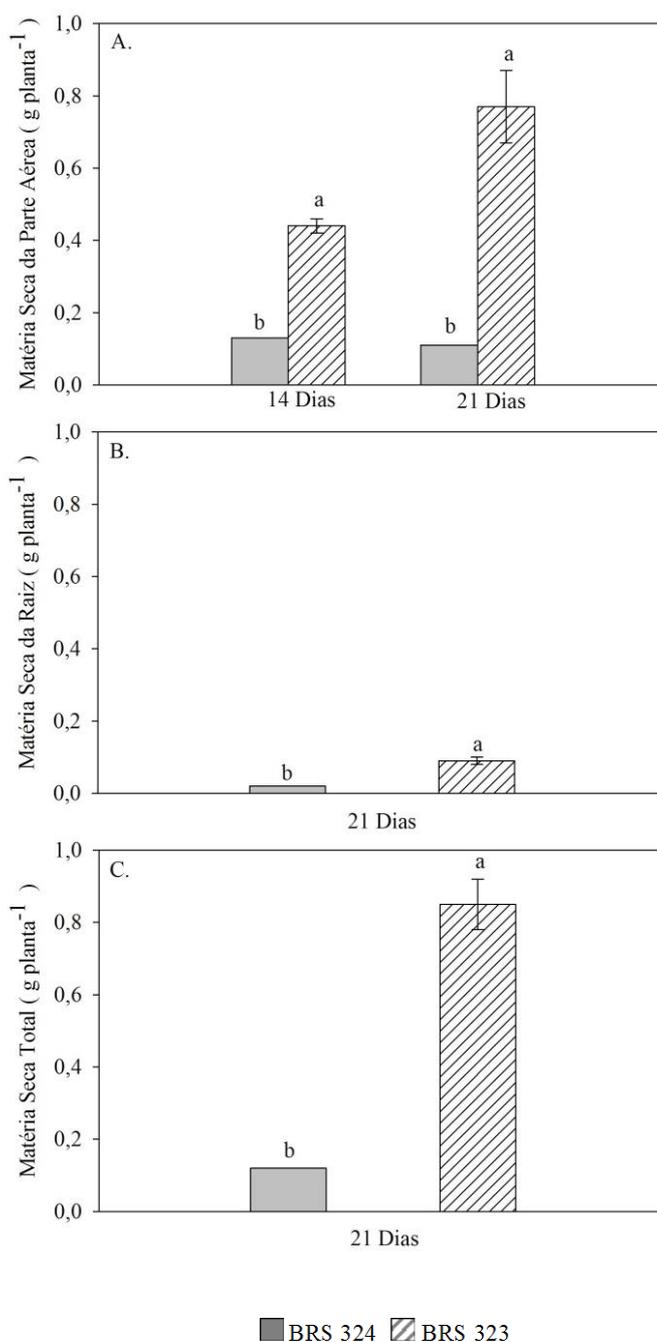
Na figura 4 observa-se a produção de matéria fresca da parte aérea (A), das raízes (B) e total (C) das plântulas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’, aos 14 e 21 dias após a semeadura. Observou-se que o ‘BRS 323’ apresentou valores de matéria fresca da parte aérea 65 e 85% superiores, aos 14 e 21 dias, respectivamente em relação ao ‘BRS 324’ (Figura 4A). Aos 21 dias da semeadura, constatou-se que os

valores dos parâmetros matéria fresca das raízes e total mostraram-se, respectivamente, 75 e 78% superiores no cultivar ‘BRS 323’ em relação ao ‘BRS 324’ (Figuras 4B e 4C).

Na figura 5 observa-se a produção de matéria seca da parte aérea (A), das raízes (B) e total (C) das plântulas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’, aos 14 e 21 dias após a semeadura. Semelhante ao encontrado para os dados de matéria fresca, o cultivar ‘BRS 323’ apresentou valores superiores ao ‘BRS 324’ para os dados de matéria seca. Constatou-se que o ‘BRS 323’ apresentou valores de matéria seca da parte aérea 70 e 85% superiores, aos 14 e 21 dias, respectivamente em relação ao ‘BRS 324’ (Figura 5A). Decorridos 21 dias da semeadura, também se verificou que os valores dos parâmetros matéria seca das raízes e total foram, respectivamente 77 e 85 % superiores no ‘BRS 323’ em relação ao ‘BRS 324’ (Figuras 5B e 5C).



**Figura 4 - Matéria fresca da parte aérea (A), das raízes (B) e total (C) de plantas de girassol, cultivares ‘BRS 323’ e ‘BRS 324’. As barras representam os valores das médias  $\pm$  o erro padrão. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os cultivares, de acordo com teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Fonte: Dados da pesquisa, 2014.**



**Figura 5 - Matéria seca da parte aérea (A), das raízes (B) e total (C) de plantas de girassol, cultivares 'BRS 323' e 'BRS 324'. As barras representam os valores das médias  $\pm$  o erro padrão. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os cultivares, de acordo com teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Fonte: Dados da pesquisa, 2014.**

O maior crescimento do cultivar 'BRS 323' em relação ao 'BRS 324', nas condições experimentais empregadas (casa de vegetação em clima tropical quente subúmido), se deve possivelmente, à sua capacidade genética de adequar-se às condições a que foram submetidos no trabalho. Os fatores ambientais podem influenciar no desempenho dos diferentes cultivares de girassol, que, apesar de ser uma espécie com grande resiliência edafoclimática, variações na produção e no rendimento de seus

componentes podem ser observados em função da época e da região onde é semeado. (NOBRE et al., 2012a; JONER et al., 2011).

Casadebaig et al. (2011), corroboram com tal premissa ao enfatizar que, a melhoria na produção de uma cultura não depende somente da seleção de novos cultivares, mas, também da capacidade de identificação daqueles que melhor se adaptam a diferentes regiões e manejos.

Os testes de análise de desempenho de cultivares de girassol têm sido decisivos no apoio ao desenvolvimento tecnológico da cultura, contribuindo na atualidade para o aumento da produtividade em campo e conseqüente retorno financeiro aos agricultores (Porto et al., 2007). Assim, no caso das condições onde foi realizado o presente estudo, os resultados mostraram-se relevantes, visto que os dois cultivares se comportaram de maneira distinta quanto ao crescimento inicial.

As diferenças significativas do cultivar ‘BRS 323’ em relação ao ‘BRS 324’ sugerem sua indicação de cultivo para regiões com características semelhantes. No entanto, fazem-se necessários outros estudos para comprovar se os mesmos desempenhos aqui encontrados, em condições controladas, se repetiriam em campo.

## CONCLUSÕES

- 1- O ‘BRS 323’ apresentou parâmetros de crescimento (percentual de emergência do solo, número de folhas, diâmetro dos caules, matérias fresca e seca da parte aérea, das raízes e total) mais elevados do que o ‘BRS 324’.
- 2- Nas condições experimentais empregadas (casa de vegetação situada em clima tropical quente subúmido), constatou-se que o cultivar ‘BRS 323’ apresentou uma melhor aclimação do que o ‘BRS 324’.
- 3- Apesar de o cultivar ‘BRS 323’, ter apresentado crescimento inicial maior do que o ‘BRS 324’, estudos em campo fazem-se necessários para confirmar uma possível indicação do cultivar para regiões que apresentem condições climáticas semelhantes às empregadas.

## AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA Produtos e Mercados por ter gentilmente cedido as sementes utilizadas nos experimentos.

## REFERÊNCIAS

BACKES, R. L.; SOUZA, A. M. de; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; GALLOTI, G. J. M.; BAVARESCO, A. Desempenho de cultivares de girassol em duas épocas de plantio de safrinha no planalto norte catarinense. *Scientia Agrária*, Curitiba, v.9, p. 41 – 48, 2008.

BELO, R. G.; TOGNETTI, J.; BENECH – ARNOLD, R.; IZQUIERDO, N. G. Germination responses to temperature and water potential as affected by seed oil composition in sunflower. *Industrial Crops and Products*, v. 62, p. 537 – 544, 2014.

BENINCASA, M.M.P. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: FUNEP, 2004. 42p.

BISCARO, G. A. et al. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia - MS. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 1366-1373, 2008.

BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de; GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E. Cadastramento fitossociológico de plantas daninhas na cultura de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p. 551 – 657, 2003.

BRASIL. Lei N° 11097. **Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira**. Presidência da República. Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos, 13 de janeiro de 2005. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm)> . Acesso em: 18 out. 2014.

CASTRO, C. de; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V. B. de C.; KARAM, D.; MELLO, C. H.; GUEDES, L. C. A.; FARIAS, J. R. B. **A Cultura do Girassol**. Londrina: EMBRAPA – CNPSO, 1997. 36p.

CASTRO, C. de; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 163-218.

CASADEBAIG, P.; GUILIONI, L.; LECOEUR, J.; CHRISTOPHE, A.; CHAMPOLIVIER, L.; DEBAEKE, P. Sunflo, a model to simulate genotype-specific performance of the sunflower crop in contrasting environments. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, p. 163-178, 2011.

EMBRAPA. Cultivares de girassol da Embrapa chegam ao mercado. **Embrapa Produtos e Mercados**, Dourados, 2013 . Disponível em: <[http://snt.sede.embrapa.br/noticias/noticia\\_completa/182/](http://snt.sede.embrapa.br/noticias/noticia_completa/182/)> . Acesso em: 05 Jul. 2014.

FUNCEME. Informações georreferenciadas e especializadas para os 184 municípios cearenses. **Ceará Mapas - IPECE**, Fortaleza, 2007. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/126.htm>> . Acesso em: 28 set. 2014.

GRUNVALD, A. K.; CARVALHO, C. G. P. de; OLIVEIRA, A. C. B. de; ANDRADE, C. A. de B. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de girassol no Brasil central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1483 – 1493, 2008.

JONER, G.; METZ, P. A. M.; ARBOITTE, M. Z.; PIZZUTI, A. D.; BRONDANI, I. L.; RESTLE, J. Aspectos agronômicos e produtivos dos híbridos de girassol (*Helianthus annuus* L.) Helio 251 e Helio 360. **Ciência Animal Brasileira**, v. 12, p. 266 – 273, 2011.

KANG, F.; COURNÈDE, P.; LECOEUR, J.; LETORT, V. SUNLAB: A functional-structural model for genotypic and phenotypic characterization of the sunflower crop. **Ecological Modelling**, v. 290, p. 21 – 33, 2014.

LABORIAL, L. G.; VALADARES, M. B.. On the germination of seeds of *Calotropis procera*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** - SP, v.48, p.174-186, 1976.

LEITE, J. G. D. B.; SILVA, J. V.; ITTERSUM, M. K. V.; Integrated assessment of biodiesel policies aimed at family farms in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 131, p. 64 – 76, 2014.

LIRA, M. A.; CARVALHO, H. W. L. de; CHAGAS, M. C. M. das; BRISTOT, G.; DANTAS, J. A.; LIMA, J. M. P. de. **Avaliação das Potencialidades da Cultura do Girassol, como Alternativa de Cultivo no Semiárido Nordestino**. Natal – RN: EMPARN, 2011. 40p.

MANTZOS, N.; KARAKITSOU, A.; HELA, D.; PATAKIOUTAS, G.; LENETI, E.; KONSTANTINO, I. Persistence of oxyfluorfen in soil, runoff water, sediment and plants of a sunflower cultivation. **Science of the Total Environment**, v. 472, p. 767 – 777, 2014.

MORIONDO, M.; GIANNAKOPOULOS, M.; BINDI, M. Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. **Climatic Change**, v. 104, p. 679 – 701, 2011.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O. de; NASCIMENTO, E. C. S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 747 – 754, 2010a.

NOBRE, R.G.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L.; SILVA, G. de F.; Vigor de sementes de girassol irrigadas com água salobra na fase inicial de crescimento. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 3, p. 521 – 526, 2012b.

NOBRE, D. A. C.; RESENDE, J. C. F. de; BRANDÃO JUNIOR, D. da S.; COSTA, C. A. da; MORAIS, D. de L. B. Desempenho agrônômico de genótipos de girassol no norte de Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente On-Line**, v. 6, p. 140 – 147, 2012.

OLIVEIRA, J. T. L.; CAMPOS, V. B.; CHAVES, L. H. G.; GUEDES FILHO, D. H.. Crescimento de cultivares de girassol ornamental influenciado por doses de silício no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 123 – 128, 2013.

PORTO, W. S.; CARVALHO, C. G. P.; PINTO, R. J. B. Adaptabilidade e estabilidade como critérios para seleção de genótipos de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 491-499, 2007.

SANTOS, G. A.; ZONETTI, P. C. Influência da temperatura na germinação e desenvolvimento do girassol (*Helianthus annuus* L.). **Iniciação Científica CESUMAR**, Maringá, v. 11, p. 23 – 27, 2009.

VIANA, T. V. de A.; LIMA, A. D.; MARINHO, A. B.; DUARTE, J. M. de L.; AZEVEDO, B. M.; COSTA, S. C. Lâminas de Irrigação e cobertura do solo na cultura do girassol, sob condições semiáridas. **Irriga**, Botucatu, v. 17, p. 126 – 136, 2012.

ZOBIOLE, L. H. S.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 425 – 433, 2010.

## **EXPERIMENTO II**

### **ARTIGO 2**

(Artigo submetido à revista Agro@mbiente On-line aguardando designação do editor.)

## **Emergência e crescimento inicial de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário**

### *Emergence and initial growth of sunflower plants under different concentrations of sanitary landfill leachate*

**Resumo** - Encontrar uma destinação correta para o percolado gerado nos aterros sanitários é hoje um das principais problemáticas da geração de resíduos sólidos urbanos. Seu uso na agricultura surge como uma possibilidade. No entanto, são necessários estudos que verifiquem essa viabilidade, bem como os possíveis efeitos fitotóxicos do percolado. Diante disso, o presente trabalho analisou os efeitos da utilização de diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário sobre o percentual de emergência (%E), índice de velocidade de emergência (IVE) e crescimento inicial de plântulas de girassol, por meio de análises da produção de matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST) e teores relativos de clorofila. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na cidade de Maracanaú, Ceará, Brasil, nos meses de janeiro e fevereiro de 2015. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com seis tratamentos (0; 20; 40; 60; 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup>), com cinco repetições de cada tratamento e dois tempos de coleta. Nas condições experimentais empregadas, verificou-se que as diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário, não interferiram no %E das plântulas de girassol. Os valores de MST e teores relativos de clorofila evidenciaram a possibilidade de aplicação do percolado como fonte de nutrientes para plântulas girassol.

**Palavras-chave** - Crescimento de plantas. *Helianthus annuus* L.. Percolado de aterro.

**Abstract** - Nowadays, one of the main problems of generation of the municipal solid waste is to find a adequate disposal to leachate of landfills. Its use in agriculture emerges as a possibility. However, studies are needed to verify the feasibility and possible phytotoxic effects of leachate. Therefore, the present study analyzed the effects of different sanitary landfill leachate concentrations on the emergency percentage (%E), emergency speed rate (ESR) and initial plant growth of sunflower seedlings by the analysis of the total fresh mass (TFM), total dry mass (TDM) and relative chlorophyll contents. The experiment was carried out under greenhouse conditions at Maracanaú city, Ceará, Brazil, at January and February of 2015. The experimental design was completely randomized, with six treatments (0; 20; 40; 60; 80 and 100 kg N ha<sup>-1</sup>), five replications each treatment and two harvests times. Under the present

experimental conditions, it was observed that the leachate did not affect the %E of sunflower seedlings. The TDM values and relative chlorophyll contents demonstrated the feasibility application of the leachate as a source of nutrients for sunflower seedlings.

**Key words:** Plant growth. *Helianthus annuus* L.. Percolated landfill.

## **Introdução**

Em todo o mundo, diversas são as problemáticas geradas pela destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Dentre elas, podemos citar os impactos ocasionados pela produção do chorume e do percolado, líquido resultante da ação dos agentes físicos, químicos e biológicos sobre os RSU em lixões e aterros (BORTOLIN e MALAGUTTI, 2010).

O percolado de aterro sanitário apresenta elevada quantidade de material orgânico e variada composição físico-química que depende da forma de disposição, manejo e idade do aterro (MANGIERI e TAVARES FILHO, 2015). Diante disso, encontrar uma destinação final para os RSU a fim de evitar a contaminação do solo e das águas superficiais ou subterrâneas pelo percolado, tornou-se um dos maiores desafios no gerenciamento dos aterros sanitários de resíduos urbanos (RIBEIRO *et al.*, 2015).

A existência de nutrientes como o nitrogênio no percolado de aterro sanitário, possibilita seu uso no cultivo de plantas e pode se tornar uma solução para a disposição final deste produto dos RSU (SHALINI e JOSEPH, 2012). Nesta perspectiva, alguns autores ao utilizarem lodo de esgoto e águas residuais urbanas para o cultivo de plantas, encontraram melhorias nos parâmetros de crescimento (LOBO e GRASSI FILHO, 2007; NOBRE *et al.*, 2010; NASCIMENTO *et al.*, 2013).

Além de racional, verificar a possibilidade de utilização do percolado de aterro sanitário como fonte de nutrientes para plantas, é uma forma de melhorar a estrutura do

solo, fornecendo nutrientes e reduzindo os gastos com fertilizantes químicos (FUNASA, 2007). Porém, fazem-se necessários estudos dos efeitos da aplicação do percolado de aterro sanitário nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas.

Originário da América do Norte, o girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta do grupo das oleaginosas que tem sido cultivada em grandes áreas por todo o mundo, objetivando o consumo humano e animal. Além disso, a extração de óleo torna a cultura importante para a produção de biocombustíveis (CAMPOS *et al.*, 2015). A preferência pela planta se dá, em maior parte, pela boa adaptação aos diferentes tipos de clima e solos, além de características que a diferencia da maioria das culturas, como resistência à seca, ao frio e ao calor (DUTRA *et al.*, 2012).

Diante disso, para garantir uma produção sustentável de biodiesel a partir de oleaginosas como o girassol, é preciso desenvolver sistemas de cultivos inovadores como um passo importante no sentido de alcançar a viabilidade dos biocombustíveis em longo prazo (TSOUTSOS *et al.*, 2013).

Dessa forma, o presente trabalho buscou analisar os efeitos da utilização de diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário sobre parâmetros de germinação, de crescimento e teores de clorofila de plântulas de girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivar BRS 323.

## **Material e Métodos**

### **Condições experimentais, material vegetal e tratamentos**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada na cidade de Maracanaú, no estado do Ceará, Brasil, nos meses de janeiro e fevereiro de 2015. Os

valores médios de temperatura e umidade relativa do ar foram, respectivamente, 26,6 °C e 65% durante o dia.

As sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar BRS 323, foram cedidas pela Embrapa, Produtos e Mercados – Escritório Dourados, MS, Brasil. Inicialmente, após seleção e desinfecção com hipoclorito de sódio a 0,7%, as sementes foram semeadas, em vasos de plástico de 5L, preenchidos com areia de granulometria fina (NBR 6502). Durante o experimento, foram realizadas regas diárias, mantendo-se a umidade próxima a 70% da capacidade de campo do substrato.

O percolado de aterro sanitário foi coleta no mês de Setembro de 2014, no Aterro Metropolitano Oeste de Caucaia – ASMOC, na 3ª lagoa de estabilização (aeróbica facultativa) próxima ao vertedouro, localizado em Caucaia, Ceará, Brasil. Os volumes de percolado aplicados em cada tratamento foram definidos com base no teor de nitrogênio total (N-total) da amostra após análises físico-químicas realizadas no Laboratório de Solos/Água, UFC/ FUNCEME (Tabela 1), e aplicadas proporcionalmente nos vasos ao correspondente a um hectare nas condições de campo em quatro aplicações, uma de base e três de cobertura. Os valores foram respectivamente: 0; 20; 40; 60; 80; e 100 kg N ha<sup>-1</sup>. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com seis tratamentos (0; 20; 40; 60; 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup>) e cinco repetições, sendo cada uma das repetições constituídas por um vaso com 20 sementes.

Tabela 1 - Caracterização físico-química do percolado de aterro sanitário utilizado no experimento

Table 1 - Physico-chemical characterization of the sanitary landfill leachate used in the experiment

Caracterização físico-química do percolado de aterro sanitário											
mg L <sup>-1</sup>							µg L <sup>-1</sup>				
DBO	DQO	N-t	P-t	Fe <sup>+2</sup>	Zn	Mn	Cu	Cd	Cr	Pb	Ni
187,7	1545	364	4,9	3,2	4,3	2,2	90,4	1,0	21,8	<10	103
mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>							--		dS m <sup>-1</sup>		
RAS	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>		pH	C.E.			
6,0	29,5	36,9	24,2	49,2	72,4		8,5	12,2			

**DBO:** demanda bioquímica de oxigênio; **DQO:** demanda química de oxigênio; **N-t:** nitrogênio total; **P-t:** fósforo total; **RAS:** razão de adsorção de sódio; **C.E.:** condutividade elétrica.

### Análises de parâmetros germinativos

Para as determinações do índice de velocidade de emergência (IVE) e do percentual de emergência (%E), diariamente foram registrados os números de sementes emergidas até os 7 dias após a semeadura (DAS), momento no qual não houve mais emergência de plântulas.

Para as determinações do IVE, foi empregada a equação propostas por Maguire (1962):

$$IVE = (E_1/N_1) + (E_2/N_2) + (E_3/N_3) \dots (E_n/N_n), \text{ onde:}$$

-  $E_1, E_2, E_3, \dots E_n$  = número de plântulas emergidas e computadas da primeira à última contagem;

-  $N_1, N_2, N_3, \dots N_n$  = número de dias da semeadura da primeira à última contagem.

A %E, foi calculada utilizando-se a equação proposta por Labouriau e Valadares (1976):

$$\% E = (G_1/G) \times 100$$

onde:

- $G_1$  = número total de plântulas emergidas;
- $G$  = número total de sementes colocadas para germinar.

