

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

CULTURA DO GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)
CULTIVADO EM LISÍMETRO SOB AMBIENTE
PROTEGIDO

Autor: Alisson Macendo Amaral
Orientador: Marconi Batista Teixeira

Rio Verde – GO
Novembro - 2014

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

CULTURA DO GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)
CULTIVADO EM LISÍMETRO SOB AMBIENTE
PROTEGIDO

Autor: Alisson Macendo Amaral
Orientador: Marconi Batista Teixeira

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em Ciências Agrárias - Agronomia, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde - Área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

Rio Verde – GO
Novembro - 2014

Amaral, Alisson Macendo

A485c Cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivado em lisímetro sob ambiente protegido / Alisson Macendo Amaral. – Rio Verde. – 2014.
81 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, 2014.

Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira.

Bibliografia

1. *Helianthus annuus* L.. 2. Manejo da irrigação. 3. Cálculo de incerteza. I. Título. II. Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-GRONOMIA**

**CULTURA DO GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)
CULTIVADO EM LISÍMETRO DE PESAGEM SOB
AMBIENTE PROTEGIDO**

Autor: Alisson Macendo Amaral
Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 28 de novembro de 2014.

Prof. Dr. Lucas Melo Vellame
Avaliador externo
UFG/GO

Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho
Avaliador externo
UFS/SE

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Presidente da banca
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares
Avaliador interno
IF Goiano/RV

AGRADECIMENTOS

A Deus, força e alimento superiores em todos os momentos.

Aos meus pais Nivaldo e Maria Socorro, pela vida, amor e educação dados de forma gratuita.

Aos meus irmãos Hudson e Cíntia, pelo carinho e confiança depositados.

Aos professores Marconi, Fred e Lucas, pessoas iluminadas e simples que se tornaram grandes amigos e orientadores contribuindo na formação pessoal e profissional.

Aos amigos Allan, Edvaldo, Charles, Cássio, Vitor, Wilker, Fabiano, Welma, Lenise, Gleiciane e Fernando Cabral, pela força, trabalho e momentos de descontração.

Aos professores Gustavo Haddad e Paola Lo Monaco, pela amizade e orientação, cujos ensinamentos me direcionaram ao caminho da docência.

Aos amigos professor Raimundo Gomes e Tarcísio, pelo incentivo ao ingresso no programa de pós-graduação.

Aos integrantes do Laboratório de Hidráulica e Irrigação, Fisiologia Vegetal e Secagem e Armazenamento, pela contribuição dada na condução das análises do experimento.

A todos os meus alunos cujo compartilhamento de saberes incentivam a busca pelo entendimento.

Aos Institutos Federais Goiano – Campus Rio Verde e do Norte de Minas – Campus Arinos, bem como amigos e colegas servidores por oportunizarem mais um nível de formação.

BIOGRAFIA DO AUTOR

É natural de Montes Claros – MG, filho de Nivaldo Macendo Amaral e Maria Socorro Amaral. Em 2004, ingressou no Centro Federal de Educação Tecnológica de Januária-MG cursando a graduação em Tecnologia em Irrigação e Drenagem, recebendo a titulação no ano de 2007. Nesse mesmo ano e mesma instituição, agora chamada de Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Januária foi docente substituto nos cursos Técnico em Agropecuária, Técnico em Meio Ambiente, Bacharelado em Agronomia e Tecnologia em Irrigação e Drenagem. No ano de 2009, ingressou no campus Arinos – MG, da mesma rede ora citada como docente efetivo lecionando nos cursos Técnico em Agropecuária e Meio Ambiente e nos cursos de graduação de Tecnologia em Produção de Grãos e de Tecnologia em Gestão Ambiental. Em 2013, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde a nível de mestrado.

ÍNDICE GERAL

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS.....	ix
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	05
1.1 Referências bibliográficas.....	08
2 OBJETIVOS.....	14
3 CAPÍTULO I Incerteza do manejo da irrigação utilizando lisímetros de pesagem	15
RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	16
3.1 INTRODUÇÃO	17
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.2.1 Lisímetros.....	21
3.2.2 Avaliação de sistemas de medição.....	23
3.2.3 Calibração com massas de referência.....	28
3.2.4 Efeito da temperatura.....	29
3.2.5. Manejo da irrigação com lisímetro de pesagem.....	29
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
3.4 CONCLUSÕES.....	40
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
4 CAPÍTULO II Reposição hídrica com água salina baseada em lisímetro de pesagem associados a adubação nitrogenada na cultura do girassol	45
RESUMO.....	45
ABSTRACT.....	46
4.1 INTRODUÇÃO.....	47
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.4 CONCLUSÕES.....	63
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
5 CONCLUSÃO GERAL.....	67

INDÍCE DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO I Incerteza do manejo da irrigação utilizando lisímetros de pesagem	
TABELA 1 Características técnicas das células de carga L-250 e L-500.....	22
TABELA 2 Características técnicas do módulo indicador de pesagens.....	22
TABELA 3 Características técnicas do sistema de aquisição de dados.....	23
TABELA 4 Massa dos lisímetros no ponto de murcha (MPm), na capacidade de campo (MCC), da água disponível (MCAD), do percentual de reposição hídrica (RH) e massa do lisímetro em relação à reposição hídrica considerada (MT).....	30
TABELA 5 Erros máximo absoluto (EMA), de histerese, de linearidade e repetitividade em quilogramas (Kg) e percentual da medição (%M) dos sistemas de medição.....	33
TABELA 6 Efeito da temperatura, incerteza em percentual de leitura, incerteza em quilo, percentual da leitura, unidade de evapotranspiração e incerteza teórica em unidade de evapotranspiração para os sistemas de medição.....	36
TABELA 7 Erro máximo absoluto e incerteza em quilo e percentual da medição nos quatro lisímetros.....	37
CAPÍTULO II Reposição hídrica com água salina baseada em lisímetro de pesagem associados a adubação nitrogenada na cultura do girassol.....	
TABELA 1 Resumo da análise de variância das características altura de planta da cultura do girassol.....	53
TABELA 2 Resumo da análise de variância das características diâmetro de capítulo da cultura do girassol.....	54
TABELA 3 Valores médios de diâmetro de caule de girassol (mm) aos 30, 50 e 70 DAS para os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e adubação nitrogenada.....	56
TABELA 4 Resumo da análise de variância da característica número de folha aos 20, 30, 50 e 70 dias após semeadura.....	57