### **Coleta do material vegetal**

Após as análises de parâmetros germinativos, realizou-se o desbaste mantendo apenas duas plântulas por vaso, constituindo, portanto, uma unidade experimental. Foram realizadas duas coletas de material vegetal aos 15 e 30 DAS, cada uma com cinco unidades experimentais.

Foram estimados os teores relativos de clorofila com um medidor portátil – Minolta SPAD – 502, Osaka, Japão (utilizando-se a primeira folha completamente expandida a contar do ápice). Na mesma ocasião, as plântulas foram pesadas em balança analítica para a determinação da matéria fresca total (MFT). Em seguida, o material vegetal foi deixado em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C, até atingirem peso constante para a determinação da matéria seca total (MST).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 6 concentrações de percolado de aterro sanitário (0; 20; 40; 60; 80 ou 100 kg N ha<sup>-1</sup>) e 2 períodos de coleta (15 e 30 DAS), contendo 5 repetições com duas plantas por repetição. Os dados de cada coleta foram submetidos à análise de variância (ANOVA) independentemente e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) através do programa Sigma Plot 11.0.

### **Resultados e Discussão**

A análise de variância - Anova (Tabela 2) dos parâmetros de emergência revelou que o uso do percolado de aterro sanitário afetou de forma significativa a 1% de probabilidade o índice de velocidade de emergência (IVE). No entanto, não houve

alterações significativas sobre o percentual de emergência (%E). Já em relação à produção de matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST) e teores relativos de clorofila (CL) aos 15 e 30 dias após a semeadura (DAS), os dados de Anova (Tabela 3) revelaram que o percolado de aterro influenciou de maneira significativa a 1% de probabilidade todas as variáveis analisadas.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as variáveis estudadas durante a emergência de plântulas de girassol (*Helianthus annuus* L.) submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário

Table 2 - Summary of analysis of variance for the studied variables during the emergence of sunflower seedlings (*Helianthus annuus* L.) under different concentrations of sanitary landfill leachate

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio	
		%E	IVE
Tratamento	5	0,0	0,41*
Erro	24	0,0	0,08
Total Corrigido	29	-	-
CV (%)	-	0,0	4,3

%E: percentual de emergência; IVE: índice de velocidade de emergência; GL: grau de liberdade e CV:

coeficiente de variação; \* significativo a 1% de acordo com o teste de Tukey

%E: emergency percentage; IVE: emergency speed rate; GL: degree freedom and CV: coefficient of variation; \* significant at 1% according to Tukey's test

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para as variáveis estudadas durante o crescimento inicial de plântulas de girassol (*Helianthus annuus* L.) submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário

Table 3 - Summary of analysis of variance for the studied variables during the initial seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under different concentrations of sanitary landfill leachate

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio					
		MFT (g)		MST (g)		CL (Índice SPAD)	
		15DAS	30DAS	15DAS	30DAS	15DAS	30DAS
<b>Tratamento</b>	5	1,15*	17,2*	0,0057*	0,36*	19,56*	72,19*
<b>Erro</b>	24	0,0004	0,036	0,0002	0,0013	0,436	0,411
<b>Total Corrigido</b>	29	-	-	-	-	-	-
<b>CV (%)</b>	-	3,51	4,11	8,93	5,69	2,36	2,18

MFT: matéria fresca total; MST: matéria seca total; CL :teores relativos de clorofila; GL: grau de

liberdade e CV: coeficiente de variação; \* significativo a 1% pelo teste de Tukey

MFT: total fresh mass; MST: total dry mass; CL: relative chlorophyll contents; GL: degree freedom and

CV: coefficient of variation; \* significant at 1% significant at 1% by the Tukey's test

O percolado de aterro sanitário nas diferentes concentrações aplicadas não promoveu alterações no percentual de emergência das plântulas (%E) de girassol nas condições experimentais empregadas. Aos 7 DAS, 100% das plântulas emergiram em todos os tratamentos (Figura 1).

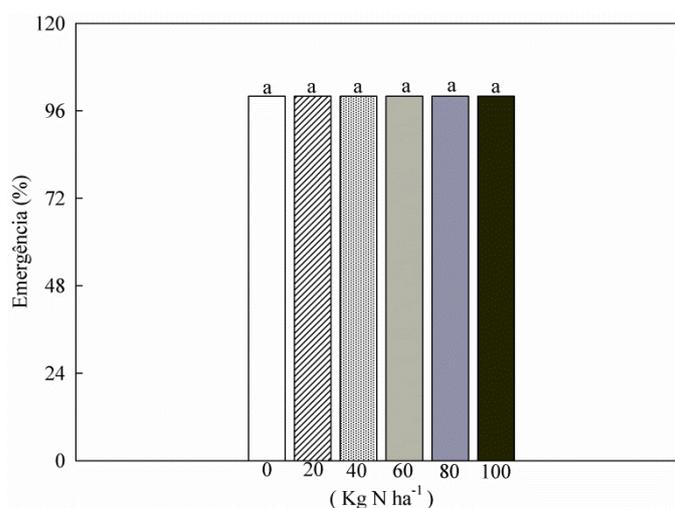


Figura 1 - Percentual de emergência do solo de plântulas de girassol cultivar BRS 323 submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário. As barras representam os valores das médias de

5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos, de acordo com teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

Figure 1 - Soil emergency percentage of sunflower seedlings genotype BRS 323 under different sanitary landfill leachate concentrations. Bars represent the mean of 5 replicates. Values followed by different letters represent statistical differences between treatments according to Tukey's test ( $p \leq 0.05$ )

Diferentemente do presente trabalho, Tong e Wong (1984), verificaram efeitos inibitórios na germinação de plantas de *Brassica chinensis* e *Cynodon dactylon* irrigadas com percolado diluído em água em concentrações acima de 25%. Adicionalmente, os autores atribuíram os efeitos nocivos do percolado aos elevados teores de metais pesados. Contudo, em concentrações de 5 e 10%, a presença de componentes orgânicos no percolado em concentrações adequadas ocasionaram maior percentual de germinação da planta *Cynodon dactylon* em relação ao controle.

Semelhantemente, Cheng e Chu (2007), encontraram maiores percentuais de germinação em plantas de *Brassica chinensis* e *Lolium perene* submetidas às baixas concentrações do percolado. Segundo os autores, o percolado em maiores diluições fornece uma carga nutricional adequada. Além disso, a diluição torna menores as concentrações das substâncias fitotóxicas.

A presença de metais pesados e outros elementos tóxicos em alguns tipos de resíduos tem sido a principal barreira na utilização desses materiais no cultivo de plantas (ROCHA *et al.*, 2013). Trabalhos realizados com outros tipos de resíduos (BETTIOL e GHINI, 2011; SILVA *et al.*, 2013) comprovaram o aumento nos teores de metais pesados do solo, havendo, portanto, a necessidade de serem realizados tratamentos e/ou neutralização antes e após a aplicação na agricultura.

Perante o exposto, sugere-se no presente trabalho que a concentração de metais aplicada juntamente com o percolado tenha sido baixa (Tabela 1), de modo que não foram observadas inibições em seu %E.

Alterações decorrentes da aplicação do percolado somente foram verificadas na análise do IVE (Figura 2). Para esse parâmetro, foi observada uma redução significativa no tratamento de 60 kg N ha<sup>-1</sup> em relação ao tratamento controle (ausência de percolado de aterro sanitário).

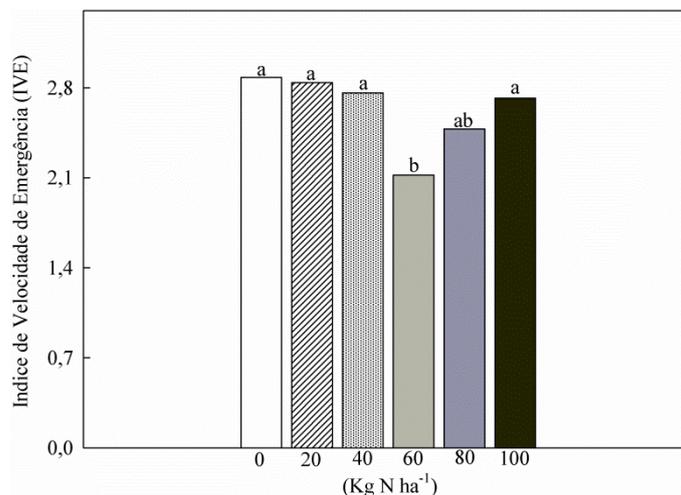


Figura 2. Índice de velocidade de emergência de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário. As barras representam os valores das médias de 5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos, de acordo com teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

Figure 2 - Emergency speed rate of sunflower seedlings under different sanitary landfill leachate concentrations. Bars represent the mean of 5 replicates. Values followed by different letters represent statistical differences between treatments according to Tukey's test ( $p \leq 0.05$ )

O IVE está associado ao vigor das sementes. Dessa forma, podemos sugerir que os resultados encontrados no presente trabalho, provavelmente foram decorrentes dos efeitos negativos do percolado nos estágios iniciais de germinação. Assim, este resultado pode sugerir aumento da vulnerabilidade das plântulas às condições adversas, o que poderia acarretar em aumento do tempo necessário para estabelecimento das plântulas (GAZOLA *et al.*, 2013).

Apesar dos efeitos inibitórios do percolado no IVE, não foram verificadas anormalidades nas plântulas em nenhum dos tratamentos. Adicionalmente, aos 15 e 30 DAS, as análises visuais das plântulas evidenciaram um maior crescimento nos tratamentos que receberam maiores concentrações de percolado de aterro sanitário (Figura 3.)



Figura 3 - Plântulas de girassol aos 15 e 30 dias após sementeira (DAS), crescendo sob diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário em condições de casa de vegetação

Figure 3 - Sunflower seedlings at 15 and 30 days after sowing (DAS) growing under different concentrations of sanitary landfill leachate under greenhouse conditions

Para a produção de matérias frescas (MFT) e secas (MST) totais (Figura 4A e 4B), os valores obtidos demonstraram maiores incrementos nos tratamentos com maiores concentrações do percolado, destacando-se os tratamentos de 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Ao final do período de análise (30 DAS), as diferenças dos tratamentos 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup> em relação ao controle (ausência de percolado de aterro sanitário) foram de 265 e 295% para MFT e de 146 e 247% para MST, respectivamente.

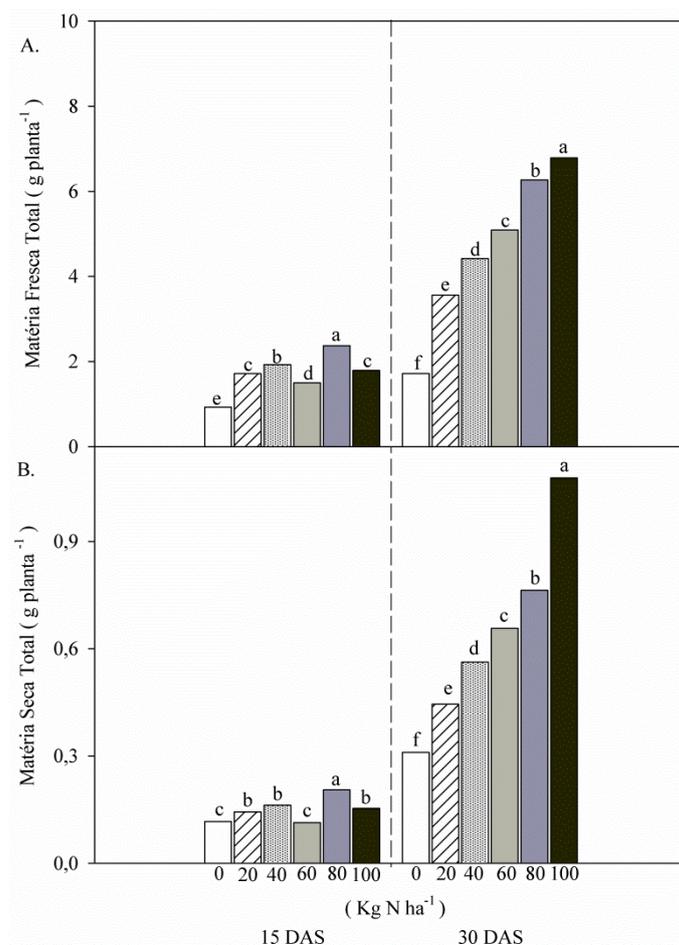


Figura 4 - Matérias fresca (A) e seca (B) totais aos 15 e 30 dias após sementeira de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolato de aterro sanitário. As barras representam os valores das médias de 5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

Figure 4 – Total Fresh (A) and dry (B) masses at 15 and 30 days after sowing of sunflower seedlings under different sanitary landfill leachate concentrations. Bars represent the mean of 5 replicates. Values followed by different letters represent statistical differences between treatments according to Tukey's test ( $p \leq 0.05$ )

Os resultados encontrados sugerem que o percolato, nas condições experimentais empregadas, foi capaz de fornecer às plântulas, nitrogênio e outros macro e micronutrientes nas proporções necessárias a acumulação de matéria. Os resultados foram semelhantes aos descritos por Barboza *et al.* (2010) em experimentos utilizando lodo de esgoto como fonte de nutrientes no cultivo de plantas de feijão. Os autores

observaram que, em concentrações mais elevadas ( $75 \text{ mg ha}^{-1}$ ) do resíduo, houve incrementos na matéria seca da parte aérea e das raízes em relação ao controle ( $0 \text{ mg ha}^{-1}$ ). Lobo *et al.* (2013), também verificaram uma maior produção de matéria seca em plantas de girassol com a utilização de lodo de esgoto em concentrações crescentes.

Assim como observado para a produção de matérias fresca e seca, os teores relativos de clorofila foram mais elevados nos tratamentos com 80 e  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Figura 5), sendo, aos 30 DAS, 50 e 33% superiores ao controle, respectivamente.

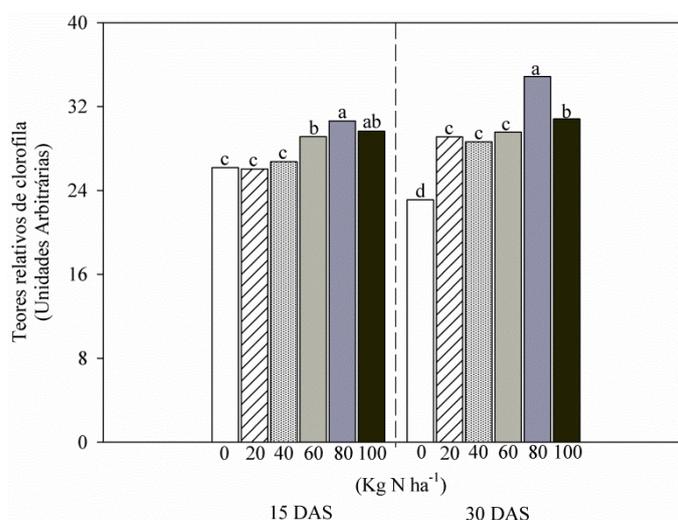


Figura 5 - Teores relativos de clorofila aos 15(A) e aos 30 (B) dias após sementeira de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolato de aterro sanitário. As barras representam os valores das médias. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

Figure 5 – Relative chlorophyll contents at 15 (A) and 30 (B) days after sowing of sunflower seedlings under different sanitary landfill leachate concentrations. Bars represent the mean of 5 replicates. Values followed by different letters represent statistical differences between treatments according to Tukey's test ( $p \leq 0.05$ )

O nitrogênio, por ser um dos constituintes da molécula de clorofila, seu fornecimento está associado aos teores de clorofila (COELHO *et al.*, 2010). Theago *et al.* (2014), em plantas de trigo, demonstraram haver uma relação direta entre o teor

clorofila e a quantidade de nitrogênio aplicado na planta. Podendo ser utilizada para avaliar o estado nutricional de plantas, quanto à deficiência do macro elemento.

## **Conclusões**

Diante do exposto, nas condições experimentais empregadas, os resultados verificados nos tratamentos com maiores concentrações do percolado, reforçaram a hipótese de que este pode ser utilizado como fonte de nutrientes no cultivo de plantas. Isto pôde ser constatado pelos aumentos nos teores relativos de clorofila e acúmulo de matérias fresca e seca.

## **Agradecimentos**

A EMBRAPA Produtos e Mercados por ter gentilmente cedido as sementes.

## **Literatura científica citada**

BARBOZA, R. S. L.; MESSIAS, A. S.; FIGUEIREDO, M. V. B.; LIMA, V. N.; REIS, O. V. Evaluation of potential sewage usage associated to the strain inoculation from *Bradyrhizobium spp.* in cowpea. **Global Journal of Management and Business Research**, v.10, n.3, p. 61-68, 2010.

BETTIOL, W.; GHINI, R.. Impacts of sewage sludge in tropical soil: A Case Study in Brazil. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2011, n.1, p. 1-11, 2011.

BORTOLIN, J. R. M.; MALAGUTTI FILHO W.. Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição

de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.4, p.367 – 374, 2010.

CAMPOS, V. B.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C.. Adubação com NPK e irrigação do girassol em luvisolo: comportamento vegetativo. **Revista Ambiente & Água**, v.10, n.1, p. 221-233, 2015.

CHENG CY, CHU LM. Phytotoxicity data safeguard the performance of the recipient plants in leachate irrigation. **Environmental Pollution**, v.145, n.1, p. 195-202, 2007.

COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. C. de C.. Doses de nitrogênio associado à produtividade de batata e índice do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.4, p. 1175-1183, 2010.

DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F. do; PAIM, L. R.; SCALON, S. de P. Q.. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.1, p. 2657-2668, 2012.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Aplicação controlada de água residuária e lodo de esgoto no solo, para melhorar e incrementar a agricultura do semiárido nordestino**. Brasília: FUNASA, 2007. 120p.

GAZOLA, R. N.; CASTILHO, R. M. M.; DINALLI, R. P.; CELESTRINO, T. S.; MÓDENA, C. M. Germinação e crescimento inicial de plântulas de pepino em substratos comerciais. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.7, n.3, p. 25-30, 2013.

LABORIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B.. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait. f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.48, n.2, p. 263-284, 1976.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la Ciencia del suelo y nutrición vegetal**, v.7, n.3, p. 16-25, 2007.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T.; KUMMER, A. C. B.. Efeitos do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p. 504-509, 2013.

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

MANGIERI, V. R. L.; TAVARES FILHO, J.. Disposição de resíduos sólidos no solo: efeito nos atributos físicos, químicos e na material orgânica. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.2, p. 747 – 764, 2015.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A.; ZUBA JUNIO, G. R.; CARNEIRO, J. P.; RODRIGUES, M. N.; ALBUQUERQUE, H. C.. Yield and nutrition of sunflower fertilized with sewage sludge stabilized by different processes. **Revista Ceres**, v.60, n.5, p. 683-689, 2013.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O.; NASCIMENTO, E. C. S.. Produção de girassol sob diferentes laminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.7, p. 747-754, 2010.

RIBEIRO, E. F.; BUSS, M. V.; MENESE, J. C. S. dos S.. Tratamento do chorume de aterro de resíduos sólidos urbanos utilizando o coagulante a base de tanino, tratamento biológico e ozonização. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v.2, n.2, p. 37 – 42, 2015.

ROCHA, I. T. M. da; SILVA, A. V. da; SOUZA, R. F. de; FERREIRA, J. T. P.. Uso de resíduos como fonte de nutrientes na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, n.5, p. 47-52, 2013.

SILVA, M. A. G. da; BULL, L. T.; MIGGIOLARO, A. E.; Antonangelo, J. A.; Muniz, A. S.. Fitodisponibilidade de metais utilizando ácidos orgânicos após sucessiva aplicação de resíduos no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.12, p. 1287-1295, 2014.

SHALINI, S. S.; JOSEPH, K. Nitrogen management in landfill leachate: Application of SHARON, ANAMMOX and combined SHARON–ANAMMOX process. **Waste Management**, v. 32, n.12, p. 2385 – 2400, 2012.

THEAGO, E. Q.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; MEGDA, M. M.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio influenciando teores de clorofila e produtividade do trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.6, p. 1826-1835, 2014.

TONG, S. T. Y.; WONG, M. H.. Biossay test of landfill leachate using *Brassica chinensis* and *Cynodon dactylon*. **Conservation & Recycling**, v.7, n.2-4, p. 283-294, 1984.

TSOUTSOS T, CHATZAKIS M, Sarantopoulos I, Nikologiannis A, Pasadakis N. Effect of wastewater irrigation on biodiesel from castor and sunflower oil seeds. **Renewable Energy**, v.57, p. 211- 215, 2013.

## **EXPERIMENTO II**

### **ARTIGO 3**

(Artigo submetido à Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental –  
Agriambi e aguardando parecer final dos revisores).

**Percolado de aterro sanitário como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plantas de girassol**

**Resumo:** O presente trabalho buscou analisar o crescimento inicial de plantas de girassol submetidos a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário, verificando a viabilidade da utilização deste como fonte de nutrientes para produção agrícola. Foram avaliadas variáveis biométricas e de vigor através das medidas de diâmetro do coleto, altura da parte aérea, número de folhas e produção de matérias frescas e secas das raízes e partes aéreas, no período de Janeiro a Fevereiro de 2015. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado disposto em arranjo fatorial com cinco concentrações de percolado (0; 40; 60; 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup>) x quatro períodos de coleta (14; 21; 25 e 29 dias após semeadura), contendo cinco repetições com duas plantas por repetição. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, regressão polinomial e as médias do último período de coleta comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Verificou-se que a utilização de percolado de aterro sanitário promoveu incrementos em todas as variáveis analisadas em relação ao controle (ausência de percolado), especialmente no tratamento de 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Não houve efeito inibitório do percolado no crescimento inicial das plântulas de girassol nas condições experimentais empregadas.