TABELA 5 Resumo da análise de variância da característica número de área foliar aos 20, 30, 50 e 70 dias após semeadura.....	57
TABELA 6 Valores médios de número de folhas e área foliar de girassol em relação à condutividade elétrica da água de irrigação aos 30, 50 e 70 DAS.....	59
TABELA 7 Resumo da análise de variância das características matéria seca de folha e de caule da cultura do girassol aos 20, 30 e 90 dias após semeadura.....	59
TABELA 8 Valores médios de matéria seca de folha e matéria seca de caule em relação à condutividade elétrica da água de irrigação aos 30 e 90 dias após semeadura.....	60
TABELA 9 Resumo da análise de variância das características diâmetro interno de capítulo (DICAP) aos 70 e 90 dias após semeadura, matéria seca de capítulo (MSCAP), massa de aquênios (MA) e número de aquênios (NA) da cultura do girassol.....	61
TABELA 10 Valores médios de diâmetro de capítulo (DICAP) aos 70 dias após semeadura, massa de aquênios (MA) e número de aquênios (NA) de girassol.....	

INDÍCE DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO I Incerteza do manejo da irrigação utilizando lisímetros de pesagem	
FIGURA 1 Distinção entre os erros sistemáticos e aleatórios.....	20
FIGURA 2 Visão parcial do experimento.....	21
FIGURA 3 (a) Lisímetros de pesagem e (b) conjunto célula de carga e suporte articulado.....	22
FIGURA 4 Esquema de ligação do SM1 e parte da programação do datalogger responsável pela leitura da informação do lisímetro 3.....	24
FIGURA 5 Esquema de ligação do SM2 e parte da programação do datalogger responsável pela leitura da informação do lisímetro 3.....	26
FIGURA 6 Esquema de ligação do SM3 e parte da programação do datalogger responsável pela leitura da informação do lisímetro 3.....	26
FIGURA 7 Esquema de ligação do SM4 e parte da programação do datalogger responsável pela leitura da informação do lisímetro 3.....	27
FIGURA 8 Curva de resposta real (a, c, e, g) e desvios em relação à massa aplicada (b, d, f, h) nos sistemas de medição 1, 2, 3 e 4, respectivamente.....	32
FIGURA 9 Variação de massa do sistema de medição e da temperatura em 24 horas.....	35
FIGURA Variação capacidade de água disponível nos lisímetros, em percentual, em função de dias.....	38
FIGURA 11 Tendência dos desvios em relação às massas aplicadas nos lisímetros antes e depois do cultivo do girassol.....	39
CAPÍTULO II Reposição hídrica com água salina baseada em lisímetro de pesagem associados a adubação nitrogenada na cultura do girassol	
FIGURA 1 Croqui experimental.....	50
FIGURA 2 Disposição parcial do sistema de irrigação no experimento.....	51
FIGURA 3 Altura de planta de girassol em função da reposição hídrica.....	54

FIGURA 4 Diâmetro de caule de girassol em função da reposição hídrica.....	55
FIGURA 5 Número de folhas de girassol em função da reposição hídrica.....	58
FIGURA 6 Área foliar de girassol em função da reposição hídrica.....	58
FIGURA 7 Matéria seca de folha aos 30 (MSF30) e 90 (MSF90) DAS e matéria seca de caule aos 90 DAS (MSC90) de girassol em função da reposição hídrica.....	60
FIGURA 8 Diâmetro de capítulo aos 70 DAS, matéria seca de capítulo e massa de aquênios (a); e número de aquênios (b) de girassol em função da reposição hídrica..	61

LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

A/D - Analógico / digital

AF - Área foliar

AP - Altura de planta

CAD - Capacidade de água disponível

CC - Capacidade de campo

CEa - Condutividade elétrica da água de irrigação

CEad - Condutividade elétrica desejada

Ceai - Condutividade elétrica inicial

Cel - Célula de carga

CN - Capacidade Nominal

Cv - cultivar

DAE - Dias após emergência

DBC - Delineamento em blocos ao acaso

DC - Diâmetro de caule

DICAP - Diâmetro interno de capítulo

DN - Nível de adubação nitrogenada

EMA - Erro máximo absoluto

FV - Fontes de variação

GL - Graus de liberdade

ha - Hectare

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

ISO - International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology

MAG - Massa de aquênios granados

MANG - Massa de aquênios não granados

MCAD - massa da capacidade de água disponível

MPm - Massa do ponto de murcha

MSC - Matéria seca de caule

MSF - Matéria seca de folha

MT - Massa do tratamento

MTA - Massa total de aquênios

NaCl - Cloreto de sódio

NAG - Número de aquênios granados

NANG - Número de aquênios não granados

NF - Número de folhas

NTA - Número total de aquênios

PM - Ponto de Murcha

PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

QNaCL - Quantidade de cloreto de sódio

RH - Reposição hídrica

SM - Sistema de medição

SM's - Sistemas de medição

VIM - Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia

% - Porcentagem

%M - Percentual da medição

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

I_E - Incerteza da tensão de excitação

I_S - Incerteza do sinal medido

I_V - Incerteza da tensão efetiva de excitação.

E - tensão de alimentação das células de carga

ET - Evapotranspiração

Hz - Hertz

I_{c1} - Incerteza na medição da célula de carga 1;

I_{c2} - Incerteza na medição da célula de carga 2;

I_{c3} - Incerteza na medição da célula de carga 3.

I_M - Incerteza na medição

K - Constante aproximadamente igual a 1.

Kg - Quilograma

L - Litro

L h⁻¹ - Litro por hora

M - Medição da massa

m² - Metro quadrado

m³ - Metro cúbico

mm - Milímetros de água no solo

mV - Milivolt

mV V⁻¹ - Milivolt por volt

^{ns} - Não significativo

° C - Graus Celsius

R² - Coeficiente de determinação

V - Volt

V- Tensão efetiva de alimentação medida

ρ - Coeficiente de correlação

σ - Desvio padrão

C1 - Medição da massa na célula de carga 1

C2 - Medição da massa na célula de carga 2

C3 - Medição da massa na célula de carga 3

I - Incerteza da medição

n - Número de medições;

t - Coeficiente de Student para X medições a 95% de confiabilidade;

RESUMO

AMARAL, ALISSON MACENDO. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, novembro de 2014. Cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivado em lisímetro sob ambiente protegido. Marconi Batista Teixeira (Orientador); Frederico Antônio Loureiro Soares (Coorientador); Lucas Melo Vellame (Coorientador).

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma das oleaginosas que possui destaque no cenário agrícola nacional capaz de suprir parte da demanda bioenergética do país. Apesar de características de resistência a seca e adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas estudos demonstram que essa cultura é sensível a variação da quantidade e qualidade da água no solo. Objetivando definir a configuração usada em lisímetros de pesagem com menores incertezas de medição e aplicá-la no manejo de diferentes reposições hídricas com água de condutividade elétrica alterada no girassol associado a níveis de adubação nitrogenada o presente estudo foi dividido em dois experimentos. No primeiro foram testados quatro sistemas de medição (SM1, SM2, SM3 e SM4) em que no SM1 as células de carga foram interligadas à caixa de junção e esta ao módulo indicador de pesagem por configuração de 6 fios, cuja comunicação entre o datalogger e o módulo indicador foi através da interface padrão RS232. No SM2 a ligação entre a caixa de junção ao datalogger foi a 4 fios. No SM3 o datalogger e a caixa de junção foram interligados por configuração de 6 fios, enquanto no SM4 as células de carga foram ligadas ao datalogger diretamente. Determinou-se os erros máximo absoluto, histerese, linearidade, repetitividade, a incerteza geral, a incerteza na excitação e medição das células de carga e a incerteza na excitação e leitura do datalogger para cada sistema de medição. Observou-se que o SM1 reportou os menores erros e incertezas e foi considerado o de maior acurácia, cujas incertezas de medição do sinal e excitação pelo datalogger foram mais expressivas na incerteza geral dos sistemas de medição que a influência da temperatura do ar. No segundo experimento, o delineamento usado foi o de blocos ao acaso, analisado

em esquema fatorial 4x2x2 com três repetições, sendo quatro reposições hídricas (25, 50, 75 e 100%) da capacidade de água disponível no solo (RH); dois tipos de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) correspondentes a 0,6 e 3,0 dS m⁻¹ e 2 níveis de adubação nitrogenada (DN) iguais a 100 e 200% da dose recomendada pela análise de solo. O experimento foi realizado em vasos de 60 L em ambiente protegido cuja RH foi manejada através de lisímetros de pesagem totalizando quatro unidades (L1, L2, L3 e L4). Configurou-se os lisímetros com as especificações do SM1 e, após todos os vasos e lisímetros elevados a umidade da capacidade de campo, cultivou-se 10 sementes por vaso/lisímetro do cultivar Charrua. As irrigações foram realizadas com turno de rega de 2 dias até aos 12 dias após semeadura (DAS) e a partir dessa data foram impostos os tratamentos de RH e CEa. Os níveis de adubação nitrogenada foram parcelados em três aplicações, com a primeira na fundação, a segunda na floração inicial e a terceira na fase de desenvolvimento de aquênios. Foram analisadas a altura de planta, o diâmetro de caule e o número de folhas aos 20, 30, 50 e 70 DAS; o diâmetro interno de capítulo aos 70 e 90 DAS; a massa seca de capítulo, a massa total de aquênios, a massa de aquênios granados e não granados; o número total de aquênios e o número de aquênios granados e não granados aos 90 DAS. Em todas as variáveis cujo teste F se mostrou significativo, o aumento da RH favoreceu acréscimos lineares, enquanto os aumentos da CEa e da DN favoreceram reduções, uma vez que os tratamentos só surtiram efeito a partir dos 30 DAS, resultado do tempo de exposição das culturas aos tratamentos impostos.

PALAVRAS-CHAVES: *Helianthus annuus* L, manejo da irrigação, cálculo de incerteza

ABSTRACT

AMARAL, ALISSON MACENDO. Federal Goiano Institute - Campus Rio Verde - GO, November 2014. Sunflower Culture (*Helianthus annuus* L.) grown in lysimeter under protected environment. Marconi Batista Teixeira (Advisor); Frederico Antonio Loureiro Soares (Co-advisor); Lucas Melo Vellame (Co-advisor).