**Palavras-chave:** resíduo urbano, *Helianthus annuus* L., análise de crescimento

**Sanitary landfill leachate as a source of nutrients on the initial growth of sunflower plants**

**Abstract:** The aim of this study was to evaluate the initial growth of sunflower seedlings under different concentrations of sanitary landfill leachate, checking the feasibility of the use of the landfill liquid as nutrient on plant growth. It was evaluated biometric and vigor variables by measures of diameter, shoot length, leaves number, shoots and roots fresh and dry masses, from January to February 2015. The experimental design was completely randomized in a factorial: five leachate concentrations (0; 40; 60; 80 and 100 kg N ha<sup>-1</sup>) x four harvest periods (14; 21; 25 and 29 days after sowing), with five replicates containing two plants each one. The data were subjected to analysis of variance and polynomial regression, and the results of the last harvest (29 DAS) compared by the Tukey's test ( $P \leq 0,05$ ). It was found that the use of sanitary landfill leachate increased all analyzed variables in sunflower plants when compared to the control plants (no leachate), especially in the treatment of 100 kg N ha<sup>-1</sup>. There was no inhibitory effect of leachate in the initial growth of sunflower seedlings under the employed experimental conditions.

**Key words:** municipal waste, *Helianthus annuus* L., growth analysis

## INTRODUÇÃO

A destinação correta de resíduos sólidos urbanos (RSU) é um dos principais problemas ambientais do mundo (Yang et al., 2013). Os aterros sanitários consistem na alternativa aceita para a destinação do RSU dos centros urbanos em todo o mundo. Porém, são gerados subprodutos que podem ocasionar sérios danos ao ambiente, como o percolado que surge da interação da umidade com os resíduos compactados nas células dos aterros (Kirmizaks et al., 2014).

A matéria orgânica é um dos principais componentes do percolado, complementada por uma grande carga de metais pesados, que tende a diminuir seus efeitos tóxicos e biodisponibilidade com o passar do tempo (Xi et al., 2012).

O uso de RSU no cultivo de plantas tem sido analisado como uma possível alternativa à solução de destinação final do efluente. Avramidou et al. (2013), e Tzortzakis et al. (2012) utilizaram o percolado de aterro sanitário após compostagem e aplicaram sob a forma de fertirrigação às plantas.

Adicionalmente, o alto custo dos fertilizantes químicos estimula a busca por alternativas menos onerosas, como o uso de adubação orgânica proveniente de resíduos, oportunizando a utilização dos RSU (Karak et al., 2014).

A cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) figura no Brasil entre as espécies vegetais com maior potencialidade no fornecimento de matéria-prima para a produção de biocombustíveis (Freitas et al., 2012). Este fato deve-se, principalmente, ao alto teor de óleo em suas sementes e à ampla adaptabilidade da planta a diferentes climas e solos (Prado & Leal, 2006).

Diante do exposto, o presente trabalho buscou analisar o crescimento inicial de plântulas de girassol (*Helianthus annuus* L.) submetidos a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário em condições de casa de vegetação, verificando a viabilidade da utilização deste como fonte de nutrientes para produção agrícola.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O percolado utilizado no experimento foi coletado no mês de janeiro de 2015, no Aterro Sanitário Metropolitano Oeste da Caucaia (ASMOC) na 3ª lagoa de estabilização (aeróbica facultativa) próxima ao vertedouro, localizado em Caucaia – Ceará – Brasil. A

coleta do efluente obedeceu às normas de estocagem, manutenção e transporte de acordo com os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados (Tabelas 1 e 2).

Tabela. 1. Caracterização físico-química do percolado de aterro sanitário utilizado no experimento

Parâmetros Físico-Químicos												
mg L <sup>-1</sup>								µg L <sup>-1</sup>				
DBO	DQO	ST	N-t	P-t	Fe <sup>+2</sup>	Zn	Mn	Cu	Cd	Cr	Pb	Ni
187,7	1545	61	364	4,9	3,2	4,3	2,2	90,4	1,0	21,8	<10	103
mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>								--	dS m <sup>-1</sup>	UH		
RAS	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	C.E.	Cor		
6,0	29,5	36,9	24,2	49,2	72,4	2,1	54,8	8,5	12,2	2000		

Tabela 2. Análises microbiológicas

Atributos	Valores	Unidade
Coliformes Fecais	< 2	NMP 100 mL <sup>-1</sup>
Coliformes Totais	Ausência	NMP 100 mL <sup>-1</sup>

Dentre os resultados apresentados na análise físico-química, o percolado utilizado apresentou em sua composição alguns dos principais Macro (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Cl, Cu, Fe, Mn, Zn) requeridos na nutrição das plantas. Adicionalmente, parâmetros ambientais (como metais pesados), de condutividade elétrica e pH, apresentaram-se dentro de níveis aceitáveis, aos estabelecidos pela CETESB (2014).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na cidade de Maracanaú, (Latitude: 03° 52' 36" S, Longitude: 38° 37' 32" W e Altitude de 40m do nível do mar), Ceará, Brasil, no período de Janeiro a Fevereiro de 2015. Os valores

médios de temperatura e umidade relativa do ar na casa de vegetação foram, respectivamente, 26,6 °C e 65%.

As sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.) do cultivar BRS 323 foram cedidas pela Embrapa Produtos e Mercados – Escritório Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. Após seleção e desinfestação com solução de hipoclorito de sódio a 0,7%, as sementes foram semeadas em vasos de plástico de 5 L preenchidos com areia de granulometria fina (NBR 6502).

Foram realizadas quatro aplicações de percolado de aterro sanitário nos vasos: no momento da semeadura e aos 07, 14 e 21 dias após semeadura (DAS). Os volumes foram definidos com base no teor de nitrogênio (N) total da amostra (364 mg L<sup>-1</sup>) do percolado e aplicados proporcionalmente nos vasos a fim de corresponder a um hectare nas condições de campo. Os volumes de percolado aplicados resultaram nas seguintes doses de N expressos: em 0; 40; 60; 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup>. Durante o experimento, foram realizadas regas diárias, mantendo-se a umidade próxima a 70% da capacidade de campo do substrato.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado disposto em arranjo fatorial com cinco concentrações de percolado (0; 40; 60; 80 ou 100 kg N ha<sup>-1</sup>) x quatro períodos de coleta (14; 21; 25 ou 29 DAS), contendo cinco repetições com duas plantas por repetição, totalizando 100 unidades experimentais. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão polinomial utilizando-se o programa estatístico Sisvar 5.4 (Ferreira, 2010). Adicionalmente, para a última coleta (29 DAS), as médias foram submetidas a análise de variância individualmente e comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) através do programa Sigma Plot 11.0.

A coleta do material vegetal foi realizada aos 14; 21; 25 e 29 DAS, na ocasião, as plantas foram separadas em raiz, caule e folhas, para as determinações das matérias

frescas da raiz (MFR) e parte aérea (MFPA). Em seguida, o material vegetal foi deixado em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C, para as determinações das matérias secas das raízes (MSR) e parte aérea (MSPA).

Em cada coleta foram determinados os valores de diâmetro do coleto (DC), utilizando-se paquímetro digital (0,01 mm) com medição realizada na inserção do eixo epicótilo-hipocótilo; altura da parte aérea (APA), com régua graduada em centímetros, aferindo-se da superfície do solo ao último nó e número de folhas (NF) por contagem manual.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Anova (Tabela 3) revelou que o uso do percolado de aterro sanitário como fonte de N-total na adubação do girassol afetou de forma significativa ( $P \leq 0,01$ ) todas as variáveis analisadas, havendo interação entre as concentrações de N-total (tratamentos) e o tempo (dias após a semeadura).

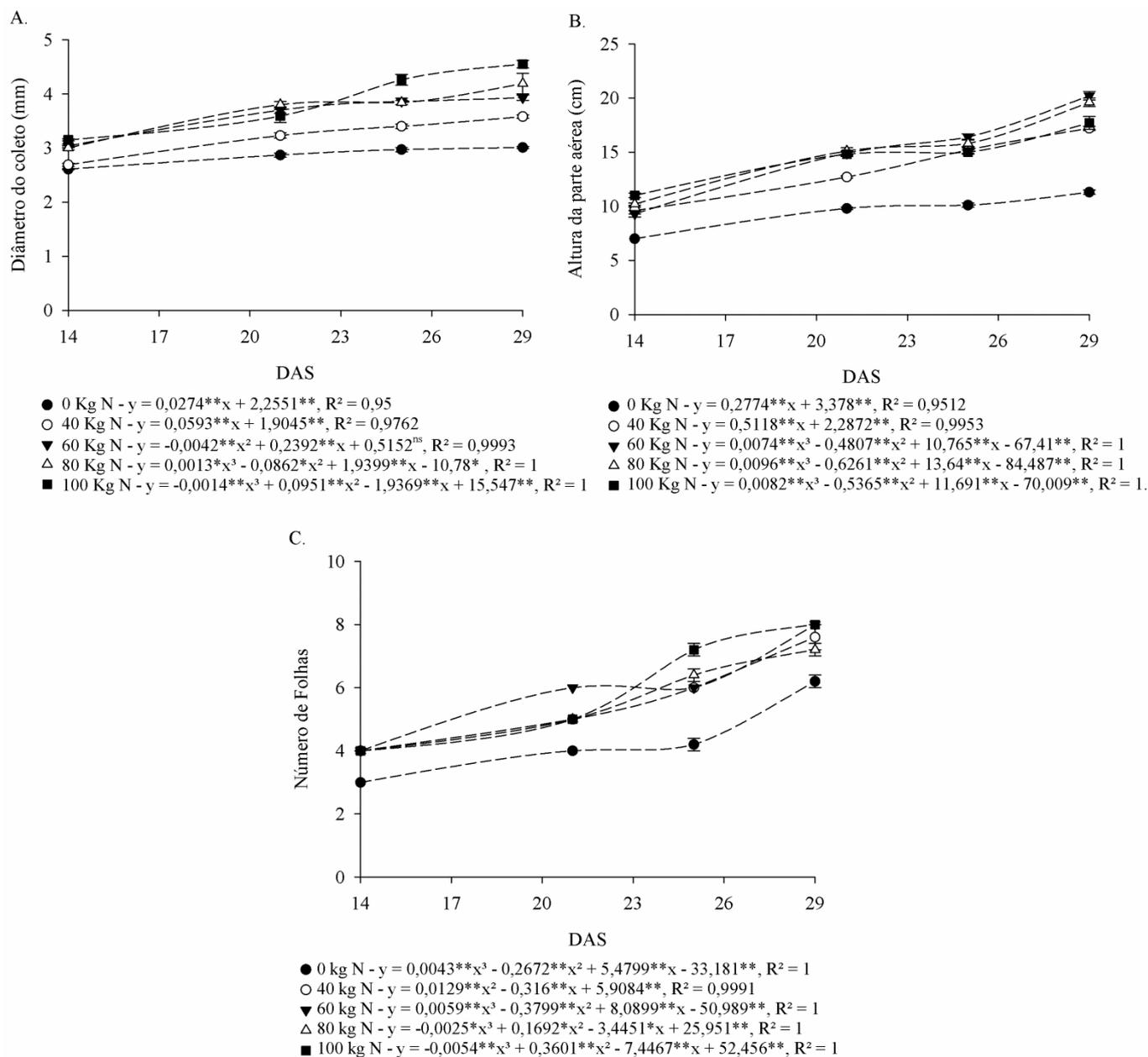
Tabela 3. Resumos das análises de variância referentes ao número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (APA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário como fonte de N-total ao longo do tempo

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio						
		NF	DC	APA	MFR	MFPA	MSR	MSPA
Tratamento	4	9,56**	3,4**	112,4**	1,0**	13,9**	0,01**	0,22**
Tempo	3	57,96**	4,25**	260,4**	3,76**	23,8**	0,06**	0,71**
Tratamento x Tempo	12	0,92**	0,18**	6,1**	0,25**	1,6**	0,0**	0,05**
Erro	80	0,09	0,02	0,39	0,0	0,0	0,0	0,0
Total Corrigido	99	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	5,5	4,3	4,6	8,1	3,7	10,1	7,1

\*\* significativo a 0,01 pelo teste F, GL: grau de liberdade e CV: coeficiente de variação

Na Figura 1 podem ser observadas as curvas de respostas das plântulas de girassol nas variáveis diâmetro do coleto (Figura 1A), altura da parte aérea (Figura 1B), e

número de folhas (Figura 1C) no decorrer do tempo. De modo geral, os tratamentos 60 e 100 kg N ha<sup>-1</sup> foram os que promoveram os maiores incrementos nas variáveis analisadas, sendo o modelo de regressão cúbica, aos quais estas melhor se ajustaram com coeficientes de ajuste R<sup>2</sup> = 1 no tratamento de 100 kg N ha<sup>-1</sup> para o diâmetro e número de folhas e 60 kg N ha<sup>-1</sup> para a altura da parte aérea.



\* significativo a 1% de probabilidade; \*\* significativo a 5% de probabilidade e <sup>ns</sup> não significativo. Os valores representam as média de 5 repetições ± os erros padrão

Figura 1. Diâmetro do coleto (A.), altura da parte aérea (B.) e número de folhas (C.) de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro

sanitário como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS)

Crescimentos sigmóides representam três estágios fisiológicos característicos de qualquer organismo vivo, e no caso de plantas, verificam-se crescimentos mais lentos no início, devido à estruturação do aparato fotossintético. Em seguida, ocorre um aumento no ritmo de crescimento com balanço positivo no acúmulo de matéria orgânica, até, finalmente, haver uma tendência à estabilização, ocasionado pela sobreposição de folhas mais antigas por folhas recém-formadas (Moraes & Palhano, 2002).

O N é um dos principais macronutrientes associados ao crescimento das plantas, baixas concentrações afetam de forma direta o número de folhas, área foliar, diâmetro do coleto e a altura (Silva et al., 2010). De maneira geral, as análises das variáveis: diâmetro do coleto (Figura 1A), altura da parte aérea (Figura 1B) e número de folhas (Figura 1C), demonstraram que a aplicação do percolado ao meio de crescimento promoveu o aumento destes quando comparados aos do tratamento controle.

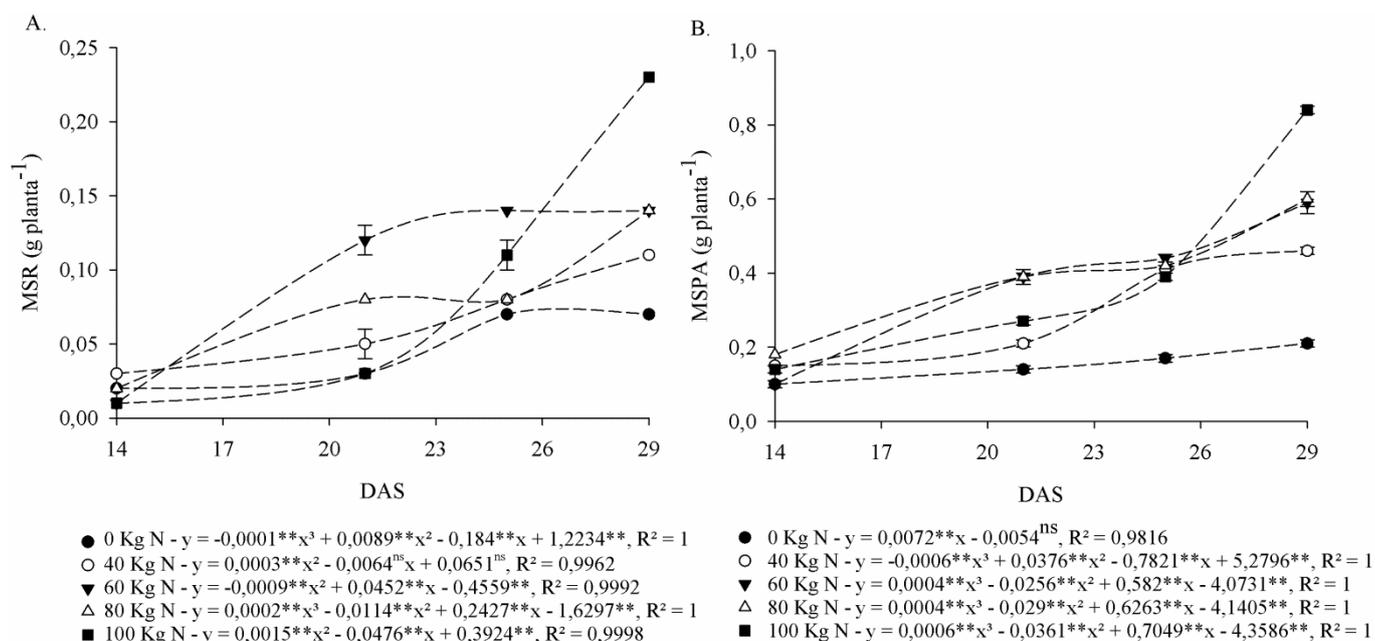
Para as mesmas variáveis, verificou-se incremento nos tratamentos 40, 60, 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup> em relação ao controle para todos os períodos de coleta. Contudo, as maiores diferenças observadas ocorreram aos 29 DAS no tratamento 60 kg N para a altura da parte aérea (78,5%), 100 kg N para os diâmetros dos coletos (50,8%) e 60 e 100 kg N quando analisados os números de folhas (29%).

Ante os resultados supracitados, podemos destacar o incremento no número de folhas, haja visto, sua importância no processo fotossintético, principalmente quando associado ao aumento da área foliar (Karadogan & Akgün, 2009).

Adicionalmente, no tratamento com 60 kg N ha<sup>-1</sup> (que corresponde a cerca de 160 mg L<sup>-1</sup> de N), ao estabelecermos uma razão entre o crescimento em altura das plantas e o número de folhas, verificaram-se incrementos de 8 cm na altura para cada 2,5 folhas

desenvolvidas pelas plantas. O resultado encontrado é semelhante ao descrito por Fagundes et al. (2007), em plantas de girassol adubadas com N comercial ( $150 \text{ mg L}^{-1}$  N). Os autores verificaram incrementos de 8 cm de altura para cada 3 folhas desenvolvidas.

Em relação, as variáveis de matéria seca, na Figura 2A (MSR), o tratamento com maiores incrementos teve sua curva de resposta estimada por equação quadrática ( $R^2 = 0,9992$ ). No entanto, quando verificada a MSPA (Figura 2B), a curva de resposta se ajustou à equação cúbica, assim como verificado para o diâmetro do coleto, altura da parte aérea e número de folhas.



\* significativo a 1% de probabilidade; \*\* significativo a 5% de probabilidade e <sup>ns</sup> não significativo. Os valores representam as média de 5 repetições  $\pm$  os erros padrão

Figura 2. Matéria seca da raiz (A.) e matéria seca da parte aérea (B.), de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS)

Nas variáveis de MSR e MSPA (Figura 2A e 2B), o tratamento de 100 kg N ha<sup>-1</sup>, foi o que obteve os melhores acúmulos de matéria ao final do período de coleta em relação ao controle, apresentando diferenças de 228 e 300%, respectivamente.

Os resultados aqui encontrados diferem dos descritos por Silva Filho et al. (2005), os autores analisaram o uso de percolado de aterro no cultivo de quatro espécies vegetais (*Arachis repen*, *Paspalum notatum*, *Pennisetum setaceum* e *Zoysia japônica*) com potencial para recuperação de áreas degradadas. Os autores observaram que concentrações crescentes de percolado diluídos em água proporcionaram quedas substanciais na produtividade.

A inibição no crescimento de plantas submetidas à adubação com resíduos orgânicos é comum, e normalmente está associado à toxicidade dos compostos. Muitos apresentam elevadas concentrações de metais pesados, que acabam por afetar o crescimento e o desenvolvimento de culturas que não são tolerantes a essa condição (Ataide et al., 2011).

Não há ainda no Brasil uma legislação específica para o uso de resíduos na agricultura (Rossol et al., 2012). Assim uma referência utilizada por alguns autores (Mendes et al. 2010; Santos et al., 2010) no monitoramento da carga de nutrientes e dos teores de metais pesados em resíduos aplicados na agricultura tem sido os do relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas da Companhia Paulista de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

Neste trabalho não foram verificadas inibições no crescimento das plantas de girassol em virtude da utilização de percolado. No entanto, isso pode estar relacionado a dois fatores: 1) A escolha do girassol (*Helianthus annus* L.), planta com reconhecida tolerância a muitos metais, considerada fitoextratora, o que possibilita seu uso inclusive na fitorremediação de solos contaminados (Boonyapookana et al. 2005), e, 2) Tendo

como base as concentrações iniciais de metais no percolado (Tabela 1), acredita-se que ao final do período experimental as concentrações presentes no substrato não tenham excedido os limites orientadores estipulados pela CETESB (2014).

A cultura do girassol possui em suas indicações de cultivo uma adubação mínima e máxima variando entre 40 e 80 kg N ha<sup>-1</sup> (Lobo et al. 2011). Dessa forma, os maiores valores apresentados pelo tratamento de 100 kg N ha<sup>-1</sup>, na maioria das variáveis analisadas, demonstra ser possível a aplicação de concentrações maiores do percolado (nas condições físico-químicas e estágio de desenvolvimento das plantas utilizados no presente trabalho). Porém, novos estudos e, principalmente, análises em campo são necessários.

Adicionalmente, os aumentos crescentes e diferenciais verificados nos tratamentos com concentrações de percolado (40; 60; 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup>) durante o período experimental sugerem a possibilidade de utilização do percolado (como fonte de N - total e outros macronutrientes) no cultivo de plantas de girassol, abrindo-se assim, uma possível alternativa para a destinação do resíduo.

## CONCLUSÕES

1. As variadas doses de percolado de aterro sanitário (quantidades utilizadas, condições físico-químicas e período de análise) utilizadas nos substratos de cultivo das plântulas de girassol promoveram incrementos em todas as variáveis analisadas em relação ao controle (ausência de percolado no substrato).