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is one of the oilseeds that has featured in national agricultural scenario able to cover part of bioenergy demand of the country. Despite drought resistance characteristics and adaptability to various soil and climatic conditions studies show that this culture is sensitive to variations in the quantity and quality of water in the soil. In order to define a configuration used in weighing lysimeters with lower measurement uncertainties and apply it in the management of different water replacement with electrical conductivity of water changed in sunflower associated with N levels this study was divided into two experiments. In the first were tested in the first four measuring systems (SM1, SM2, SM3 and SM4) being that in the SM1 the load cells were connected to junction box and that to the weighing indicator module by 6-wire configuration, which the communication between the datalogger and the indicator module was through the standard interface RS232. In SM2 in the connection between the junction box to the data logger was by 4-wires. In SM3 the datalogger and the junction box were interconnected by a 6-wire configuration, while SM4 in the load cells were connected directly to the datalogger. It was evaluated the absolute maximum error, hysteresis, linearity, repeatability, the general uncertainty, the uncertainty in the excitation and measurement of load cells and the uncertainty in the excitement and reading the data logger for each measurement system. It was observed that the SM1 reported the smallest errors and uncertainties and was considered the most accurate, which signal measurement uncertainty and excitement by the datalogger was more important in the general

uncertainties of measurement systems then the influence of the air temperature. In the second experiment the used design was the randomized blocks, analyzed in a 4x2x2 factorial scheme with three replications, with four water replacement (25, 50, 75 and 100%) of the available water capacity in the soil(RH); two types of electrical conductivity of irrigation water (ECw) corresponding to 0.6 and 3.0 dS m⁻¹ and 2 levels of nitrogen fertilization (DN) equal to 100 and 200% of the dose recommended by soil analysis. The experiment was conducted in 60 liter pots in a greenhouse whose RH was managed by weighing lysimeters totaling four units (L1, L2, L3 and L4). The lysimeteres were set up with SM1 specifications, and after all the high vessels and lysimeters with hight moisture field capacity were grew 10 seeds per pot / lysimeter of Charrua cultivar. Irrigation was with 2 days irrigation interval up to 12 days after sowing (DAS) and thereafter were imposed the RH and ECw treatments. The N levels were divided into three applications, with the first in the foundation, the second in the initial flowering and the third in achenes development. There were analyzed the plant height, stem diameter, leaf number at 20, 30, 50, and 70 DAS; the inner diameter of the head at 70 and 90 DAS; head dry mass, the total mass of achenes, the mass of and not-grain achenes; the total number of achenes and the number of grain na not-grain achenes at 90 DAS. In all variables whose F test was significant, the RH increased lead to linear grain, while the ECw and DN increases lead to decreases since the treatments were effective only after 30 DAS result of the exposure time of cultures to the tax treatments.

KEY WORDS: *Helianthus annuus* L., irrigation management, uncertainty calculation

1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo de oleaginosas no Brasil tem sido incentivado veementemente em virtude da implantação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) que autorizou, no ano de 2008, a mistura de 2,0% de biodiesel ao óleo diesel comercializado e em 2010 o percentual foi ampliado para 5,0%.

Com o biodiesel, o Brasil inicia um ciclo no setor de energia e reforça a promoção do uso de fontes renováveis e a diversificação da matriz energética, cujas fontes renováveis representam 43,8% da matriz nacional, enquanto a média mundial é de 13,6% e a dos países desenvolvidos correspondente a 6%. Desde o lançamento do PNPB até o final de 2011, o Brasil produziu 8,3 bilhões de litros de biodiesel e conseqüentemente reduziu as importações de diesel em 5,3 bilhões de dólares (BRASIL, 2013)

O Brasil reúne condições ideais para se tornar grande produtor mundial de biodiesel, dispondo de extensas áreas agricultáveis com solo e clima favoráveis ao plantio de diversas oleaginosas. Dentre as diversas culturas oleaginosas exploradas no país o girassol (*Helianthus annuus* L.) tem ganhado destaque no cenário agrícola nacional por possuir características agrônômicas capazes de suprir parte da demanda bioenergética atual (SANTOS JÚNIOR et al., 2011).

Dentre essas características, cita-se a maior resistência a seca se comparada ao sorgo por exemplo, com capacidade de extrair água do solo na proporção de 92% contra 64% (JONER et al., 2011; LEITE et al., 2012; AQUINO et al., 2013), ampla adaptabilidade as diferentes condições edafoclimáticas (SANTOS & GRANGEIRO, 2013) e excelente qualidade do óleo comestível, além de subprodutos como tortas e farinhas para rações animais (SOUZA et al., 2014).

Apesar das características de resistência e adaptabilidade do girassol, diversos estudos como os propostos por (DUTRA et al., 2012; SILVA et al., 2014; SOBRINHO

et al, 2014; SILVA et al., 2012; VIANA et al., 2012; DUARTE et al., 2012) ressaltam que seu desenvolvimento é influenciado pela variação de água no solo, caracterizando sensibilidade dessa cultura ao regime hídrico imposto.

Diversos processos fisiológicos são alterados em função do estresse hídrico, dentre eles, comenta-se o potencial hídrico foliar (BATISTA et al., 2010; PINTO et al., 2014), o conteúdo relativo de água (BEZERRA, 2011; MELO, 2012), a transpiração foliar (TRENTIN et al., 2011; NASCIMENTO, 2011; LAGO et al., 2011), a condutância estomática (GARCIA, 2009; SILVA et al., 2013; NEVES et al., 2014) e a taxa fotossintética (CARNEIRO et al., 2011), entre outros.

Para suprir a demanda hídrica de uma cultura é necessário que se conheça o momento e a quantidade corretos da aplicação de água aos cultivos, o que reforça a necessidade do uso de sistemas de irrigação visando o suprimento total ou parcial do requerimento hídrico (BERNARDO et al., 2008; SOUZA et al., 2011; MAROUELLI et al., 2013) A lâmina aplicada via sistema de irrigação é definida pelo conhecimento da evapotranspiração de água pelas culturas que representa quanto de água do sistema solo-água-plantas foi transferido na forma de vapor à atmosfera (ALLEN et al., 2006) e que deve ser repostado pelo sistema.

Vários métodos são usados em diversos estudos objetivando a quantificação do processo de evapotranspiração nos cultivos como os métodos micrometeorológicos (CONSOLI, 2011; HARRINGTON et al., 2004; KALE, 2013; LONGOBARDI & VILLANI, 2013; SOUZA, 2011; MUNIZ et al., 2014; REIS et al., 2014; CARRASCO-BENAVIDES et al., 2012) e de fluxo de seiva (ARAÚJO et al., 2012; PAMPONET et al., 2012; PIMENTEL et al., 2009; VELLAME et al., 2011), no entanto, aquele considerado o de maior acurácia e referência na calibração dos outros métodos já citados são os lisímetros de pesagem, cujo sistema de medição é baseado em células de carga, que possuem vantagens como automação, armazenamento e coleta de dados em curtos períodos de tempo (DELGADO ROJAS, 2003; VELLAME et al., 2012; KARASAWA, 2006; GABETO e SILVA, 2008; WEGEHENKEL & GERKE, 2013; LIU & LUO, 2010; CRUZ-BLANCO et al., 2014; VICENTE-SERRANO et al., 2014; MARTINEZ et al., 2014; MISRA & PAYERO, 2011).

Para Carvalho e Oliveira (2012) o intervalo de coleta de informações em lisímetros é requisito para sua utilização no manejo da água em cultivos irrigados, pois, nessa fase deve ser realizado o acompanhamento da cultura no campo dia a dia objetivando a quantificação e o fornecimento adequado das necessidades hídricas de uma

cultura. A determinação do consumo hídrico de uma cultura por lisimetria deve ser precedida de avaliações desse equipamento, permitindo analisar a confiabilidade dos dados e conseqüentemente a definição do manejo adequado da irrigação.

Os princípios construtivos e operacionais de um lisímetro como sistema de medição devem ser projetados para operar com redução de erros na sua faixa de medição, em condições de operação, no entanto, qualquer processo de medição está sujeito a erros que devem ser quantificados através do procedimento de calibração (SILVA NETO, 2012). Segundo esse autor, a calibração é o processo que estabelece a relação entre valores padrões e as incertezas associadas à medição visando um resultado de medição.

O resultado de uma medição ou calibração só é considerado completo se a incerteza na medição for informada, uma vez que esse parâmetro expressa como o resultado da medição representa a grandeza medida, permitindo o usuário do sistema de medição avaliar a confiabilidade deste e sua aplicação.

Dessa forma, a aplicação de lisímetros de pesagem que reportem menores incertezas associadas a quantificação da evapotranspiração é de suma importância para o uso racional dos recursos hídricos e a determinação correta da estimativa e fornecimento das necessidades hídricas das culturas.

Em regiões áridas e semiáridas, o manejo inadequado da irrigação e a existência de elevada evapotranspiração e de precipitações insuficientes para lixiviar os sais do solo contribuem com o acúmulo de sais, causando a salinização das áreas irrigadas (NOBRE et al., 2011). Segundo Medeiros et al. (2010) problemas com salinização referentes a regiões semiáridas podem ser considerados para sistemas de cultivo em ambiente protegido, visto que tais sistemas dispõem sempre de técnica para irrigação e reposição das necessidades hídricas das culturas e nesses ambientes a inexistência de precipitação concentrada nos períodos chuvosos inibe a lavagem natural dos sais acumulados.

A salinização dos solos depende da qualidade da água usada principalmente na agricultura e, embora um sistema de irrigação consiga suprir total ou parcialmente a água no solo, o excesso de sais limita a sua disponibilidade. (AYERS & WESTCOST, 1999).

Para Freitas et al., (2014), a qualidade inadequada da água de irrigação pode conduzir efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas dos solos e nos rendimentos das culturas. A água é osmoticamente retida na solução salina, de forma que o aumento da concentração de sais a torna cada vez menos disponível para as plantas (HARTER et al., 2014). A tolerância de uma cultura aos sais é a capacidade de suportar os efeitos do excesso de sais na zona radicular, visto que, algumas produzem rendimentos

economicamente aceitáveis a níveis altos de salinidade e outras são sensíveis aos níveis relativamente baixos (FREITAS et al., 2014).

Diversos estudos têm considerado estratégias de adubação nitrogenada objetivando a redução dos efeitos de estresses hídricos e salinos nas culturas (DONGMEI et al., 2012; DONG, 2012). Segundo (BISCARO et al., 2008) o nitrogênio desempenha importante função no metabolismo e na nutrição da cultura do girassol e sua deficiência pode causar desordem nutricional com queda na produção.

Oliveira et al., (2010), consideram que o acúmulo de solutos orgânicos derivados do nitrogênio como aminoácidos e proteínas elevam a capacidade de ajustamento osmótico das plantas à salinidade, aumentando a resistência das culturas ao estresse hídrico e salino. Além disso (NOBRE et al., 2013; LIMA et al., 2012) relatam que, em trabalhos anteriores, verificou-se evidências de competição na absorção entre nitrato e cloreto, de modo que o aumento na concentração de nitrato na zona radicular pode inibir a maior absorção de cloreto pela planta.