2. Nas condições experimentais empregadas, os valores de diâmetro, número de folhas e acúmulos de matéria seca no tratamento de 100 kg N ha<sup>-1</sup> mostraram ser possível a utilização de doses ainda maiores do percolado na produção agrícola.

**LITERATURA CITADA**

- Ataide, L. M. S.; Lopes, S. R.; Rosa, C. S.; Simões, D. A.; Tavares, K. G. Avaliação da fitotoxicidade de compostos orgânicos a partir de ensaios biológicos envolvendo sementes de tomate. *Scientia Plena*, v.7, p.1-12, 2011.
- Avramdou, P.; Evangelou, A.; Komolis, D.. Use of municipal solid waste compost as a growth media for na energy plant (rapessed). *Journal of Environmental Management*, v.121, p.152-159, 2013.
- Boonyapookana, B.; Parkplan P.; Techapinyawat, S.; Delaune, R. D.; Jugsujinda, A. Phytoaccumulation of lead by sunflower (*Helianthus annuus*), tobacco (*Nicotiana tabacum*), and vetiver (*Vetiveria zizanioides*). *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, v.40, p.117-137, 2005.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. *Diário Oficial Poder Executivo – Seção I, SP*, 124 (36), p.53, 2014.
- Fagundes, J. D.; Santiago, G.; Mello, A. M. de; Bellé, R. A.; Streck, N. A.. Crescimento, desenvolvimento e retardamento da senescência foliar em girassol de vaso (*Helianthus annus* L.): fontes e doses de nitrogênio. *Ciência Rural*, v.37, p. 987–993, 2007.
- Ferreira, D. F. Sisvar – Sistema de análise de variância. Versão 5.4. Lavras: UFLA, 2010.
- Freitas, C. A. S. de; Silva, A. R. A. de; Bezerra, F. M. L.; Andrade, R. R. de; Mota, F. S. B.; Aquino, B. F. de.. Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.1031–1039, 2012.
- Karadogan, T.; Akgün, Í.. Effect of leaf removal on sunflower yield and yield components and some quality characters. *Helia*, v.32, p.123-134, 2009.
- Karak, T.; Paul, R. K.; Sonar, I.; Sanyal, S.; Ahmed, K. Z.; Boruah, R. K.; Das, D. K.; Dutta, A. K. Chromium in soil and tea (*Camellia sinensis* L.) infusion: Does soil amendment with municipal solid waste compost make sense? *Food Research International*, v.64, p.114–124, 2014.

- Kirmizaks, P.; Tsamoutsoglou, C.; Kayan, B.; Kalderis, D. Subcritical water treatment of landfill leachate: Application of response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, v.146, p.9–15, 2014.
- Lobo, T. F.; Grassi filho, H.; Britto, I. C. A.. Efeito do nitrogênio na nutrição do girassol. *Biosci. J. Uberlândia*, v.27, p. 380–391, 2011.
- Mendes, A. M. S.; Duda, G. P.; Nascimento, C. W. A. do; Lima, J. A. G.; Medeiros A. D. L. Acúmulo de Metais Pesados e alterações químicas em cambiossolo cultivado com meloeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.791 – 796, 2010.
- Moraes, A.; Palhano, A. L. Fisiologia de produção de plantas forrageiras. In: Wachowicz, C. M.; Carvalho, R. I. N. *Fisiologia vegetal: produção e pós - colheita*. Curitiba: Champagnat, 2002. p.249-271.
- Prado, R. de M.; Leal, R. M.. Desordens nutricionais por deficiência em girassol var. Catissol – 01. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 36, p. 187 – 193, 2006.
- Rossol, C. D.; Filho, H. S.; Berté, L. N.; Jandrey, P. E.; Schwantes, D.; Gonçalves Junior, A. C.. Caracterização, classificação e destinação de resíduos da agricultura. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 11, p. 33-43, 2012.
- Santos, C. H.; Filho, H. G.; Santos, J. C.; Penteado, B. B.. Fertilidade do solo e nutrição de tangerinas Ponkan manejadas com resíduos sólidos e adubação química. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 75 – 83, 2010.
- Silva Filho, N. L. da S.; Freitas, N. P.; Teixeira, N. T.; Terra, R. A. da F.; Melo, E. C. N.; Tognocchi, S. Chorume na adubação de plantas com potencial de utilização para estabilização em aterros sanitários. *Ecosistema*, v.30, p.25–28, 2005.
- Silva, P. C. C.; Couto, J. L. do; Santos, A. R. dos. Efeitos dos íons amônio e nitrato no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva. *Revista FZVA, Uruguaiana*, v.17 p. 104 – 114, 2010.
- Tzortzakis, N.; Gouma, S.; Dagianta, E.; Saridakis, C.; Papamichalaki, M.; Goumas, D.; Manios, T.. Use of Fertigation and Municipal Solid Waste Compost for Greenhouse Pepper Cultivation. *The Scientific World Journal – Article – ID 973193*, 8 pages, 2012.
- Xi, B.; He, X.; Wei, Z.; Jiang, Y.; Li, D.; Pan, H.; Liu, H. The composition and mercury complexation characteristics of dissolved organic matter in landfill leachates with different ages. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.86, p.227–232, 2012.

Yang, N.; Damgaard, A.; Lu, F.; Shao, L.; Brogaard, L. K.; He, P.. Environmental impact assessment on the construction and operation of municipal solid waste sanitary landfills in developing countries: China case study. *Waste Management*, v. 34, p. 929 – 937, 2013.

## **EXPERIMENTO III**

### **ARTIGO 4**

(Artigo encontra-se formatado para submissão à revista IRRIGA - Brazilian Journal of Irrigation and Drainage).

**TROCAS GASOSAS EM PLÂNTULAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus*  
L.) SUPLEMENTADAS COM PERCOLADO DE ATERRO SANITÁRIO  
E SUBMETIDAS A ESTRESSE HÍDRICO**

**1 RESUMO**

O percolado gerado nos aterros sanitários é um dos maiores problemas da destinação de resíduos urbanos. Seu uso na agricultura surge como uma alternativa. Dessa forma, o presente trabalho buscou analisar o crescimento inicial e as trocas gasosas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico, através das variáveis de matéria fresca da raiz (MFR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca total (MFT), teores relativos de clorofila, condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ), taxa de fotossíntese líquida ( $A$ ); razão da concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_a$ ); eficiência no uso de água (EUA); eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_i$ ) e a taxa de transporte de elétrons (ETR). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado disposto em arranjo fatorial 2 (irrigadas ou não irrigadas) x 4 (areia; areia + adubo orgânico 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário 150 kg N ha<sup>-1</sup>), com cinco repetições. Verificou-se maior capacidade de aclimatação ao estresse hídrico nas plântulas de girassol que receberam o percolado de aterro sanitário. Houve maior produção de matéria fresca e maiores taxas fotossintéticas nos tratamentos suplementados com percolado a 100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>, tanto em condições controle como de estresse hídrico. No entanto, em condições de estresse hídrico, o tratamento suplementado com percolado a 100 kg N ha<sup>-1</sup> apresentou produção de matéria fresca mais elevada do que aquele contendo 150 kg N ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** análise de crescimento, fotossíntese, lixiviado de aterro sanitário, seca.

**GAS EXCHANGES IN SUNFLOWER SEEDLINGS (*Helianthus annuus* L.)  
SUPPLEMENTED BY SANITARY LANDFILL LEACHATE UNDER  
DROUGHT STRESS CONDITIONS**

**2 ABSTRACT**

The sanitary landfill leachate is one of the major problems generated at disposal of urban waste. Its use in agriculture it can be an alternative. Thus, this study aimed to analyze the initial plant growth and gas exchange in sunflower seedlings supplemented by sanitary landfill leachate and subjected to drought stress through variables of fresh root mass (FRM), shoot fresh mass (SFM), total fresh mass (TFM), relative chlorophyll contents, stomatal conductance ( $g_s$ ), transpiration rate ( $E$ ), net photosynthetic rate ( $A$ ); ratio internal and external  $\text{CO}_2$  concentration ( $C_i/C_a$ ); efficiency at the use water (EUA); instantaneous carboxylation efficiency ( $A/C_i$ ) and electron transport rate (ETR). The experimental design was completely randomized in a factorial two (irrigated and non-irrigated) x four (sand; sand + organic fertilizer 100 kg N ha<sup>-1</sup>; sand + sanitary landfill leachate 100 kg N ha<sup>-1</sup>; sand + sanitary landfill leachate 150 kg N ha<sup>-1</sup>) with five replicates. It was observed a higher acclimation capacity to drought stress in sunflower seedlings that received the sanitary landfill leachate.

There was a higher production of fresh mass and higher photosynthetic rates in plants supplemented by sanitary landfill leachate at 100 and 150 kg N ha<sup>-1</sup> under both conditions, control or drought stress. However, under drought stress conditions, the treatment supplemented by sanitary landfill leachate at 100 kg N ha<sup>-1</sup> produced higher fresh mass than the treatment containing 150 kg N ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** water stress, landfill leachate, photosynthesis, growth analysis

### 3 INTRODUÇÃO

Fatores como o clima, a seca e a salinidade estão entre os principais responsáveis por limitações no crescimento, no desenvolvimento e no rendimento das plantas (KRASENSKY; JONAK, 2012). Deste modo, estudos das respostas fisiológicas das plantas aos diferentes tipos de estresses vêm sendo realizados objetivando a formulação de estratégias de manejo e a seleção de genótipos mais tolerantes em diversas culturas (OTTO et al., 2013). Além disso, em regiões tropicais, é comum às culturas agrícolas serem afetadas por fatores de ordem nutricional, hídrica e de temperatura (SILVA et al., 2012).

A disponibilidade de água é o fator que mais influencia a distribuição espacial e a capacidade de sobrevivência das plantas aos diferentes ambientes (POU et al., 2012). De acordo com Alvarega et al. (2011), o estresse hídrico ocorre devido a uma redução na disponibilidade de água no seu estado termodinamicamente apropriado para a planta. Podendo levar ao fechamento dos estômatos, com posterior senescência e abscisão foliar, e a perda de produtividade.

De maneira adicional, estudos demonstram que o déficit hídrico atua negativamente sob os diversos aspectos do crescimento das plantas (anatômicos, morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares), variando em diferentes espécies, de acordo com a duração, severidade e estágio de desenvolvimento (BEZERRA et al., 2003; VITORINO; MARTINS, 2012). O fechamento dos estômatos, é a resposta fisiológica inicial de uma planta sob condições de estresse hídrico, e tem como objetivo reduzir a taxa transpiratória. Além disso, as plantas são capazes de promover uma redução do potencial osmótico das raízes, que possibilita a redução do potencial hídrico e a manutenção da turgescência celular (GUIMARÃES et al., 2011; FERRARI et al., 2015).

No entanto, o fechamento dos estômatos poderá ocasionar efeitos diretos sobre a atividade fotossintética, através da diminuição da disponibilidade de CO<sub>2</sub> para o Ciclo de Calvin-Benson. Assim, ocorre diminuição da oxidação de NADPH produzido na fase fotoquímica da fotossíntese elevando a razão NADPH/NADP<sup>+</sup>. Neste caso, a ferredoxina reduzida produzida durante o transporte de elétrons na fase fotoquímica pode transferir seus elétrons para o O<sub>2</sub> no fotossistema I, levando à formação de radicais superóxido ( $\text{O}_2^-$ ). Consequentemente, esse fenômeno pode ocasionar estresse oxidativo resultante da formação excessiva de espécies reativas de oxigênio – ROS (do inglês Reactive Species Oxygen) causando danos ao aparato fotossintético (SHARMA et al., 2012; BARBOSA et al., 2014).

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta com grande adaptação às diferentes condições edafoclimáticas e apresenta características agronômicas singulares, em relação à maioria das espécies cultivadas no Brasil (DUTRA et al., 2012). Tolerante à seca, com ciclo de vida curto, boa produtividade de grãos e alto rendimento de óleo, a cultura desponta como uma boa opção de cultivo para o semiárido nordestino brasileiro (VIANA et al., 2012).

Em condições semiáridas, devido ao regime irregular de chuvas e à baixa fertilidade dos solos, as plantas podem enfrentar situações de estresse hídrico e nutricional (SELMAR; KLEINWÄCHTER, 2013). Uma das alternativas para a agricultura nessas regiões vem sendo o uso de águas com qualidade inferior ou residual na irrigação (LIRA et al., 2015). De maneira adicional, a presença de matéria orgânica e outros elementos na maioria dos efluentes é tida como uma alternativa para o fornecimento de nutrientes e a promoção de melhorias na aclimação das plantas às condições de semiaridez (FIRMINO et al., 2015).

O percolado de aterro sanitário é um exemplo de efluente líquido altamente contaminado, de difícil tratamento, e sua destinação final é um dos maiores problemas ambientais na atualidade na gestão dos resíduos sólidos (RIGUETTI et al., 2015). No entanto, a presença no percolado de macro e micronutrientes, comumente usados na nutrição de plantas, sugere ser possível o seu aproveitamento na agricultura (MATOS et al., 2013), principalmente em culturas destinadas à produção de biomassa e/ou biocombustíveis.

Perante o exposto, e dado o reduzido número de informações sobre os efeitos da aplicação de percolado de aterro sanitário na agricultura, o presente trabalho buscou analisar o crescimento inicial e os parâmetros de trocas gasosas em plantas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a déficit hídrico, através de avaliações dos parâmetros de matéria fresca (da raiz, da parte aérea e total), teores relativos de clorofila, condutância estomática, taxa de transpiração, taxa de fotossíntese líquida; razão da concentração interna e externa de CO<sub>2</sub>; eficiência no uso de água; eficiência instantânea de carboxilação e a taxa de transporte de elétrons.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Coleta e caracterização do percolado de aterro sanitário.**

O percolado utilizado no experimento foi coletado no mês de agosto de 2015, no Aterro Sanitário Metropolitano Oeste da Caucaia (ASMOC) na 3ª lagoa de estabilização (aeróbica facultativa) próxima ao vertedouro, localizado no município de Caucaia, Ceará, Brasil. A coleta do efluente obedeceu às normas de estocagem, manutenção e transporte de acordo com os parâmetros físico-químicos analisados (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do percolado de aterro sanitário utilizado no experimento

**N-t:** nitrogênio total; **P-t:** fósforo total; **C/N:** razão carbono nitrogênio; **C.O.T.:** carbono orgânico total; **C.E.:**

mg L <sup>-1</sup>											
N-t	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	P-t	Fe <sup>+2</sup>	Zn	Mn	Cu	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C/N	C.O.T.
504	323	153	19	7,9	16,1	22,3	24,5	1,5	18,1	1,39	660
mg L <sup>-1</sup>									--	dS m <sup>-1</sup>	--
K <sub>2</sub> O	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH		C.E.	RAS
2.196	1.800	234,6	54	58,5	2.428,5	96	231,8	7,8		7,6	5,37

condutibilidade elétrica; **RAS:** razão de adsorção de sódio.

#### 4.2 Condições experimentais, tratamentos, coleta e análise dos dados

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na cidade de Maracanaú, Ceará, Brasil, no período de Setembro a Outubro de 2015. Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar durante o dia, foram, respectivamente, 32,1 °C e 52%.

As sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.) do cultivar BRS 323 foram cedidas pela Embrapa Produtos e Mercados – Escritório Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. Após seleção e desinfestação com solução de hipoclorito de sódio a 0,7%, as sementes foram semeadas em vasos de plástico de 5 L preenchidos proporcionalmente com: 1) areia de granulometria fina (NBR 6502), (controle negativo); 2) areia + adubo/fertilizante orgânico comercial misto Fértil Vida (11,8% de nitrogênio – N) aplicado proporcionalmente ao correspondente a 100 kg N ha<sup>-1</sup> (controle positivo); 3) areia + percolado de aterro sanitário aplicado proporcionalmente ao correspondente a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; 4) areia + percolado de aterro sanitário aplicado proporcionalmente ao correspondente a 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Durante o experimento, as plantas foram submetidas a regas diárias próximas a 70% da capacidade de campo do substrato.

Decorridos 16 dias após a semeadura (DAS), metade de cada grupo de plantas de cada tratamento, foi submetido à suspensão da rega. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado disposto em arranjo fatorial 2 (irrigadas ou não irrigadas) x 4 (areia; areia + adubo orgânico 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário 150 kg N ha<sup>-1</sup>), com cinco repetições, cada uma constituída de um vaso com duas plantas.

Transcorridos 5 dias após suspensão da irrigação, determinaram-se as trocas gasosas por meio de um analisador portátil de gás no infravermelho, IRGA, modelo LI-6400 - XT (LI-COR). Em todas as plantas, adotou-se como parâmetro, a primeira folha completamente expandida a contar do ápice, no período entre 09:00 e 11:00 horas da manhã.

Foram analisados os seguintes parâmetros: condutância estomática ( $g_s$ ); taxa de transpiração ( $E$ ); taxa de fotossíntese líquida ( $A$ ); razão da concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> ( $C_i/C_a$ ); eficiência instantânea no uso de água (EUA) ( $A/E$ ); eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_i$ ) e a taxa de transporte de elétrons (ETR).

Aos 5 e 7 dias após suspensão da irrigação, foram estimados os teores relativos de clorofila com um medidor de portátil – Minolta SPAD – 502, Osaka, Japão (utilizando-se a primeira folha completamente expandida a contar do ápice). Adicionalmente, as plântulas foram coletadas, separadas em raiz, caule e folhas, pesadas em balança analítica e determinadas a matéria fresca da raiz (MFR), matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria fresca total (MFT).

Os dados de cada período de coleta foram independentemente submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do programa Sigma Plot 11.0.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Produção de matéria fresca e teores relativos de clorofila

A análise de variância demonstrou ter havido interações entre os fatores substratos utilizados no cultivo e irrigação (T x I), de maneira significativa a 1% de probabilidade nos parâmetros matéria fresca da raiz (MFR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca total (MFT) e teores relativos de clorofila (CL) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumos das análises de variância das matéria frescas da raiz (MFR), parte aérea (MFPA), total (MFT) e teores relativos de clorofila (CL) de plantas de girassol em diferentes substratos (areia; areia + adubo/fertilizante orgânico comercial misto a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 150 kg N ha<sup>-1</sup>) sob condições controle e estresse hídrico aos 5 e 7 dias após a suspensão da irrigação.

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio							
		MFR		MFPA		MFT		CL	
		5 Dias	7 Dias	5 Dias	7 Dias	5 Dias	7 Dias	5 Dias	7 Dias
<b>Tratamento (T)</b>	3	2,71*	3,08*	86,95*	100,43*	154,58*	133,98*	648,48*	499,36*
<b>Irrigação (I)</b>	1	1,21*	4,77*	8,48*	92,63*	0,67*	155,79*	72,09*	33,23*
<b>T x I</b>	3	0,07*	0,83*	3,49*	44,81*	18,80*	50,35*	13,35*	27,10*
<b>Erro</b>	32	0,008	0,02	0,050	0,127	0,056	0,151	1,284	1,474
<b>Total Corrigido</b>	39	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CV (%)</b>	-	6,73	8,99	4,20	5,61	3,26	4,89	3,81	4,20

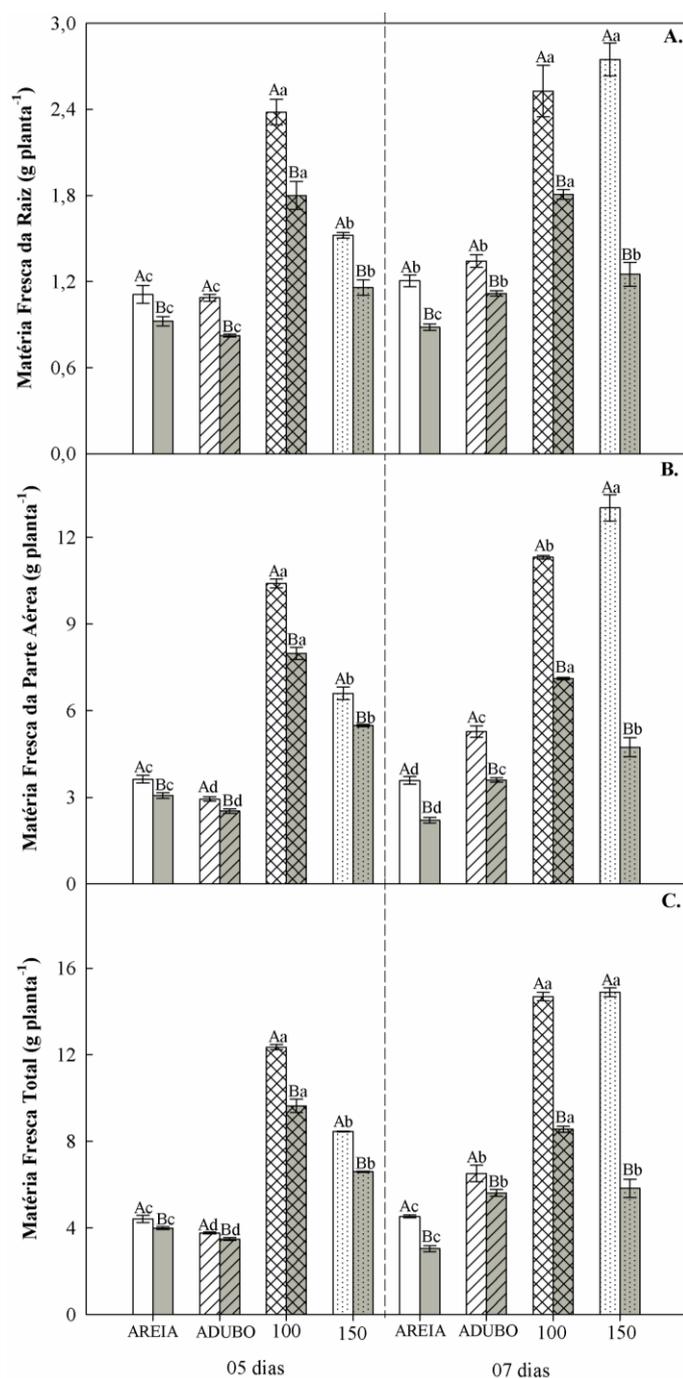
MFR = matéria fresca da raiz; MFPA = matéria fresca da parte aérea; MFT = matéria fresca total; CL = teores relativos de clorofila; \* $P \leq 0,001$ .