Para Campos et al., (2010), devido à escassez dos recursos hídricos, torna-se inevitável o uso da água de qualidade inferior na agricultura. Assim é de suma importância a adoção de técnicas de manejo cultural visando a amenização dos efeitos daninhos da salinidade no desenvolvimento das plantas, de forma que possibilite o uso dessas águas sem que acarrete redução no rendimento das culturas. Desta forma, para a utilização da água de qualidade inferior na agricultura, deve-se adotar o manejo racional, através de alternativas economicamente viáveis, de modo que a cultura desenvolva a produtividade esperada

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, L. A.; SILVA, F. D. B.; BERGER, P. G. Características agrônômicas e estado nutricional de cultivares de girassol irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.5, p.551–557, 2013.

CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVERIA, F. R. A.; SILVA, R. C. P.; CÂNDIDO, W. S. Efeito da salinidade e fontes de nitrogênio na matéria seca do girassol. **Revista Verde**, Mossoró, v.5, n.3, p.165 – 171, julho/setembro, 2010.

ARAÚJO, M. C.; ESTEVES, B. S.; SOUSA, E. F. Método de dissipação térmica para determinação do fluxo de seiva em coqueiro anão-verde. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.558-562, 2012.

BATISTA, L. A.; GUIMARÃES, F. J. P.; CARVALHO, G. R.; CASTRO, E. M. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, CE, v. 41, n. 3, p. 475-481, jul-set, 2010.

BENAVIDES, M. C.; FARIAS, S. O.; LAGOS, L. O.; KLEISSL, J.; MORALES, L.; ECHEVERRÍA, C. P.; ALLEN, R. G. Crop coefficients and actual evapotranspiration of a drip-irrigated Merlot vineyard using multispectral satellite images. **Irrigation Science**, v. 30, p. 485–497, 2012.

BEZERRA, L. L. **Caracterização dos níveis de resistência à salinidade em cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 64p., 2011.

BISCARO, G. A.; MACHADO, J. R.; TOSTA, M. da S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R. P.; CARVALHO, L. A. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.5, p.1366-1373, 2008.

CARNEIRO, M. M. L. **Trocas gasosas e Metabolismo Antioxidativo em plantas de girassol em resposta ao déficit hídrico**. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Pelotas, 42p, 2011.

CONSOLI, S. Evapotranspiration estimation using micrometeorological techniques. In: Evapotranspiration – From measurements to agricultural and environmental applications. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/evapotranspiration-from-measurements-to-agricultural-and-environmental-applications>>. Acessado em: 14/10/2014.

CRUZ-BLANCO, M.; GAVILÁN, P.; SANTOS, C.; LORITE, I. J. Assessment of reference evapotranspiration using remote sensing and forecasting tools under semi-arid conditions. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 33, p. 280-289, 2014.

DELGADO ROJAS, J. S. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação**. Tese (Doutorado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 110p., 2003.

DONG, H. Technology and field management for controlling soil salinity effects on cotton. **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, n. 2, p. 333-341, 2012.

DONGMEI, Z.; LI, W.; XIN, C.; TANG, W.; ENEJI, A. E.; DONG, H. Lint yield and nitrogen use efficiency of field-grown cotton vary with soil salinity and nitrogen application rate. **Field Crops Research**, v. 138, p. 63-70, 2012.

DUARTE, J. M. L.; LIMA, A. D.; NASCIMENTO, R. S.; VIANA, T. V. A.; SARAIVA, K. R.; AZEVEDO, B. M. Eficiência do uso da água na produção de óleo do girassol (*Helianthus annuus* L.), sob suspensão hídrica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v.6, n.º. 3, p. 166 - 175, 2012.

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

FREITAS, L. D. A.; FIGUEIRÊDO V. B.; PORTO FILHO, F. Q.; COSTA, J. C.; CUNHA, E. M. Crescimento e produção do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade e nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.18, (Suplemento), p.S20–S26, 2014.

GABETTO E SILVA, M. **Desenvolvimento de sensor de fluxo de seiva e de coeficiente indicador de estresse hídrico para plantas de cafeeiro arábica**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo dos Goytacazes, RJ, 114p., 2008.

GARCIA, G. O.; MARTINS FILHO, S.; NAZÁRIO, A. A.; MORAES, W. B.; GONÇALVES, I. Z.; MALADÃO, J. C. Estresse hídrico e salino na produção relativa e potencial de água na folha do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 470-480, out.-dez., 2009.

HARRINGTON, R.; STEINWAND, A.; HUBBARD, P.; MARTIN, D.; STROH, J.; OR, D. **Evapotranspiration from Groundwater Dependent Plant Communities: Comparison of Micrometeorological and Vegetation-Based Measurements**. In: <http://www.inyowater.org/ICWD_Reports/ET_study_final_report.pdf>. Acesso em: 14/10/1014.

HARTER, L. S. H.; HARTE, F. S.; DEUNER, C.; MENEGHELLO, G. E.; VILLELA, F. A. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 32, n. 1, jan. - mar. 2014

JONER, G.; METZ, A. M.; ARBOITTE, M. Z.; PIZZUTI, L. A. D.; BRONDANI, I. L.; RESTLE, J. Aspectos agrônômicos e produtivos dos híbridos de girassol (*Helianthus annuus* L.) Helio 251 e Helio 360. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.1 2, n.2, p. 266-273, abr./jun. 2011.

KALE, M. U.; NAGDEVE, M. B.; BAGADE, S. J. Estimation of evapotranspiration with ann technique. **Journal of Indian Water Resources Society**, v. 33, n. 1, january, 2013.
KARASAWA, S. **Evapotranspiração de cafezal semi-adensado irrigado por gotejamento e sua relação com a evapotranspiração de referência**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 95p., 2006.

LAGO, I.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A.; SOUZA, A. T.; SILVA, M. R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.11, p.1415-1423, nov. 2011.

LEITE, M. J. H.; GOMES, A. D. V.; SANTOS, R. V. Cultivo do sorgo forrageiro *Sorghum bicolor* (L.) Moench (*S. vulgare* Pers.) no semiárido. **Revista Verde**. Mossoró – RN, v. 7, n. 4, p. 06-09, out-dez, 2012.

LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SOARES, S. S. Utilização de águas salinas e doses de adubação nitrogenada no cultivo da mamoneira cv. BRS Energia. **Revista Verde**, Mossoró – RN, v. 7, n. 2, p.88-95, abr-jun, 2012.

LIU, Y.; LUO, Y. A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 31-40, 2010.

LONGOBARDI, A.; VILLANI, P. The use of micrometeorological data to identify significant variables in evapotranspiration modeling. **Procedia Environmental Sciences**, v. 19, p. 267 – 274, 2013.

MAROUELLI, W. A.; LAGE, D. A. C.; GRAVINA, C. S.; MICHEREFF FILHO, M.; SOUZA, R. B. Sprinkler and drip irrigation in the organic tomato for single crops and when intercropped with coriander. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza – CE, v. 44, n. 4, p. 825-833, out-dez, 2013.

MARTINEZ, M. S.; QUEMADA, M.; LÓPEZ-URREA, R.; CARPENA, R. M.; LIZASO, J. I. Soil water balance: Comparing two simulation models of different levels of complexity with lysimeter observations. **Agricultural Water Management**, v. 139, p. 53-63, 2014.

MELO, Y. L. **Desempenho agrônômico e caracterização de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto a marcadores fenológicos, fisiológicos e bioquímicos em duas microrregiões edafoclimáticas do Rio Grande do Norte**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 97p., 2012.

MUNIZ, R. A.; SOUSA, E. F.; MENDONÇA, J. C.; ESTEVES, B. S.; LOUSADA, L. L. Balanço de energia e evapotranspiração do capim Mombaça sob sistema de pastejo rotacionado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.1, 47 - 54, 2014.

NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.15, n.8, p.853–860, 2011.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, A. M. E.; SOUZA, C. H. C.; SILVA, J. A.; MAIA, L. S. Trocas gasosas e crescimento do girassol sob irrigação com água salina, biofertilizante e adubo mineral. In: II INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, Fortaleza, 2014. <<http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a745>> Acesso em: 14/10/2014.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 44, n. 1, p. 76-85, jan-mar, 2013.

PAMPONET, B. M.; OLIVEIRA, A. S.; MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M.; PAZ, V. P. S. Efeitos das diferenças térmicas naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método

de Granier em cacauero a pleno sol. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 120 - 132, 2012.

PIMENTEL, J. S.; SILVA, T. J. A.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FOLEGATTI, M. V.; MONTENEGRO, A. A. A. Estimativa da transpiração em cafeeiros utilizando-se sensores de dissipação térmica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.14, n.2, p.187–195, 2010.

PINTO, C. M.; TÁVORA, F. J. A.; PINTO, O. R. O. Relações hídricas, trocas gasosas em amendoim, gergelim e mamona submetidos a ciclos de deficiência hídrica. **Agropecuária Técnica** (On line), v. 35, p. 31-40, 2014. Disponível em:<<http://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/at/index>>. Acesso em: 14/10/2014.

REIS, M. G.; RIBEIRO, A.; BAESSO, R. C. E.; SOUZA, W. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A. Balanço hídrico e de energia para plantios de eucalipto com cobertura parcial do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 117-126, jan.-mar., 2014.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T. Desempenho de cultivares de girassol na microrregião de Campina Grande, PB. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa-PA, v.7, n.2, p.41-47, jun. 2013.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; FREITAS, C. A. S.; PEREIRA FILHO, J. V.; ANDRADE, R. R.; FEITOSA, D. R. C. Morfologia e fitomassa do girassol cultivado com déficits hídricos em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PA, v.16, n.9, p.959–968, 2012.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M.; FREITAS, C. A. S.; AMORIM, A. V.; CARVALHO, L. C. C.; PEREIRA, J. V. Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico para a cultura do girassol nas condições do semiárido cearense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza – CE, v.8, n.º. 1, p. 38 - 51, 2014.

SOBRINHO, S. P.; TIEPPO, R. C.; SILVA, T. J. A. Desenvolvimento inicial de plantas de girassol em condições de estresse hídrico. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, vol.7, n.12; 2011.

SOUZA, A. S. P. **Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo de irrigação**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 70p., 2011.

SOUZA, M. B. A.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, J. G. F.; VICENTE, M. R.; VIEIRA, G. H.; SOARES, A. A. Manejo da irrigação na cafeicultura irrigada por pivô central nas regiões norte do espírito santo e extremo sul da Bahia. **Bioscience Journal**, Uberlândia - MG, v. 27, n. 4, p. 581-590, jul.-ago., 2011.

SOUZA, L. H. B.; PEIXOTO, C. P.; SILVEIRA, P. S.; LEDO, C. A. S.; LIMA, V. P.; SANTOS, A. P. S. G. Características agrônômicas e rendimento de girassol em diferentes épocas de semeadura e populações de plantas no recôncavo da Bahia. **Bioscience Journal**, Uberlândia-MG, v. 30, suplemento 1, p. 90-100, jun., 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ed. Porto Alegre. 918p, 2013.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.6, p.1085-1095, nov.- dez., 2011.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; FRAGA JÚNIOR, E. F. Lisímetro de pesagem e de lençol freático de nível constante para uso em ambiente protegido. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 153-159, jan.- mar., 2012.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 116-122, jan.- mar., 2011.