De maneira geral, nas duas condições, irrigadas e não irrigadas, verificaram-se maiores incrementos de matéria fresca nos tratamentos que receberam o percolado de aterro sanitário (areia + percolado de aterro sanitário a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 150 kg N ha<sup>-1</sup>) (Figura 1). Com diferenças significativas do

tratamento 100 kg N ha<sup>-1</sup> em relação aos tratamentos areia e adubo nos dois períodos de coleta e situações de rega.

Aos 7 dias sob condições de estresse hídrico, constatou-se que o tratamento areia + percolado de aterro sanitário a 100 kg N ha<sup>-1</sup> apresentou maiores valores de matéria fresca em relação aos tratamentos areia e adubo, com diferenças significativas de 105 e 61,6% para a MFR (Figura 1A); 222 e 97,5% para a MFPA (Figura 1B) e 181 e 52,3% para a MFT (Figura 1C), respectivamente.

**Figura 1.** Matéria fresca das raízes (A), parte aérea (B) e total (C) de plantas de girassol sob condições controle (barras brancas) e estresse hídrico (barras cinzas) aos 5 e 7 dias após suspensão da irrigação. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas ao tipo de irrigação (controle e estresse), enquanto que diferentes letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os substratos (areia; areia + adubo/fertilizante orgânico comercial misto a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 150 kg N ha<sup>-1</sup>) de acordo com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas independentemente em cada coleta. As barras representam os valores das médias de 5 repetições  $\pm$  o erro padrão.



Os resultados encontrados nesse estudo para a análise de variância da fitomassa fresca, foram semelhantes aos encontrados por Guedes Filho et al. (2011), com plantas de girassol submetidas a diferentes regimes de irrigação e doses de nitrogênio. Segundo os autores, aumentos no fornecimento de N e a aplicação de diferentes lâminas de irrigação influenciaram os parâmetros de crescimento e a produtividade final em plantas de girassol.

Dentre os nutrientes requeridos pela cultura do girassol, o nitrogênio é o que mais afeta o crescimento da espécie. A adubação nitrogenada conjuntamente com a pouca disponibilidade de água, tornam-se fatores comprovadamente limitantes da produtividade agrícola da cultura (FREITAS et al., 2012; ALVES et al., 2016). Os resultados de matéria fresca observados nesse estudo corroboram com os autores supracitados, e demonstram que a fonte de obtenção de nitrogênio (adubo orgânico ou percolado), bem como a sua concentração (ausência, 100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>), repercutiram no acúmulo de fitomassa pelas plantas, tanto nas condições de controle como na presença de estresse hídrico.

Segundo Lobo et al. (2012), a principal maneira das plantas absorverem N é por meio do fluxo de massa onde o elemento é transportado até as raízes através da água. Nos resultados apresentados na figura 1, é provável que o percolado de aterro sanitário tenha fornecido de maneira mais adequada o nitrogênio e outros nutrientes, em relação ao adubo orgânico comercial. Provavelmente por ser um efluente líquido, e, nesse estado, favorecer o fluxo de nutrientes até o sistema radicular.

Em relação aos teores relativos de clorofila (Figura 2), semelhantemente aos dados de matéria fresca, verificaram-se maiores incrementos nos tratamentos que receberam o percolado de aterro sanitário (100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>), nas duas condições (controle e estresse). Porém, quando comparadas as condições irrigadas com as não irrigadas, verificaram-se maiores teores relativos de clorofila em condições não irrigadas, nos dois períodos analisados.

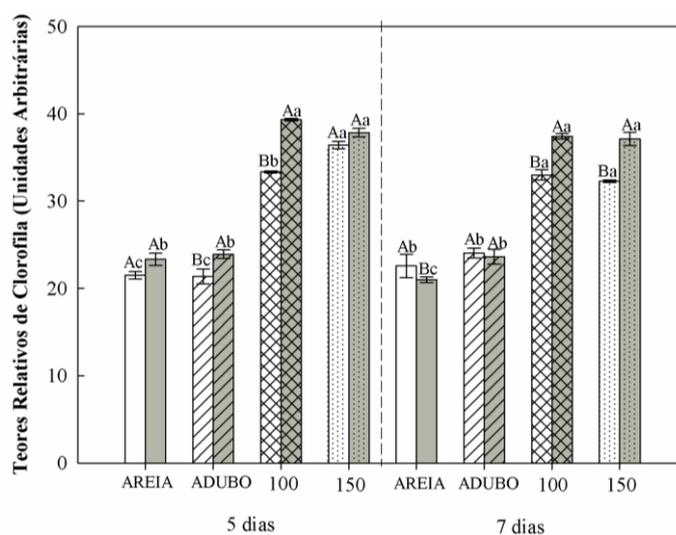
O nitrogênio é o constituinte de uma série de biomoléculas das plantas, como as proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e a clorofila (LOBO et al., 2014). Como a clorofila está relacionada à absorção de luz para uso na etapa fotoquímica,

esperavam-se maiores teores nos tratamentos que obtiveram maiores incrementos de matéria fresca, no caso, as plantas irrigadas (controle).

Porém, de maneira contrária, verificaram-se teores de clorofila mais elevados nas condições de estresse. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Paixão et al. (2014), ao compararem genótipos de girassol com tolerâncias variadas ao estresse hídrico, em que os mesmos observaram maiores teores de clorofila nas plantas sob déficit hídrico. No entanto, os mesmos afirmam que isso poderia se tornar prejudicial às plantas, pois levaria a uma maior absorção de luz, o que poderia ocasionar fotooxidação e danos à integridade das membranas e ao aparato fotossintético. Adicionalmente, Araújo e Deminicis (2009), afirmaram que na maioria dos casos, a fotooxidação ocorre como um evento secundário, e lento, porém que pode levar progressivamente a um declínio da fotossíntese (fotoinibição).

Outra possibilidade é que o método usado (SPAD) tenha facilitado à detecção de maiores teores de CL devido à maior desidratação dos tecidos. Adicionalmente, as folhas cessam o crescimento na presença de déficit hídrico favorecendo o aumento na quantidade de clorofila por unidade de área.

**Figura 2.** Teores relativos de clorofila de plantas de girassol sob condições controle (barras brancas) e de estresse hídrico (barras cinzas) aos 5 e 7 dias após suspensão da irrigação. Detalhes adicionais na legenda da figura 1.



## 5.2 Trocas gasosas

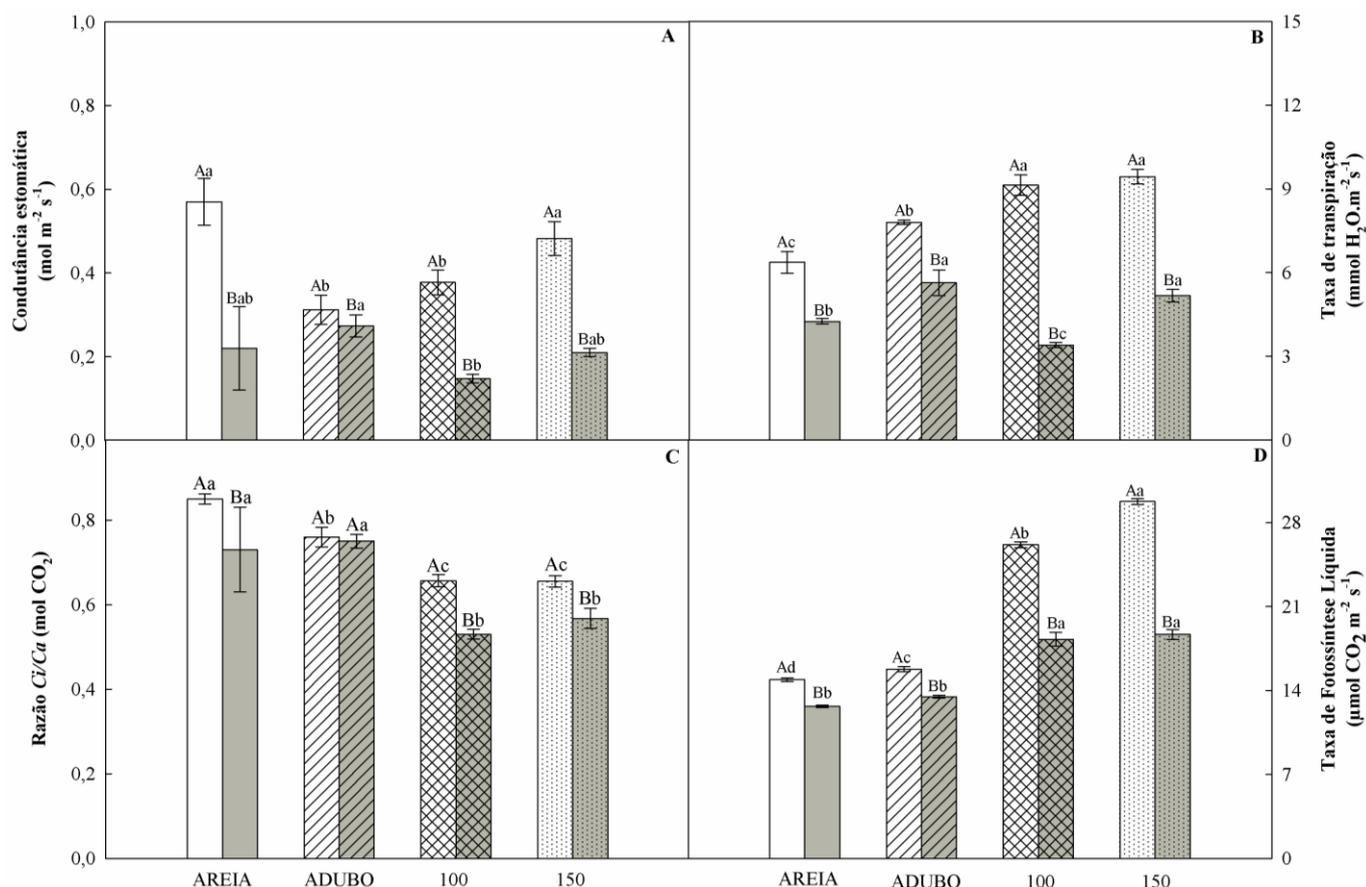
A análise de variância mostrou ter havido interações entre os fatores, substratos utilizados no cultivo e irrigação (T x I), de maneira significativa a 1% de probabilidade nos parâmetros de condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ), razão entre a concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $Ci/Ca$ ), fotossíntese líquida ( $A$ ), eficiência instantânea do uso de água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação ( $A/Ci$ ) e taxa de transporte de elétrons (ETR) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumos das análises de variância da condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ), razão entre a concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $Ci/Ca$ ), fotossíntese líquida ( $A$ ), eficiência instantânea do uso de água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação ( $A/Ci$ ) e taxa de transporte de elétrons (ETR) de plantas de girassol em diferentes substratos (areia; areia + adubo/fertilizante orgânico comercial misto a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 150 kg N ha<sup>-1</sup>) sob condições controle e estresse hídrico aos 5 dias após a suspensão da irrigação.

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio						
		$g_s$	$E$	$Ci/Ca$	$A$	EiUA	Eic	ETR
Tratamento (T)	3	0,034*	7,065*	0,099*	277,9*	5,568*	0,006*	12240,7*
Irrigação (I)	1	0,496*	127,5*	0,074*	344,9*	3,220*	0,002*	5354,4*
T x I	3	0,131*	7,705*	0,007*	47,71*	0,418*	0,0003*	2222,2*
Erro	32	0,095	0,198	0,0007	0,254	0,069	0,00001	86,17
Total Corrigido	39	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	6,8	6,97	4,05	2,70	8,27	6,23	5,52

Os resultados da condutância estomática ( $g_s$ ), da taxa de transpiração ( $E$ ), da razão entre a concentração externa e interna de  $CO_2$  ( $Ci/Ca$ ) e da taxa de fotossíntese líquida ( $A$ ), das plantas de girassol cinco dias após a imposição do estresse hídrico, são apresentados na figura 3.

**Figura 3.** Condutância estomática (A), taxa de transpiração (B), razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (C) e taxa de fotossíntese líquida (D) de plantas de girassol sob condições controle (barras brancas) e estresse hídrico (barras cinzas), aos 5 dias após suspensão da irrigação. Detalhes adicionais na legenda da figura 1



Em todos os tratamentos, as plântulas submetidas ao estresse hídrico tiveram suas condutâncias estomáticas ( $g_s$ ) reduzidas (Figura 3A), com diferenças significativas em relação às plântulas irrigadas. Adicionalmente, em condições de estresse hídrico, o valor de condutância estomática observado no tratamento areia + percolado de aterro a 100 kg N ha<sup>-1</sup> foi 80% menor do que o tratamento adubo.

A taxa de transpiração ( $E$ ) (Figura 3B) apresentou comportamento semelhante ao de  $g_s$ , nas condições de estresse hídrico. O tratamento areia + percolado de aterro sanitário a 100 kg N ha<sup>-1</sup> demonstrou valores 65% menores em relação ao tratamento

com adubo comercial. De maneira similar Cechin et al. (2010), também encontraram reduções nos parâmetros  $g_s$  e  $E$  em plantas de girassol submetidas a estresse hídrico.

A condutância estomática e taxa de transpiração são parâmetros diretamente relacionados, uma vez que correspondem às respostas iniciais do controle de abertura e fechamento estomático, comum a maioria das espécies quando submetidas ao déficit hídrico (OTIENO et al., 2005; ALBUQUERQUE et al., 2013). Adicionalmente, são responsáveis por alterações nas trocas gasosas em situações de seca. Reduções da condutância estomática, além de inibirem a perda de água por transpiração, podem diminuir a entrada de  $\text{CO}_2$  e conseqüentemente sua disponibilidade para a fotossíntese (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009).

Em relação às razões internas e externas de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ) e as taxas de fotossíntese líquida ( $A$ ) (Figuras 3C e 3D), de modo geral, o estresse hídrico promoveu reduções nos dois parâmetros em relação ao controle. No entanto, observou-se que as plântulas que receberam o percolado de aterro sanitário (tratamentos 100 e 150  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) apresentaram os menores valores de  $C_i/C_a$ , com maiores taxas fotossintéticas em relação aos tratamentos areia e adubo.

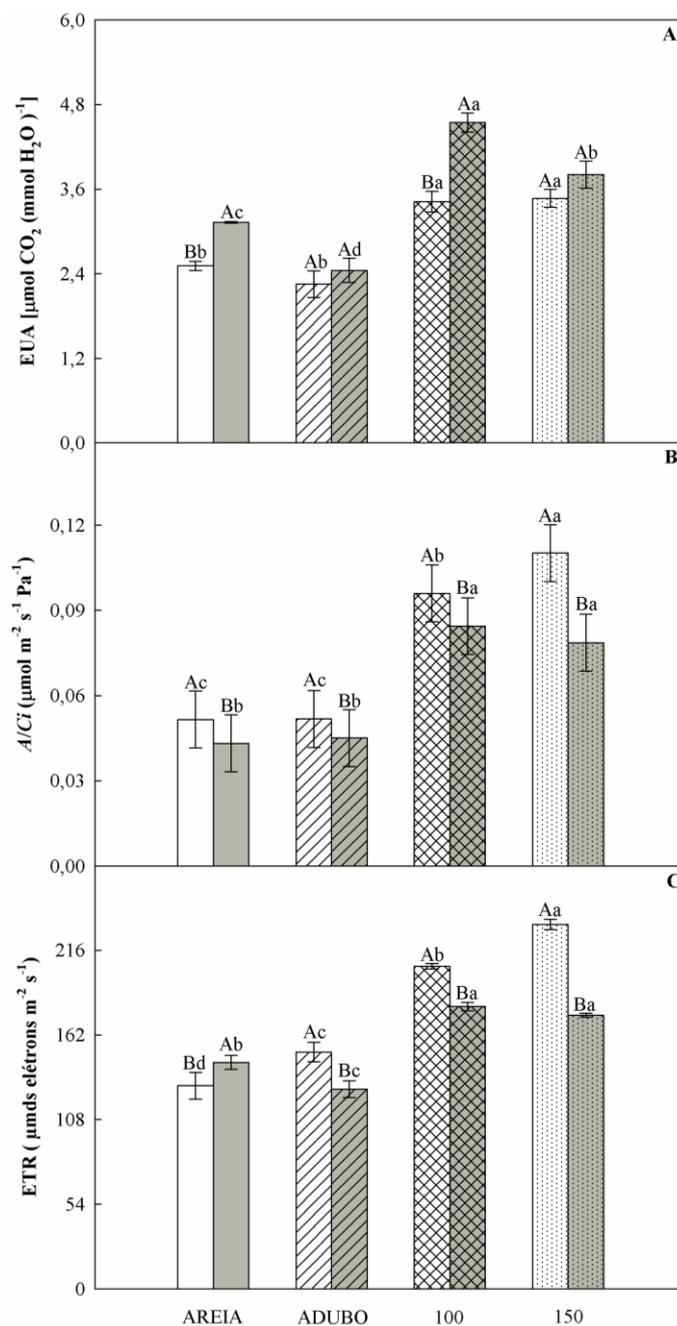
De acordo com Lemos et al. (2012), a manutenção da taxa fotossintética em condições onde a abertura estomática encontra-se reduzida, somente é possível com uma maior eficiência na fixação de carbono interno no mesófilo foliar da planta. Assim, é possível que tal fator tenha sido o responsável pelos valores de  $C_i/C_a$  e  $A$  encontrados nos tratamentos com percolado sob condições de estresse hídrico.

Adicionalmente, verificou-se que as plantas submetidas ao déficit hídrico e suplementadas com percolado de aterro tiveram um controle do fechamento estomático mais efetivo, sem que esse fato implicasse numa redução da fotossíntese na mesma

magnitude. Tal fato reforça a teoria de que houve, nesses tratamentos, uma maior eficiência na fixação do  $\text{CO}_2$  no mesófilo foliar.

Diante dos resultados verificados na figura 3, analisou-se a eficiência instantânea do uso de água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação (EIC) e taxa de transporte de elétrons (ETR) das plântulas de girassol (Figura 4). De maneira geral, observou-se que o estresse hídrico aumentou os valores de EUA (Figura 4A) e reduziu a EIC (Figura 4B) e a ETR (Figura 4C).

**Figura 4.** Eficiência instantânea do uso de água (A), eficiência instantânea de carboxilação (B) e taxa de transporte de elétrons (C) de plântulas de girassol sob condições controle (barras brancas) e estresse hídrico (barras cinzas), aos 5 dias após suspensão da irrigação. Detalhes adicionais na legenda da figura 1



Os aumentos nos valores de EUA (Figura 4A), foram semelhantes aos encontrados por Duarte et al. (2013), também com plantas de girassol sob suspensão hídrica. Os autores verificaram aumentos da EUA e relacionaram os resultados às maiores produtividades de arquênios e óleo encontrados nas plantas estressadas. Essa relação entre aumento de EUA e de produtividade em plantas, também é descrito por outros autores em diferentes culturas (MELO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2013). De maneira adicional, Mantovani et al. (2013), enfatizam que essa relação entre a EUA e a produção de biomassa, possibilita seu emprego como referência no manejo estratégico visando o aumento da produtividade. Diante disso, sugere-se que o aumento desse parâmetro mostrou-se positivo à aplicação do percolado, associado às menores taxas transpiratórias nas plantas estressadas e suplementadas com percolado de aterro.

Em relação às reduções da EIC (Figura 4B) e da ERT (Figura 4C), é provável que os resultados estejam relacionados à concentração interna de  $\text{CO}_2$  e à taxa de assimilação fotossintética do  $\text{CO}_2$ , assim como descrito por Machado et al. (2005). As reduções verificadas nos respectivos parâmetros, podem estar relacionadas às respostas indiretas (não estomáticas) do estresse hídrico, advindas de modificações nas etapas bioquímica e fotoquímica da fotossíntese, como as reduções nas atividades de enzimas do metabolismo fotossintético ( a Rubisco, por exemplo) e danos ao fotossistema II com fotoinibição (KIANI et al., 2008; ARAÚJO; DEMINICIS, 2009). Adicionalmente, estas modificações podem ocasionar desequilíbrio entre a produção de NADPH na etapa fotoquímica, e seu uso no Ciclo de Calvin-Benson (SANDA et al., 2011) Portanto, semelhantemente ao que foi verificado por Bertolli et al. (2015), na espécie *Beaucarnea recurvata* Lem. sob estresse hídrico. É possível que a redução no EIC tenha se dado pela menor demanda de energia redutora da etapa bioquímica da fotossíntese, resultando na diminuição da ETR.

Por fim, perante o exposto, podemos inferir que os resultados encontrados nos tratamentos com percolado de aterro sanitário para os parâmetros da figura 4, sob condições de estresse hídrico, devem-se, sobretudo, às reduções da condutância estomática e da concentração interna de CO<sub>2</sub>.

## 6 CONCLUSÕES

- Na condição de estresse hídrico, houve uma maior capacidade de aclimação das plântulas de girassol que receberam o percolado de aterro sanitário como fonte de nutrientes.

- O percolado de aterro sanitário nas condições físico-químicas empregadas, promoveu a manutenção da capacidade fotossintética das plântulas de girassol, nas condições de estresse hídrico, mesmo diante dos reduzidos valores de  $g_s$ .

- Incrementos na matéria fresca nos tratamentos suplementados com percolado a 100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup> estão relacionados à maior taxa fotossintética, tanto em condições controle como de estresse hídrico.

- Em condições de estresse hídrico, de modo geral, o tratamento suplementado com percolado a 100 kg N ha<sup>-1</sup> apresentou incrementos na matéria fresca do que aquele contendo 150 kg N ha<sup>-1</sup>.

## 7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. P. F. de; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S. de; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 9-16, 2013.

ALVES, L. S.; TORRES JUNIOR, C. V.; FERNANDES, M. S.; SANTOS, A. M. dos; SOUZA, S. R. de. Soluble fractions and kinetics parameters of nitrate and ammonium uptake in sunflower ("Neon hybrid"). **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 13-21, 2016.

ALVARENGA, I. C. A.; QUEIROZ, G. A.; HONÓRIO, I. C. G.; VALADARES, R. V.; MARTINS, E. R. Prolina livre em alecrim-pimenta sob estresse hídrico antes da colheita. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, p. 539-541, 2011.

ARAÚJO, S. A. do C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, n. 4, p. 463-472, 2009.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. de A.; ULISSES, L. W. C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, p. 453-460, 2014.

BERTOLLI, S. C.; SOUZA, J. de; SOUZA, G. M. Caracterização fotossintética da espécie isohídrica pata-de-elefante em condições de deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 196-205, 2015.

BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. dos. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, p. 13-18, 2003.

CECHIN, I.; CORNIANI, N.; FUMIS, T. de S.; CATANEO, A. C. Differential responses between mature and young leaves of sunflower plants to oxidative stress caused by water deficit. **Revista Ciência Rural**, v. 40, p. 1290-1294, 2010.

DUARTE, J. M. de L.; LIMA, A. D.; NASCIMENTO, R. S.; VIANA, T. V. de A.; SARAIVA, K. R.; AZEVEDO, B. M. de. Eficiência do uso da água na produção de óleo do girassol (*Helianthus annuus* L.), sob suspensão hídrica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, p. 166-175, 2012.

DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F. do; PAIM, L. R.; SCALON, S. P. Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2657-2668, 2012.

FERRARI, E.; PAZ, A. da; SILVA, A. C. da. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no Mato Grosso. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 6, p. 67-77, 2015.

FIRMINO, M. C.; FARIAS, M. S. S. de; MEDEIROS, S. S. de; GUERRA, H. O. C.; GUIMARÃES, J. P. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária tratada sob cultivo de pinhão manso. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, p. 32-37, 2015.

FREITAS, C. A. S. de; SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M. L.; ANDRADE, R. R. de; MOTA, F. S. B.; AQUINO, B. F. de. Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1031-1039, 2012.

GUEDES FILHO, D. H.; CHAVES, L. H. G.; CAMPOS, V. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; OLIVEIRA, J. T. L. de. Production of sunflower and biomass depending on available soil water and nitrogen levels. **Iranica Journal of Energy & Environment**, v. 2, p. 313-319, 2011.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. P.; RANGEL, P. H. N.; RODRIGUES, C. A. P. Sistema radicular do arroz de terras altas sob deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p.126-134, 2011.

KIANI, S. P.; MAURY, P.; SARAFI, A.; GRIEU, P. QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. **Plant Science**, v. 175, p. 565-573, 2008.

KRASENSKY, J.; JONAK, C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, p. 1593-1608, 2012.

LEMOS, J. P.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. A.; FONTANETTI, A.; CORRÊA, M. L. P.; CECON, P. R. Mofofisiologia de plantas de milho em competição com picão-preto e trapoeraba submetidas a roçada. **Planta Daninha**, v. 30, p. 487-496, 2012.

LIRA, R. M. de; SANTOS, A. N. dos; SILVA, J. S. da; BARNABÉ, J. M. C.; BARROS, M. S.; SOARES, H. R. A utilização de águas de **qualidade** inferior na agricultura. **Revista GEAMA**, v.2, p. 95-128, 2015.

LOBO, T. F.; FILHO, H. G.; COELHO, H. A. Efeito da adubação nitrogenada na produtividade do girassol. **Científica**, v. 40, p. 59-68, 2012.

LOBO, T. F.; FILHO, H. G.; KUMMER, A. C. B. Aplicações sucessivas de lodo de esgoto no girassol e efeito residual no trigo e tritcale. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 881-886, 2014.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1161- 1170, 2005.

MATOS, A. T. de; SILVA, D. F.; LO MONACO, P. A. V.; PEREIRA, O. G. Produtividade e composição química do capim-Tifton 85 submetido a diferentes taxas de aplicação do percolado de resíduo sólido urbano. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 188-200, 2013.

MELO, A. S., SUASSUNA, J. F., FERNANDES, P. D., BRITO, M. E. B., SUASSUNA, A. F., AGUIAR NETTO, A. O. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 73-79, 2010.

MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R. de; VIEIRA, G. H. S.; LANDIM, F. M. Eficiência no uso de água de duas cultivares de batata-doce em resposta a diferentes lâminas de irrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 602-606, 2013.

OLIVEIRA, J. M.; COELHO FILHO, M.A.; COELHO, E.F. Crescimento da bananeira Grande Naine submetida a diferentes lâminas de irrigação em tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1038–1046, 2013.

OTIENO, D. O.; SCHMIDT, M. W. T.; ADIKU, S.; TENHUNEN, J. Physiological and morphological responses to water stress in two *Acacia* species from contrasting habitats. **Tree physiology**, v. 25, p. 361-371, 2005.

OTTO, M. S. G.; VERGANI, A. R.; GONÇALVES, A. N.; VRECHI, A.; SILVA, S. R.; STAPE, J. L. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, v. 37, p. 431-439, 2013.

PAIXÃO, C. L. da; JESUS, D. da S. de; COSTA, D. P.; PEREIRA, P. P. A.; NETO, A. D. de A. Caracterização fisiológica e bioquímica de genótipos de girassol com tolerância diferenciada ao estresse hídrico. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, p. 2011-2022, 2014.

POU, A. H. M.; TOMÁS, M. S. M.; RIBAS-CARBÓ, M. J. F. Anisohydric behaviour in grapevines results in better performance under moderate water stress and recovery than isohydric behaviour. **Plant Soil**, v. 359, p. 335-349, 2012.

RIGUETTI, P. F.; CARDOSO, C. A. L.; CAVALHEIRO, A. A.; LENZI, E.; FIORUCCI, A. R.; SILVA, M. S. da. Manganês, zinco, cádmio, chumbo, mercúrio e cromo no chorume de aterro sanitário em Dourados, MS, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, p. 153-163, 2015.

- SANDA, S.; YOSHIDA, K.; KUWANO, M.; KAWAMURA, T.; MUNEKAGE, Y. N.; AKASHI, K.; YOKOTA, A. Responses of the photosynthetic electron transport system to excess light energy caused by water deficit in wild watermelon. *Physiologia Plantarum*, v. 142, p. 247-264, 2011.
- SILVA, H. A. P. de; GALISA, P. de S.; OLIVEIRA, R. S. da S.; VIDAL, M. S.; SIMÕES-ARAÚJO, J. L. Expressão gênica induzida por estresses abióticos em nódulos de feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.6, p. 797-807, 2012.
- SELMAR, D.; KLEINWÄCHTER, M. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 558-566, 2013.
- SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, p. 1-26, 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009
- VIANA, T. V. de A.; LIMA, A. D.; MARINHO, A. B.; DUARTE, J. M. de L.; AZEVEDO, B. M.; COSTA, S. C. Lâminas de Irrigação e cobertura do solo na cultura do girassol, sob condições semiáridas. **Irriga**, Botucatu, v. 17, p. 126 – 136, 2012.
- VITORINO, H. S.; MARTINS, D. Efeito do deficit hídrico na eficiência de herbicidas e nas características bioquímicas de *Ipomoea grandifolia*. **Planta Daninha**, v. 30, p. 185-191, 2012.

## **EXPERIMENTO III**

### **ARTIGO 5**

(Artigo encontra-se formatado para submissão à revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science).

## **Atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico**

### **RESUMO**

Em regiões áridas ou semiáridas a escassez hídrica tem sido um dos principais fatores limitantes da produção agrícola. Diante disso, o presente trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação de percolado de aterro sanitário, no crescimento foliar (número de folhas e área foliar) e atividades das enzimas antioxidativas: dismutase do superóxido (SOD), catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX) e peroxidase do guaiacol (GPX) em folhas e raízes de plântulas de girassol submetidas às condições de estresse hídrico. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado disposto em arranjo fatorial dois (irrigadas ou não irrigadas) x quatro (areia; areia + adubo orgânico 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário 150 kg N ha<sup>-1</sup>), com cinco repetições. Em relação aos parâmetros foliares, o tratamento 100 kg N ha<sup>-1</sup> suplementado com percolado de aterro sanitário obteve os melhores incrementos no número de folhas e área foliar. Além disso, verificou-se aumentos nas atividades das enzimas antioxidativas em folhas e raízes de plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário, sendo prováveis que as reduções dos efeitos deletérios nas variáveis foliares, dos tratamentos suplementados com percolado de aterro sanitário, tenham ocorrido em virtude das maiores atividades das enzimas antioxidativas, especialmente as da CAT nas folhas e GPX nas raízes.

**Palavras – chave:** estresse oxidativo, *Helianthus annuus* L, lixiviado de aterro sanitário, seca.

## **Antioxidative enzyme activities in sunflower seedlings supplemented by sanitary landfill leachate under drought stress**

### **ABSTRACT**

In arid or semi-arid regions the limited availability of water resources has been one the main limiting factors agricultural production. Therefore, this study aimed to analyze the effects the application by sanitary landfill leachate in leaves growth (number of leaves and leaf area) and antioxidative enzymes activities, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and guaiacol peroxidase (GPX) in leaves and roots of sunflower seedling subjected to drought stress. The experimental design was completely randomized in a factorial two (irrigated and non-irrigated) x four (sand; sand + organic fertilizer 100 kg N ha<sup>-1</sup>; sand + sanitary landfill leachate 100 kg N ha<sup>-1</sup>; sand + sanitary landfill leachate 150 kg N ha<sup>-1</sup>) with five replicates. In relation to foliar growth, the treatment 100 kg N ha<sup>-1</sup> supplemented by sanitary landfill leachate increased the number of leaves and leaf area. In addition, there were increases in the antioxidative enzymes activities in leaves and roots of sunflower seedlings supplemented by sanitary landfill leachate. Thus it is possible that the reductions in harmful effects on the leaves growth in treatments supplemented by sanitary landfill leachate, occurred due to increased antioxidative enzymes activities, especially CAT in leaves and GPX in roots.

**Keywords :** *Helianthus annuus* L., waste water, oxidative stress.

## 1. INTRODUÇÃO

A seca é um dos principais fatores limitantes da produção agrícola nas regiões áridas e semiáridas. Nesses ambientes, as plantas podem enfrentar situações de déficit hídrico devido à limitada disponibilidade de água no ambiente radicular, ou, quando a taxa evapotranspiratória torna-se excessiva (Ghobadi et al., 2013).

De modo geral, as plantas tendem a fechar seus estômatos como resposta inicial ao déficit hídrico, a fim de reduzir a taxa de transpiração. Consequentemente, a taxa fotossintética é reduzida devido à menor disponibilidade de CO<sub>2</sub>, podendo ocorrer aumento da respiração. A baixa concentração de CO<sub>2</sub> na etapa bioquímica da fotossíntese reduz a oxidação de NADPH no ciclo de Calvin-Benson, e consequentemente sua disponibilidade sob a forma de NADP<sup>+</sup> na etapa fotoquímica. Assim, este processo poderá resultar na transferência de elétrons da ferredoxina reduzida no fotossistema I ao O<sub>2</sub> e aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio ROS (do inglês *Reactive Oxygen Species*), com danos ao aparato fotossintético e estresse oxidativo (Pereira et al., 2012; Ghobadi et al., 2013; Cerqueira et al., 2015; ).

As ROS são produzidas naturalmente através do metabolismo celular de organelas como as mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos (Karuppanapandian et al., 2011). Sendo produzidos o oxigênio singlete (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>), os radicais superóxidos (<sup>•</sup>O<sub>2</sub><sup>-</sup>) e hidroxil (<sup>•</sup>OH) e o peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (Sharma et al., 2012).

Ainda não está totalmente elucidado o papel da produção e controle das concentrações de ROS durante o estresse hídrico em plantas. De maneira geral, os estresses abióticos estão associados à produção de ROS, sendo em baixas concentrações agentes sinalizadores de estresse atuam desencadeando respostas votadas à aclimação das plantas (Ren et al., 2016). No entanto, quando há um desequilíbrio entre produção e eliminação, desencadeiam-se danos às proteínas e ácidos nucleicos e a peroxidação de lipídios de membrana, podendo levar as células do organismo à morte (Miller et al., 2010).

Diante disso, as plantas desenvolveram mecanismos enzimáticos e não enzimáticos (antioxidantes de baixos pesos moleculares) de defesa, capazes de eliminar os efeitos citotóxicos das ROS. No sistema enzimático, destacam-se: a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT), a peroxidase do ascorbato (APX), bem como peroxidases não específicas quanto ao doador de elétrons, como a peroxidase do guaiacol (GPX). Estas enzimas atuam conjuntamente na eliminação das ROS (Deuner et al., 2008; Barbosa et al., 2014).

A enzima SOD, atua na conversão do radical superóxido (<sup>•</sup>O<sub>2</sub><sup>-</sup>) a peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>). O H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por sua vez, devido à sua toxicidade, é desmutado em H<sub>2</sub>O e O<sub>2</sub> pelas enzimas CAT, APX e GPX, a fim de diminuir os efeitos citotóxicos no vegetal (SHEHAB et al., 2010).

No nordeste brasileiro, em virtude dos grandes períodos de estiagem, a água é o principal fator limitante para a produção agrícola, seguido pela baixa fertilidade de seus solos (Xavier et al., 2014). O uso de efluentes pode se tornar uma opção para reduzir o uso de águas com qualidades superiores na irrigação e gastos com fertilizantes. Adicionalmente, ressaltam-se como vantagens: o controle da poluição ambiental, a reciclagem de nutrientes e o aumento da produção agrícola (Silva et al., 2011).

Proveniente da decomposição dos resíduos sólidos dispostos nos aterros sanitários, o percolato é um efluente de variada composição físico-química, destacando-se a presença de matéria orgânica, macro e micronutrientes inorgânicos que possibilitam

sua utilização como fonte de nutrientes e água no cultivo de plantas (Canto et al., 2013; Coelho et al., 2015).

Originário da América do Norte, o girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta tolerante à seca, e a salinidade (NSA, 2010). Seu cultivo tem sido feito principalmente para a extração de óleo, estando a cultura entre as quatro principais produtoras do mundo (FAO, 2013). Adicionalmente, a planta vem sendo considerada como uma das espécies de maior potencial para produção de biocombustíveis, sendo também bastante empregada em sistemas de sucessão ou rotação de culturas, devido à tolerância a diferentes tipos de climas e solos (Glovatski e Raiher, 2013; Gomes et al., 2015).

Apesar de o girassol ser considerado uma espécie com boa capacidade de aclimação às diferentes condições de clima e solo, são escassos na literatura informações sobre os efeitos do estresse hídrico no crescimento foliar e nas atividades das enzimas antioxidativas em plantas suplementadas com percolado de aterro sanitário.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação de percolado de aterro sanitário no crescimento foliar (número de folhas e área foliar) e nas atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol submetidas ao estresse hídrico.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Percolado de aterro sanitário utilizado no experimento

O percolado utilizado no experimento foi coletado no mês de agosto de 2015, no Aterro Sanitário Metropolitano Oeste da Caucaia (ASMOC) na 3ª lagoa de estabilização (aeróbica facultativa) próxima ao vertedouro, localizado no município de Caucaia, Ceará, Brasil. A coleta do efluente obedeceu às normas de estocagem, manutenção e transporte de acordo com os parâmetros físico-químicos analisados (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do percolado de aterro sanitário utilizado no experimento

mg L <sup>-1</sup>											
N-t	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	P-t	Fe <sup>+2</sup>	Zn	Mn	Cu	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C/N	C.O.T.
504	323	153	19	7,9	16,1	22,3	24,5	1,5	18,1	1,39	660
mg L <sup>-1</sup>									--	dS m <sup>-1</sup>	--
K <sub>2</sub> O	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	C.E.	RAS	
2.196	1.800	234,6	54	58,5	2.428,5	96	231,8	7,8	7,6	5,37	

N-t: nitrogênio total; P-t: fósforo total; C/N: razão carbono nitrogênio; C.O.T.: carbono orgânico total; C.E.: condutibilidade elétrica; RAS: razão de adsorção de sódio.

### 2.2. Condições experimentais, tratamentos e coleta das plântulas

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na cidade de Maracanaú, Ceará, Brasil, no período de Setembro a Outubro de 2015. Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar durante o dia, foram, respectivamente, 32,1 °C e 52%.

As sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.) do cultivar BRS 323 foram cedidas pela Embrapa Produtos e Mercados – Escritório Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. Após seleção e desinfestação com solução de hipoclorito de sódio a 0,7%, as

sementes foram semeadas em vasos de plástico de 5 L preenchidos com: 1) areia de granulometria fina (NBR 6502); 2) areia + adubo/fertilizante orgânico comercial misto (11,8% de nitrogênio – N) aplicado proporcionalmente ao correspondente a 100 kg N ha<sup>-1</sup>/ vaso; 3) areia + percolado de aterro sanitário aplicado proporcionalmente ao correspondente a 100 kg N ha<sup>-1</sup>/ vaso; 4) areia + percolado de aterro sanitário aplicado proporcionalmente ao correspondente a 150 kg N ha<sup>-1</sup>/ vaso. Durante o experimento, foram realizadas regas diárias, mantendo-se a umidade próxima a 70 % da capacidade de campo do substrato.

Decorridos 16 dias após a semeadura (DAS), metade de cada grupo de plantas de cada tratamento descrito acima, foi submetido à suspensão da rega. Foram realizadas 2 coletas: 1a) aos 21 dias após a semeadura (5 dias sob estresse hídrico) e 2a) aos 23 dias (7 dias sob estresse hídrico). Durante as coletas, determinaram-se: o número de folhas e a área foliar (através de medidor de área foliar ADC, modelo: AM350).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado disposto em arranjo fatorial dois (irrigadas ou não irrigadas) x quatro (areia; areia + adubo orgânico 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro 150 kg N ha<sup>-1</sup>), com cinco repetições, cada uma constituída por um vaso com duas plantas. Os dados de cada período de coleta foram independentemente submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) através do programa Sigma Plot 11.0.

### **2.3. Preparação dos extratos enzimáticos e determinações das atividades das enzimas antioxidativas**

Para as determinações das atividades das enzimas antioxidativas foram preparados extratos de folhas e raízes frescas obtidas a partir da maceração, em almofariz, de 1 g de matéria fresca em nitrogênio líquido para obtenção do pó. Em seguida, adicionaram-se 4,0 mL de tampão fosfato de potássio a 100 mM, pH 7,0, contendo EDTA a 0,1 mM. O macerado foi filtrado em tecido de náilon de malha fina e centrifugado a 12.000 x g durante 15 min.

Foram determinadas as atividades das enzimas catalase (CAT), peroxidase do guaiacol (GPX), peroxidase do ascorbato (APX) e dismutase do superóxido (SOD). A atividade da CAT foi determinada de acordo com Havir e McHale (1987), pelo decréscimo na absorbância em 240 nm, devido ao consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; a da GPX pelo método de Kar e Mishra (1976), sendo a reação acompanhada pelo incremento da absorbância em 470 nm, devido à formação do tetraguaiacol; a da APX pelo método de Nakano e Asada (1981), sendo a oxidação do ascorbato medida pelo decréscimo na absorbância em 290 nm e a da SOD pelo método de Beauchamp e Fridovich (1971), sendo a reação medida através do aumento da absorbância em 560 nm, devido à produção de formazana azul, resultante da fotorredução do p-Nitrobluetetrazolium (NBT). As atividades das enzimas CAT, APX e GPX foram expressas em  $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$  e a da SOD em  $\text{UA g}^{-1} \text{ MF}$ , onde MF representa matérias fresca e sendo uma UA (unidade de atividade enzimática) definida como sendo a quantidade de enzima necessária para causar 50% de inibição da fotorredução do NBT. Cada extrato foi dosado em duplicata.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1. Número de folhas e área foliar**

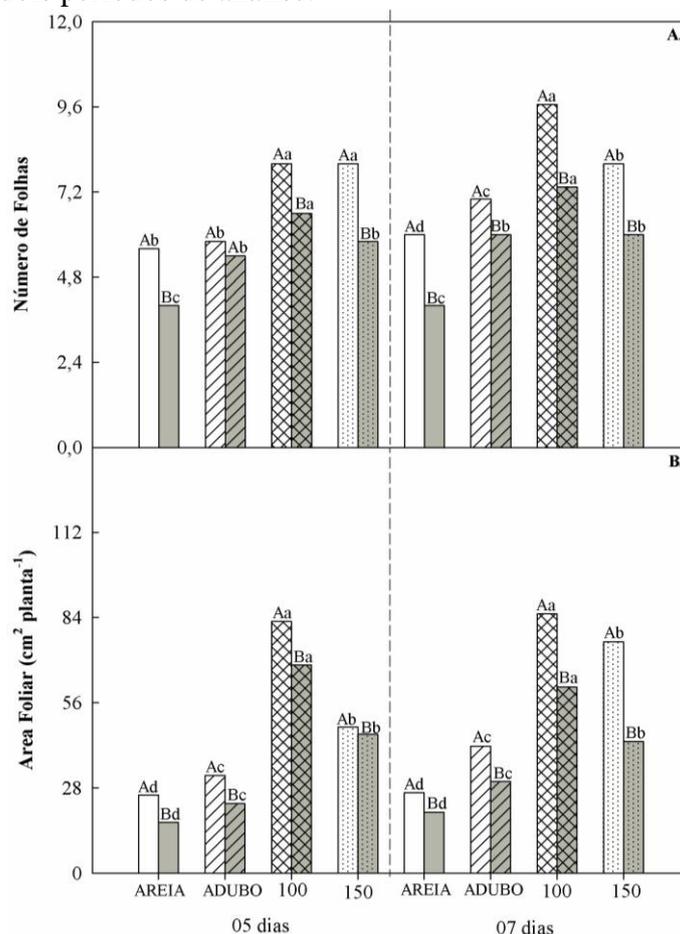
A análise de variância demonstrou que houve interações entre os fatores tratamento (diferentes suplementações de N no substrato) e irrigação (plantas irrigadas ou não irrigadas) utilizados no cultivo de maneira significativa a 1% de probabilidade ( $P \leq 0,001$ ) nas variáveis número de folhas (NF) e área foliar (AF) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumos das análises de variância do número de folhas (NF) e área foliar (AF) de plantas de girassol em diferentes substratos (areia; areia + adubo/fertilizante orgânico comercial misto a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 150 kg N ha<sup>-1</sup>) sob condições controle e estresse hídrico aos 5 e 7 dias após a suspensão da irrigação.

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio			
		NF		AF	
		05 dias	07 dias	05 dias	07 dias
<b>Tratamento (T)</b>	3	13,36*	18,60*	5970,5*	7468,6*
<b>Irrigação (I)</b>	1	19,60*	16,90*	572,2*	7942,5*
<b>T x I</b>	3	1,40*	5,90*	124,7*	2138,6*
<b>Erro</b>	32	0,16	0,06	5,83	10,12
<b>Total Corrigido</b>	39	-	-	-	-
<b>CV (%)</b>	-	6,55	3,37	5,65	6,03

NF = número de folhas; AF = área foliar; \* $P \leq 0,001$ .

De maneira geral, o estresse hídrico promoveu reduções no número de folhas e na área foliar em todos os tratamentos (Figuras 1A e 1B), com diferenças significativas em relação ao controle. Adicionalmente, na condição de estresse hídrico, verificou-se que o tratamento areia + percolado de aterro sanitário a 100 kg N ha<sup>-1</sup> apresentou os maiores valores de NF e AF, com diferenças significativas em relação aos demais tratamentos, nos dois períodos de análise.



**Figura 1.** Número de Folhas (A) e área foliar (B) de plântulas de girassol aos 5 (1ª coleta) e 7 dias (2ª coleta) após a suspensão da irrigação (que ocorreu aos 16 dias após a semeadura) crescendo sob condições controle (barras brancas) ou de estresse hídrico (barras cinzas). Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse), enquanto diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos substratos (areia; areia + adubo orgânico 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro 150 kg N ha<sup>-1</sup>), de acordo com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas independentemente em cada coleta.

As reduções observadas no presente trabalho são semelhantes aos encontrados por outros autores, tanto com plantas de girassol (Manivannan et al., 2008; Nobre et al., 2011; Dutra et al., 2012), como com outras espécies (Zhang et al., 2004; Wullschlegler et al., 2005; Santos et al., 2012) sob condições de estresse hídrico ou salino.

O crescimento vegetal depende da divisão e expansão de suas células, sendo esta última, condicionada à pressão de turgência, processo afetado pela baixa disponibilidade de água no solo ou pelo excesso de transpiração (Santos et al., 2014). De maneira adicional, Jaleel et al. (2009), afirmam que, sob condições de estresse hídrico, as plantas reduzem a emissão de novas folhas e a área foliar como mecanismos para evitar a perda de água por transpiração. Porém, isso pode ocasionar a diminuição da capacidade fotossintética do vegetal, bem como a formação de ROS (Silva et al., 2011).

Em relação aos efeitos das ROS sobre o NF e AF, Deuner et al. (2011), afirmam que em condições de estresses abióticos, é necessária a rápida eliminação das ROS por enzimas antioxidativas para se evitar a diminuição do crescimento e da produtividade do vegetal.

### 3.2. Atividade enzimática nas folhas

A análise de variância demonstrou que houve interações entre os fatores tratamento (diferentes suplementações de N no substrato) e irrigação (plantas irrigadas ou não irrigadas) utilizados no cultivo (T x I), de maneira significativa a 1% de probabilidade ( $P \leq 0,001$ ) nos parâmetros de atividade das enzimas catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX), peroxidase do guaiacol (GPX) e dismutase do superóxido (SOD) em folhas de plantas de girassol aos 5 dias após suspensão da irrigação (Tabela 3). No entanto, aos 7 dias após suspensão da irrigação, a interação (T x I) mostrou-se não significativa para a CAT e significativo a 5% de probabilidade ( $P \leq 0,005$ ) para a SOD.

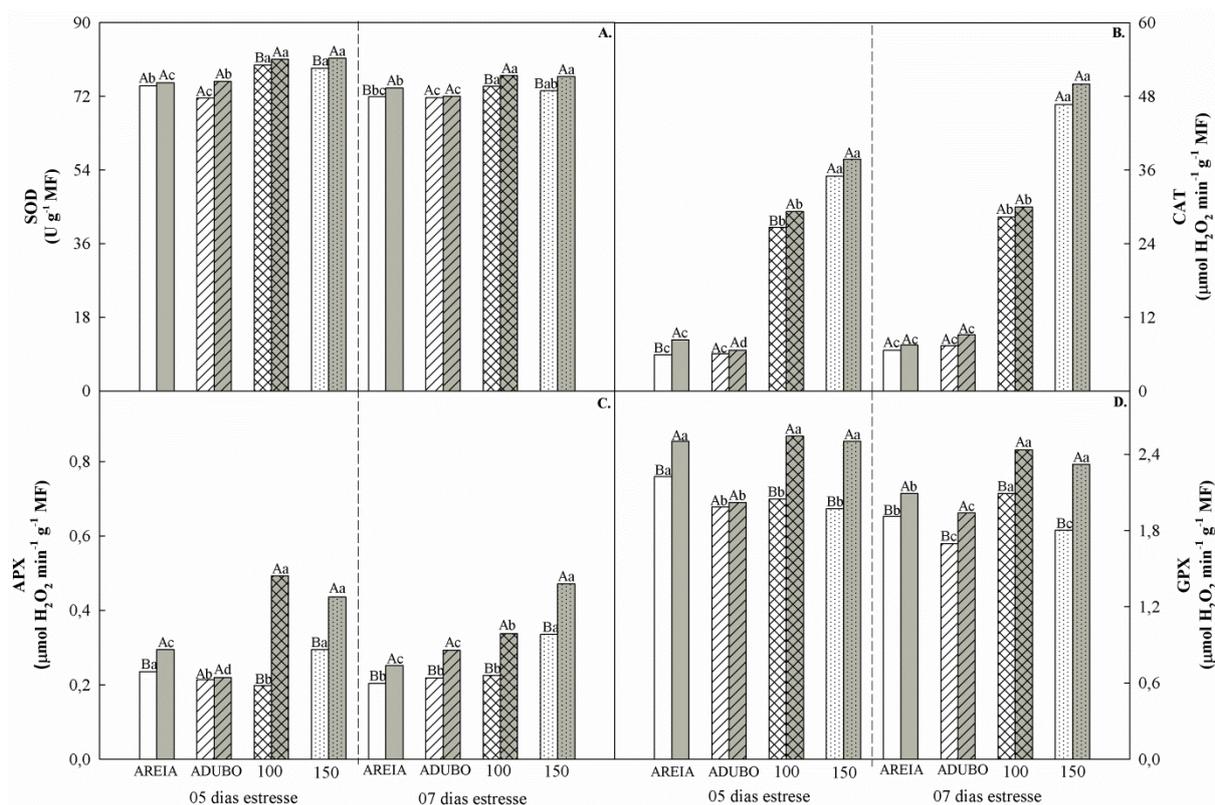
**Tabela 3.** Resumos das análises de variância da atividade das enzimas, catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX), peroxidase do guaiacol (GPX) e dismutase do superóxido (SOD) em folhas de plantas de girassol em diferentes substratos (areia; areia + adubo/fertilizante orgânico comercial misto a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 150 kg N ha<sup>-1</sup>) sob condições controle e estresse hídrico aos 5 e 7 dias após a suspensão da irrigação.

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio							
		CAT		APX		GPX		SOD	
		05 dias	07 dias	05 dias	07 dias	05 dias	07 dias	05 dias	07 dias
Tratamento (T)	3	1944,1*	3867,6*	0,048*	0,060*	0,24*	0,33*	181,8*	33,4*
Irrigação (I)	1	185,3*	40,8 <sup>ns</sup>	0,155*	0,087*	1,12*	1,01*	10,9*	45,3*

<b>T x I</b>	3	51,4*	2,45 <sup>ns</sup>	0,039*	0,004 <sup>ns</sup>	0,13*	0,05*	3,8*	4,2**
<b>Erro</b>	32	6,1	9,53*	0,0019	0,0009	0,014	0,004	0,27*	0,80
<b>Total Corrigido</b>	39	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CV (%)</b>	-	12,1	13,3	15,07	10,4	5,44	3,23	0,69	1,21

CAT = catalase; APX = peroxidase do ascorbato; GPX = peroxidase do guaiacol; SOD = dismutase do superóxido; \* $P \leq 0,001$ ; \*\* $P \leq 0,005$  e ns = não significativo.

Na figura 2 são apresentadas as atividades das enzimas SOD, CAT, APX e GPX em folhas de plântulas de girassol aos 5 e 7 dias após suspensão da irrigação.



**Figura 2.** Atividade das enzimas SOD (A), APX (B), GPX (C) e CAT (D) em folhas de plântulas de girassol aos 05 (1<sup>a</sup> coleta) e 07 dias (2<sup>a</sup> coleta) após a suspensão da irrigação (que ocorreu aos 16 dias após a semeadura) crescendo sob condições controle (barras brancas) ou de estresse hídrico (barras cinzas). Detalhes adicionais na legenda da figura 1.

As atividades da SOD nas folhas (Figura 2A), mostraram-se maiores, aos 5 e 7 dias, nas plântulas suplementadas com percolato de aterro sanitário (100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>) e que tiveram a irrigação suspensa. De maneira adicional, as plântulas suplementadas com percolato de aterro sanitário não diferiram entre si na condição de suspensão da irrigação, e mostraram, em média, atividades superiores aos dos tratamentos areia e adubo em 4% e 7%, respectivamente.

As atividades da CAT nas folhas das plântulas de girassol (Figura 2B) foram mais elevadas nos tratamentos suplementados com percolato de aterro nos dois períodos de coleta (aos 5 e 7 dias após suspensão da irrigação). De maneira adicional, em uma mesma suplementação de N, no segundo período de coleta, não foram verificadas diferenças significativas nas atividades enzimáticas das plantas controle (irrigadas) e estresse (não irrigadas) em nenhum dos tratamentos. Contudo, sob

condições de estresse hídrico, o tratamento com percolado de aterro sanitário a 150 kg N ha<sup>-1</sup>, apresentou a maior atividade da CAT, com diferenças respectivas de 567 e 445% em relação aos tratamentos areia e adubo.

Aos 5 e 7 dias de suspensão da irrigação, sob condições de estresse, a atividade da APX nas folhas (Figura 2C), mostrou-se mais elevada nos tratamentos 100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Adicionalmente, no segundo período de coleta, o tratamento suplementado com percolado a 150 kg N ha<sup>-1</sup> apresentou diferenças em relação aos tratamentos areia e adubo de 87 e 61%, respectivamente.

Já para a atividade da GPX nas folhas das plântulas de girassol (Figuras 2D), após 5 dias de suspensão da irrigação, sob condições de estresse, as maiores atividades enzimáticas foram observadas nos tratamentos areia e percolado de aterro sanitário (100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>), não havendo diferenças estatísticas entre os tratamentos. Entretanto, aos 7 dias de suspensão da irrigação, os tratamento com percolado apresentaram atividades superiores aos tratamentos areia e adubo, de 16 e 26% respectivamente.

### 3.4 Atividade enzimática nas raízes

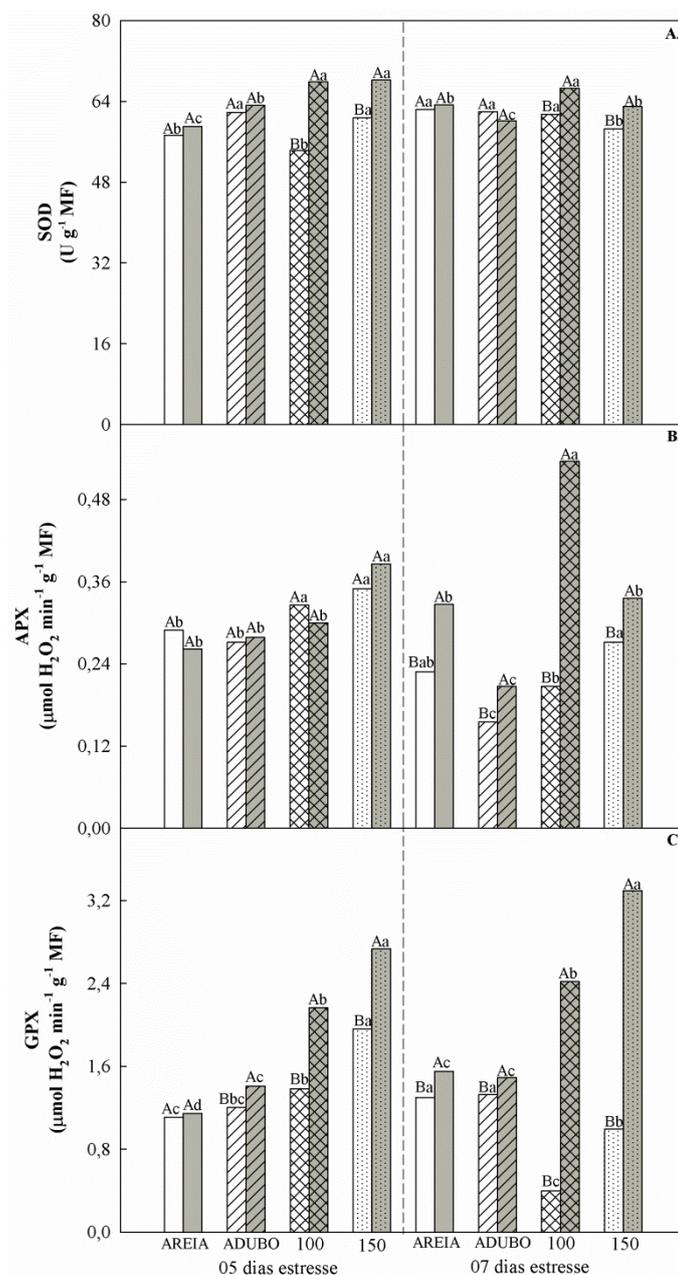
A análise de variância demonstrou que houve interações entre os fatores tratamento (diferentes suplementações de N no substrato) e irrigação (plantas irrigadas ou não irrigadas) utilizados no cultivo (T x I), de maneira significativa a 1% de probabilidade ( $P \leq 0,001$ ) nas atividades de APX, GPX e SOD em raízes de plantas de girassol aos 7 dias após suspensão da irrigação (Tabela 4). No entanto, aos 5 dias após a suspensão da irrigação, a interação (T x I) mostrou-se não significativo para a enzima APX.

**Tabela 4.** Resumos das análises de variância da atividade das enzimas, peroxidase do ascorbato (APX), peroxidase do guaiacol (GPX) e dismutase do superóxido (SOD) em raízes de plantas de girassol em diferentes substratos (areia; areia + adubo/fertilizante orgânico comercial misto a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 100 kg N ha<sup>-1</sup>; areia + percolado de aterro sanitário a 150 kg N ha<sup>-1</sup>) sob condições controle e estresse hídrico aos 5 e 7 dias após a suspensão da irrigação.

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio					
		APX		GPX		SOD	
		05 dias	07 dias	05 dias	07 dias	05 dias	07 dias
Tratamento (T)	3	0,020*	0,064*	2,97*	1,33*	71,1*	23,74*
Irrigação (I)	1	0,00009 <sup>ns</sup>	0,193*	2,03*	14,06*	367,2*	47,74*
T x I	3	0,002 <sup>ns</sup>	0,040*	0,36*	3,20*	83,1*	26,18*
Erro	32	0,0011	0,0011	0,011	0,008	3,60	2,06
Total Corrigido	39	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	11,2	12,1	6,5	5,7	3,09	2,3

APX = peroxidase do ascorbato; GPX = peroxidase do guaiacol; SOD = dismutase do superóxido; \* $P \leq 0,001$  e ns = não significativo.

Na figura 3 são apresentadas as atividade das enzimas SOD, APX e GPX em raízes de plântulas de girassol aos 5 e 7 dias após a suspensão da irrigação.



**Figura 3.** Atividade das enzimas SOD (A), APX (B) e GPX (C) em raízes de plântulas de girassol aos 05 (1ª coleta) e 07 dias (2ª coleta) depois de submetidas a estresse hídrico crescendo sob condições controle (barras brancas) ou estresse hídrico (barras cinzas). Detalhes adicionais na legenda da figura 1.

Na atividade da SOD nas raízes (Figura 3A), aos 5 e 7 dias após suspensão da irrigação, foram verificadas diferenças entre o controle e o estresse apenas nos tratamentos que receberam percolado. Adicionalmente, aos 7 dias, na condição de estresse, verificou-se uma maior atividade enzimática no tratamento suplementado com percolado a 100 kg N ha<sup>-1</sup>, com diferenças de 5 e 11% em relação aos tratamentos areia e adubo, respectivamente.

No presente trabalho, não foram verificadas atividades da enzima CAT nas raízes das plântulas de girassol.

Aos 5 dias após suspensão da irrigação, nas raízes das plântulas de girassol, não houve diferenças significativas entre os tratamentos controle e estresse na atividade da APX (Figura 3B). No entanto, aos 7 dias após suspensão da irrigação, a atividade da APX mostrou-se mais elevada nas plantas submetidas a estresse em relação aos seus respectivos controles. De maneira adicional, sob condições de estresse, o tratamento 100 kg N (areia + percolado de aterro sanitário) apresentou a maior atividade da APX, com diferenças de 64 e 158% em relação aos tratamentos areia e adubo, respectivamente.

Para a atividade da GPX nas raízes, de modo geral os tratamentos submetidos a estresse hídrico, e suplementados com percolado, apresentaram maiores atividades enzimáticas. Entretanto, nos dois períodos de análise, o tratamento 150 kg N ha<sup>-1</sup> apresentou os maiores valores de atividade da GPX, sendo as diferenças para os tratamentos areia de 138 e 112% e adubo de 94 e 120%, aos 5 e 7 dias após a suspensão da irrigação, respectivamente.

De modo geral, na condição de estresse hídrico, a aplicação de percolado de aterro sanitário promoveu aumentos nas atividades enzimáticas de folhas e raízes em relação aos demais tratamentos. Resultados similares são descritos em estudos com girassol (Manivan et al., 2008; Carneiro et al., 2011) e outras espécies (Azevedo neto et al., 2010; Carneiro et al.; 2015) sob condições de estresse hídrico e salino.

De maneira adicional, há um consenso entre diversos autores sobre os aumentos nas atividades das enzimas antioxidativas em plantas, e seus benefícios no controle ao aumento das ROS e promoção da aclimação das plantas aos estresses abióticos (Willadino et al., 2011; Gondim et al., 2012; Kanungo e Joshi, 2014; Jadoski et al.; 2015).

Verificou-se que nas folhas das plântulas de girassol suplementadas com percolado, a maior atividade da SOD nas condições de estresse, promoveu subsequentemente maiores atividades das peroxidases CAT, APX e GPX em relação aos demais tratamentos. Isto pode ser explicado pelo fato de a SOD ser a primeira enzima envolvida no sistema de defesa das plantas, atuando na dismutação do radical superóxido ( $\text{O}_2^-$ ) em peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), substrato de catálise das peroxidases (Gill e Tuteja, 2010).

No entanto, dentre as enzimas avaliadas nas folhas, a suplementação com percolado de aterro sanitário promoveu aumentos substanciais na atividade da CAT em relação à APX e à GPX. Aos 7 dias após suspensão da irrigação, na condição de estresse hídrico, verificou-se atividades na ordem de 50  $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$  para a CAT, o que comprova ter havido uma maior eliminação de peróxido de hidrogênio nas plântulas dos respectivos tratamentos.

As inferências acima podem ser feitas em virtude da enzima CAT ser a principal enzima a catalisar a eliminação do  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Scandalios, 2005; Jaleet et al., 2009). Além disso, semelhantemente, ao presente trabalho, Akcay et al. (2010), analisando a atividade da CAT em *Arachis hypogaea* L., também verificaram aumentos acentuados da enzima em condições de estresse hídrico. Adicionalmente, os autores afirmaram que a CAT é uma das enzimas mais eficazes na defesa contra processos oxidativos, assim, elevadas atividades em *Arachis hypogaea* L. sob condições de estresse, representariam uma melhor capacidade de aclimação da espécie.

De maneira adicional, Carneiro et al. (2015), avaliando os efeitos de diferentes fontes de nitrogênio no metabolismo antioxidativo em plantas de seringueira, verificaram que os tratamentos que receberam maiores concentrações de N apresentaram maiores atividades de CAT. Dessa forma, é provável que os aumentos na atividade da CAT no presente trabalho, também esteja relacionado ao fornecimento de N através do percolado.

Em relação às raízes, apesar de não terem sido observadas atividades da CAT, verificou-se, maiores atividades da SOD e das peroxidases APX e GPX, nas plântulas suplementados com percolado de aterro e submetidas a estresse hídrico. Sendo mais elevada a atividade da GPX no tratamento 150 kg N ha<sup>-1</sup>, nos dois períodos de coleta.

A APX e a GPX são enzimas que necessitam de agentes redutores para a eliminação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, sendo, portanto, responsáveis pela regulação fina da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, em função da alta afinidade com esta ROS (Ahmad et al., 2010; Silveira et al., 2010; Pereira et al., 2012).

De maneira similar aos resultados verificadas no presente trabalho, Chai et al. (2010), constataram, em raízes de plantas de sorgo submetidas a estresse salino aumentos na atividade da GPX. Adicionalmente, Aumond et al. (2013), identificaram, em raízes de plantas de arroz submetidas a diferentes intensidades de luz, as enzimas APX e GPX como sendo as principais responsáveis pela eliminação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Perante o exposto, são positivos os aumentos de atividades antioxidativas observados nas raízes e folhas das plântulas suplementadas com percolado, em particular as da CAT nas folhas. Deste modo, é provável que os aumentos nas atividades das enzimas antioxidativas teriam contribuído para minimizar os efeitos deletérios do estresse hídrico nas variáveis de crescimento analisadas (número de folhas e área foliar).

#### 4. CONCLUSÕES

1 - A aplicação de percolado de aterro sanitário a 100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup> promoveu os incrementos nas variáveis número de folha e área foliar em relação aos tratamentos areia e adubo, tanto para as condições de controle (plantas irrigadas) como de estresse hídrico (plantas não irrigadas).

2 - O estresse hídrico promoveu redução nas no número de folhas e área foliar. No entanto, no tratamento 100 kg N ha<sup>-1</sup> suplementado com percolado de aterro sanitário os efeitos deletérios do estresse hídrico foram minimizados.

3 - A suplementação com percolado de aterro promoveu aumentos significativos nas atividades das enzimas antioxidativas em folhas e raízes de plântulas de girassol.

4 - Acredita-se que as reduções dos efeitos negativos nas variáveis de número de folha e área foliar nos tratamentos que receberam percolado de aterro sanitário, tenham se dado em decorrência das maiores atividades das enzimas antioxidativas, em especial as da CAT nas folhas e GPX nas raízes.

#### 5. REFERÊNCIAS

- AKCAY, U. C.; ERCAN, O.; KAVAS, M.; YILDIZ, L.; YLMAZ, C.; OKTEM, H. A.; YUCEL, M. Drought-induced oxidative damage and antioxidant responses in peanut (*Arachis hygaeae* L.) seedling. **Plant Growth Regulation**, v. 61, p. 21-28, 2010.
- AHMAD, P.; JALEEL, C. A.; SALEM, M. A.; NABI, G.; SHARMA, S. Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. **Critical Reviews in Biotechnology, Boca Raton**, v. 30, p. 161-175, 2010.
- AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; JUNIOR BORELLA; AMARANTE, L.; VILLELA, F. A. Seed vigor, antioxidant metabolism and initial growth

- characteristics of red rice seedlings under different light intensities. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, p. 311-317, 2013.
- AZEVEDO NETO, A. D.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; MELO FILHO, P. A.; SANTOS, R. C. Physiological and biochemical responses of peanut genotypes to water deficit. **Journal of Plant Interactions**, v.5, p. 1-10, 2010.
- BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. de A.; ULISSES, L. W. C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, p. 453-460, 2014.
- BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v.44, p.276-287, 1971.
- CARNEIRO, M. M. L. C.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P. D. de; TEIXEIRA, S. B.; SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; MORAES, D. M. de. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 752-761, 2011.
- CARNEIRO, M. M. L. C.; GOMES, M. P.; SANTOS, H. R. B.; REIS, M. V. dos; MENDONÇA, A. M. das C.; OLIVEIRA, L. E. M. de. Fotorrespiração e metabolismo antioxidante em plantas jovens de seringueira cultivadas sob diferentes fontes de nitrogênio ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, p. 66-73, 2015.
- CANTO, T. do; PICH, C. T.; GEREMIAS, R. Bioensaio de toxicidade em percolados no aterro sanitário do município de Araranguá (Santa Catarina, Brasil). **Revista Biociências**, v. 19, p. 53-60, 2013.
- CERQUEIRA, R. C.; COSTA, J. M.; CHAVES, M. M.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia e metabolismo foliar em duas variedades de videira sujeitas a um ciclo de déficit hídrico e reidratação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, p. 211-217, 2015.
- CHAI, Y. Y.; JIANG, C. D.; SHI, L.; SHI, T. S.; GU, W. B. **Effects of exogenous spermine on sweet sorghum during germination under salinity**. **Biologia Plantarum**, v. 54, p. 145-148, 2010.
- COELHO, D. C. L.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M. da. MESQUITA, F. O. Produção de capim elefante utilizando percolado de aterro sanitário. **Bioscience Journal**, v. 31, p. 830-840, 2015.
- DEUNER, C.; MAIA, M. de S.; DEUNER, S.; ALMEIDA, A. da S.; MENEGHELLO, G. E. Variabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão miúdo submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 713-722, 2011.
- DEUNER, S.; ALVES, J. D.; FRIES, D. D.; ZANANDREA, I.; LIMA, A. A.; HENRIQUE, P. de C.; GOULARTE P. de F. **Revista Ceres**, v. 55, p. 135-140, 2008.
- DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F.; PAIM, L. R.; SCALON, S. de P. Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de

fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2657-2668, 2012.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. **World Food and Agricultura**, Rome, 2013, 134 p.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909-930, 2010.

GONDIM, F. A.; MIRANDA, R. S.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J. T. Enhanced salt tolerance in maize plants induced by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> leaf spraying is associated with improved gas Exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 25, p. 251-260, 2012.

GHOBADI, M.; TAHERABADI, S.; GHOBADI, M.; MOHAMMADI, G.; JALALI-HONARMAND, S. Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 29-38, 2013.

GLOVATSKI; T. G. G.; RAIHER, A. P. A oferta de matérias primas (oleaginosas) do biodiesel no Brasil e seus determinantes: uma análise dos anos de 1991 a 2010. **Estudo & Debate**, v. 20, p. 07-32, 2013.

GOMES, K. R.; SOUSA, G. G. de; LIMA, F. A.; VIANA, T. V. de A.; AZEVEDO, B. M. de; SILVA, G. L. da. Irrigação com água salina na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) em solo com biofertilizante bovino. **Irriga, Botucatu**, v. 20, p. 680-693, 2015.

HAVIR, E.; McHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalases in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v.84, p.450-455, 1987.

JADOSKI, C. J.; RODRIGUES, J. D.; SORATTO, R. P.; SANTOS, C. M. dos; RIBEIRO, E. Ação fisiológica da piraclostrobina na assimilação de CO<sub>2</sub> e na atividade de enzimas antioxidantes em plantas de feijão em diferentes tensões de água no solo. **Irriga**, v. 20, p. 319-333, 2015.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 11, p. 1-6, 2009.

KANUNGO, M.; JOSHI, J. Impact of Pyraclostrobin (F-500) on crop plants. **Plant Science Today, Trivandrum**, v. 3, p. 174-178, 2014.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v.57, p.315-319, 1976.

KARUPPANAPANDIAN, T.; MOON, J.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction,

and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, p. 709-725, 2011.

- MANIVANNAN, P.; JALEEL, C.A.; SANKAR, B.; KISHOREKUMAR, A.; SOMASUNDARAM, R.; LAKSHMANAN, G. M. A.; PANNEERSELVAM, R. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 59, p. 141-149, 2007.
- MILLER, G.; SUZUKI, N.; ÇIFTÇI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, p. 453-467, 2010.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant & Cell Physiology**, v.22, p.867-880, 1981.
- National Sunflower Association. **Sunflower sustainability: the substance behind the seed**, 2010. Disponível em: <[https://www.sunflowernsa.com/uploads/resources/540/sustainability-use\\_layout-1.pdf](https://www.sunflowernsa.com/uploads/resources/540/sustainability-use_layout-1.pdf)>. Acesso em: 12 de mar. de 2016.
- NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; CARDOSO, J. A. F. Produção de girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 929-937, 2011.
- PEREIRA, J. W. de L.; MELO FILHO, P. de A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 766-773, 2012.
- REN, J.; SUN, L. N.; ZHANG, Q. Y.; SONG, X. S. Drought tolerance is correlated with the activity of antioxidante enzymes in *Cerasus humilis* seedlings. **BioMed Research International**, v. 2016, p. 1-9, 2016.
- SANTOS, D. dos; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p. 836-842, 2012.
- SANTOS, J. C. C. dos; SILVA, C. H. da; SANTOS, C. S. dos; SILVA, C. de S.; MELO, E. B.; BARROS, A. C. Análise de crescimento e evapotranspiração da cultura do rabanete submetido a diferentes lâminas de água. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.9, p. 151-156, 2014.
- SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; NETO, J. D.; NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; VIÉGAS, R. A. Crescimento e produção do pinhão-manso irrigado com água residuária sob condições de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 621-629, 2011.
- SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.

(editores). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 1. ed. Fortaleza: INCTSal. 2010. cap. 11, p. 161-185.

- 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.
- SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, p. 1-26, 2012.
- SHEHAB, G. G.; AHMED, O. K.; EL-BELTAGI, H. S. Effects of Various Chemical Agents for Alleviation of Drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 38, p. 139-148, 2010.
- WILLADINO, L.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; SILVA JUNIOR, E. A.; GOUVEIA NETO, A.; CAMARA, T. R. Estresse salino em duas variedades de cana-de-açúcar: enzimas do sistema antioxidativo e fluorescência da clorofila. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 417-422, 2011.
- WULLSCHLEGER, S.D., YIN, T. M.; DIFAZIO, S. P.; TSCHAPLINSKI, T. J.; GUNTER, L. E.; DAVIS, M. F.; TUSKAN, G. A. Phenotypic variation in growth and biomass distribution for two advanced-generation pedigrees of hybrid poplar. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, p. 1779–1789, 2005.
- XAVIER, D. A.; FURTADO, G. de F.; SOUSA JÚNIOR, J. R. de; SOUSA, J. R. M. de; ANDRADE, E. M. G. Produção de fitomassa do milho sob lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, p. 144-148, 2014.
- ZHANG, M.; DUAN, L.; ZHAI, Z.; LI, J.; TIAN, X.; WANG, B.; HE, Z.; LI, Z. Effects of plant growth regulators on water deficit-induced yield loss in soybean. **Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Crop Science Congress**, Brisbane, Australia, 2004. Disponível em: <[http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/1/3/4/575\\_zhangmc.htm](http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/1/3/4/575_zhangmc.htm)>. Acesso: 08 de mar. de 2016.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Baseado nos estudos realizados nesse trabalho, é possível o aproveitamento e a utilização de percolado de aterro sanitário no cultivo de plantas de girassol. A suplementação em plântulas de girassol (*Helianthus annuus* L.) com percolado influenciou positivamente as variáveis de crescimento e vários processos fisiológicos e bioquímicos nas condições de estresse hídrico, revertendo parcialmente os efeitos deletérios do déficit hídrico.

No primeiro capítulo, realizou-se a análise comparativa entre dois híbridos de girassol desenvolvidos pela EMBRAPA (BRS 323 e BRS 324) visando à escolha daquele que melhor se aclimataria à condição do local de estudo (clima tropical quente subúmido). Dos resultados encontrados, para as variáveis germinativas, biométricas e de vigor, o cultivar BRS 323 se mostrou mais aclimatado às condições experimentais empregadas. Portanto, escolheu-se o cultivar BRS 323 para os experimentos subsequentes com o uso de percolado de aterro sanitário como fonte nutricional das plântulas de girassol.

No segundo capítulo, foram analisadas as respostas do híbrido BRS 323 à aplicação de percolado de aterro sanitário (em diferentes concentrações) nos parâmetros germinativos, de matéria e nos teores relativos de clorofila. Os resultados demonstraram que o percolado de aterro sanitário, nas condições experimentais empregadas, não influenciou o percentual de emergência (%E) das plântulas de girassol, tampouco foram observadas anomalias nas plântulas até os 30 dias após a semeadura. Adicionalmente, os valores de matéria seca total e teores relativos de clorofila evidenciaram a possibilidade da aplicação do percolado como fonte de nutrientes para plântulas de girassol.

No terceiro capítulo, utilizaram-se diferentes concentrações de percolado de aterro sanitário na análise de curvas de respostas nas variáveis biométricas e de vigor. Verificou-se que a utilização do percolado de aterro sanitário promoveu incrementos em todos os parâmetros analisados (altura, diâmetro do coleto, número de folhas e matéria seca da raiz, parte aérea e total) em relação ao controle (ausência de percolado), especialmente no tratamento de 100 kg N ha<sup>-1</sup>, que apresentaram curvas de respostas estimadas por equações quadráticas e cúbicas com valores de R<sup>2</sup> variando próximos ou iguais a 1. Não foram observados efeitos inibitórios do percolado no crescimento inicial das plântulas de girassol nas condições experimentais empregadas.

Já no quarto capítulo, buscou-se avaliar as trocas gasosas em plantas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico.

Verificou-se maior capacidade de aclimação ao estresse hídrico nas plântulas de girassol que receberam o percolado de aterro sanitário. Houve maior produção de matéria fresca e maiores taxas fotossintéticas nos tratamentos suplementados com percolado a 100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>, tanto em condições controle como de estresse hídrico. No entanto, em condições de estresse hídrico, o tratamento suplementado com percolado a 100 kg N ha<sup>-1</sup> apresentou produção de matéria fresca mais elevada do que aquele contendo 150 kg N ha<sup>-1</sup>.

No quinto capítulo, avaliaram-se o crescimento foliar (número de folhas e área foliar) e as atividades das enzimas antioxidativas (SOD, APX, GPX e CAT) em folhas e raízes de plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. Em relação aos parâmetros foliares, o tratamento 100 kg N ha<sup>-1</sup> suplementado com percolado de aterro sanitário obteve os melhores incrementos no número de folhas e área foliar. Além disso, verificaram-se aumentos nas atividades das enzimas antioxidativas em folhas e raízes de plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário. Assim, sugere-se que as reduções dos efeitos deletérios nas variáveis foliares dos tratamentos suplementados com percolado de aterro sanitário tenham ocorrido em virtude das maiores atividades das enzimas antioxidativas, especialmente as da CAT nas folhas e GPX nas raízes.

Perante o exposto, concluiu-se que o percolado de aterro sanitário pode ser aproveitado na agricultura como fonte de nutrientes para a produção do girassol (*Helianthus annuus* L. ) cultivar BRS 323. No entanto, são necessários estudos adicionais em campo a fim de verificar uma possível fitotoxicidade advinda de sua composição físico-química (presença de metais pesados, condutividade elétrica e pH), em todo o ciclo da cultura. Ressalte-se que no presente trabalho a aplicação de percolado no substrato de cultivo das plântulas mostrou-se eficaz em minimizar os efeitos deletérios do estresse hídrico.

## **ANEXOS**

Submissões Ativas x Francisco

conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/author



USUÁRIO  
Logado como:  
holanda10  
Perfil  
Sair do sistema

TAMANHO DE FONTE  
A A A

CAPA SOBRE PÁGINA DO USUÁRIO PESQUISA ATUAL ANTERIORES NOTÍCIAS

Capa > Usuário > Autor > Submissões Ativas

## SUBMISSÕES ATIVAS

ATIVO ARQUIVO

ID	DATA ENVIADA	SEÇÃO	AUTORES	TÍTULO	SITUAÇÃO
863	20-05	ART	Nunes Junior, Gondim, Braga	CRESCIMENTO INICIAL DE DOIS CULTIVARES DE GRASSOL SOB...	EMEDIÇÃO

INICIAR NOVA SUBMISSÃO  
CLIQUE AQUI para iniciar os cinco passos do processo de submissão.

Ajuda do sistema

AUTOR  
Submissões  
Ativo (1)  
Arquivo (0)  
Nova submissão

CONTEÚDO DA REVISTA

Pesquisa  
  
 Todos

Procurar  
 Por Edição  
 Por Autor  
 Por título

PKP Submissões Ativas x Francisco

revista.ufr.br/index.php/agroambiente/author

# REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE

CAPA SOBRE PÁGINA DO USUÁRIO PESQUISA ATUAL ANTERIORES NOTÍCIAS DIRETRIZES AOS AUTORES

*Capa > Usuário > Autor > Submissões Ativas*

## SUBMISSÕES ATIVAS

ATIVO ARQUIVO

ID	MM-DD ENVIADO	SEÇÃO	AUTORES	TÍTULO	SITUAÇÃO
3193	12-11	ACO	Nunes Junior, Gondim, Braga, Barbosa	EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE GIRASSOL...	EM EDIÇÃO

1 a 1 de 1 itens

### INICIAR NOVA SUBMISSÃO

CLIQUE AQUI para iniciar os cinco passos do processo de submissão.

Revista Agroambiente On-line ISSN 1982-8470 (online), www.agroambiente.ufr.br. E-mail: agroambiente@ufr.br. Este obra está licenciado com uma Licença Creative Commons Atribuição-SemDerivações-SemDerivados 3.0 Brasil.



IDIOMA  
 Seleccione o idioma  
 Português (Brasil) ▼  
 Submeter

OPEN JOURNAL SYSTEMS  
 Ajuda do sistema

USUÁRIO  
 Logado como: **holanda10**  
 Meus periódicos  
 Perfil  
 Sair do sistema

AUTOR  
 Submissões  
 Ativo (1)  
 Arquivo (0)  
 Nova submissão

CONTEÚDO DA REVISTA  
 Pesquisa

Sistema Online de Subm: X Francisco

submissao.agriambi.com.br

Revista Brasileira de  
**ENGENHARIA AGRICOLA E AMBIENTAL**  
agriambi

**Dados do Artigo**

[Página inicial](#) [Sair do sistema](#)

**Protocolo:** 138-2015  
**Data de Protocolo:** 16/09/2015  
**Título:** Chorume de aterro sanitário como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plantas de girassol  
**Área:** Manejo de Solo, Água e Planta  
**Versão:** Primeira  
**Data da Versão:**  
**Status:** Com equipe editorial  
**Data de Aceitação:**

---

**Arquivos Vinculados ao Artigo**

Pedimos que o parecer seja dado tomando como base o arquivo **mais recente** da listagem abaixo.

Descrição	Nome do Arquivo	Enviado em:
Primeira versao do autor	<a href="#">Mon Aug 10 22:42:48 -0300 2015 - ARTIGO SUBMETIDO À AGRIAMBI EM 10-08-2015.docx</a>	 <b>Offline</b> - Deixe uma mensagem

PKP IRRIGA x Francisco

← → C revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga

# IRRIGA

BRAZILIAN JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE

CAPA SOBRE ACESSO CADASTRO PESQUISA ATUAL ANTERIORES NOTÍCIAS

Capa > IRRIGA

## IRRIGA

A Revista IRRIGA (Brazilian Journal of Irrigation and Drainage) foi fundada em 1985 pelo Prof. Emérito Antonio Evaldo Klar e destinada inicialmente a divulgar os trabalhos científicos desenvolvidos no Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem da Faculdade de Ciências Agronômicas, campus Botucatu, da Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho". Durante 20 anos seu foco principal foram publicações em português, espanhol e inglês nas áreas de Irrigação e Drenagem, Hidrologia, Agrometeorologia e Relações Água-Solo-Planta-Atmosfera.

Desde 2015 foi instaurado o sistema DOI (Digital Object Identifier) nos seus artigos junta à CrossRef, e todos seus artigos desde 2010 encontram-se com DOI assinado.

Se oferece serviço de tradução de artigos do português ao inglês para aqueles artigos que são aceitos para publicação na revista a preço de custo. Aqueles artigos traduzidos com este serviço são publicados na revista em ambos os idiomas.

Suas bases de indexação são: CAB International Full-Text Repository, AGRIS, AGROBASE, SEER/IBICT, Portal de Periódicos CAPES, LATINDEX, SCOPUS, Biblioteke, ABEC, Ulrichsweb



# IRRIGA

[Ajuda do sistema](#)

**USUÁRIO**

Login

Senha

Lembrar usuário

**IDIOMA**

Selecione o idioma

**CONTEÚDO DA REVISTA**

Pesquisa

Escopo da Busca

**Procurar**

- Por Edição
- Por Autor
- Por título
- Outras revistas

**TAMANHO DE FONTE**

Artigo 5 Enzimas 1....docx

Mostrar todos os downloads...

Ambiente & Água - An In: X Francisco

www.ambi-agua.net/splash-seer/



**Revista Ambiente & Água**  
An Interdisciplinary Journal of Applied Science

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

DOI: 10.4136/1980-993X  
ISSN: 1980-993X

PERIÓDICOS  
CIENTÍFICOS  
UNITAU

f t v a

QUALIS  
CAPES

SciELO

Revista Ambiente e Água

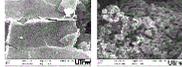
Indicador	2007-2014	Value
SJR		0.15
Cites per doc		0.2
Total		10

Mostrar todos os downloads...

Artigo 5 Enzimas 1....docx

ÚLTIMA EDIÇÃO:  
Last Edition

V11 N1 (2016)  
(Jan.-Março/January-March)



Próxima edição: Abril-Junho 2016  
Next edition: April-June 2016

ESTATÍSTICAS/STATISTICS:

Artigos Publicados/Papers:  
505

Avaliadores Cadastrados  
Atuais/Registered Evaluators Current:  
904

Em 31/12/2015: Painel de  
Avaliadores  
On 31/12/2015: Panel of Reviewers

Links de Acesso / Access Link / Enlaces de Acceso

Português	English	Español
A Revista	The Journal	La Revista
Indexadores	Indexing	Indexadores
Último Volume Publicado	Last edited volume	Último volumen publicado
Edições Anteriores	Archives	Archivos
Consultar Artigos	Consult Articles	Consulte los articulos
Revisores	Reviewers	Revisores
Diretrizes para Autores	Author Guidelines	Normas para los autores
Submissão	Submission	Sumisión
Taxas	Fees	Tasas
Contato	Contact	Contacto