VIANA, T. V. A.; LIMA, A. D.; MARINHO, A. B.; DUARTE, J. M. L.; AZEVEDO, B. M.; COSTA, S. C. Lâminas de irrigação e coberturas do solo na cultura do girassol, sob condições semiáridas. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 126-136, abr.-jun., 2012.

SERRANO, S. M. V.; MOLINA, C. A.; LORENZO, A. S.; REVUELTO, J.; MORENO, J. I. L.; HIDALGO, J. C. G.; TEJEDA, R. M.; ESPEJO, F. Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961–2011. **Global and Planetary Change**, v. 121, p. 26-40, 2014.

WEGEHENKEL, M.; GERKE, H. H. Comparison of real evapotranspiration measured by weighing lysimeters with simulations based on the Penman formula and a crop growth model. **Journal of Hydrology and Hydrodynamics**, n. 61, v. 2, p. 161–172, 2013.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Definir a configuração de um lisímetro de pesagem eletrônica que possua os menores erros associados no processo de medição e aquisição da variação de massa decorrente da evapotranspiração e aplicá-lo no manejo da reposição hídrica com água de diferentes condutividades elétricas na cultura do girassol associado a adubação nitrogenada.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar as incertezas envolvidas no processo de medição e suas influências na acurácia de diferentes sistemas de medição de massa aplicados a lisímetros de pesagem por células de carga.

- Avaliar o comportamento da cultura do girassol sob diferentes regimes hídricos associados ao aumento da salinidade da água usada na irrigação e níveis de adubação nitrogenada.

3 CAPÍTULO I

Incerteza do manejo da irrigação utilizando lisímetros de pesagem

Uncertainty management of irrigation using weighing lysimeters

(Normas de acordo com a revista Engenharia Agrícola)

RESUMO – A determinação do consumo hídrico de uma cultura por lisimetria deve ser precedida de avaliações desse equipamento, permitindo analisar a confiabilidade dos dados e conseqüentemente a definição do manejo adequado da irrigação. Nesse trabalho foram testados quatro diferentes sistemas de medição (SM1, SM2, SM3 e SM4) aplicados no manejo da irrigação objetivando determinar as incertezas envolvidas no processo de medição da evapotranspiração. O estudo foi conduzido em ambiente protegido localizado no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Brasil, utilizando quatro lisímetros de pesagem dotados de célula de carga e nomeados como L1, L2, L3 e L4 com dimensões diferentes que foram: L1 e L4 com área e volume iguais a 0,502 m² e 0,377 m³, respectivamente; e L2 e L3 com 0,385 m² e 0,289 m³, respectivamente. No SM1 as células de carga foram conectadas a caixa de junção e esta ao módulo indicador de pesagens em configuração de 6 fios. A comunicação entre o módulo indicador e o datalogger foi estabelecido por meio da interface RS232. No SM2 foi feita a ligação a 4 fios interligando a caixa de junção ao datalogger. O SM3 consistiu em uma ligação a 6 fios entre a caixa de junção e o datalogger e para SM4, cada célula de carga foi ligada ao datalogger diretamente. Na quantificação dos erros envolvidos foram determinados o erro máximo absoluto (EMA), histerese, alinearidade e a repetitividade. Foram calculadas a incerteza geral do processo de calibração, a incerteza na excitação e medição das células de carga e a incerteza na excitação e leitura do datalogger. O SM 1 apresentou os menores

erros de medição e incertezas resultando em maior acurácia que os demais no estudo, diferentemente do SM 4 que resultou no pior desempenho e elevados desvios ocasionados pelas incertezas de medição e excitação de três células. O efeito das incertezas de medição do sinal e excitação pelo datalogger tiveram maior peso na incerteza geral do sistema do que a influência da temperatura nas células de carga.

Palavras-chave: Sistemas de medição, erros, acurácia.

ABSTRACT - The determination of the water consumption of a culture by lysimeters should be preceded by assessments of equipment, allowing the analyzing the data reliability and consequently the definition of adequate irrigation management. There were tested four different measuring systems (SM1, SM2, SM3 and SM4) applied in irrigation water management aiming to determine the uncertainties involved in the measurement process of evapotranspiration. The study was conducted in a greenhouse located at the Goiano Federal Institute - Campus Rio Verde, Brazil, using four weighing lysimeter provided with weighing load cell and named as L1, L2, L3 and L4 with different dimensions that were: L1 and L4 with area and volume equal to 0.502 m² and 0.377 m³, respectively; and L1 and L2 with 0.385 m² and 0.289 m³, respectively. In SM1 load cells were connected to junction box and that to the weighing indicator module by 6-wire configuration. Communication between the indicator module and the datalogger was established through the RS232 interface. In SM2 was made a connection by 4-wire connecting the junction box to the datalogger. SM3 consisted of a 6-wire connection between the junction box and the data logger and for SM4, each load cell was connected directly to the datalogger. In quantifying the errors involved were determined the absolute maximum error (MPE), hysteresis, linearity and repeatability. There were calculated the overall uncertainty of the calibration process, the uncertainty in the excitation and measurement of load cells and the uncertainty in the excitement and reading of the data logger. The SM1 had the lowest measurement errors and uncertainties resulting in more accurate than the others in the study, unlike of SM 4 that resulted in the worst performance and large deviations caused by measurement uncertainty and excitement of three cells. The effect of uncertainties in the measurement of the signal and excitation by the datalogger had greater weight in the overall uncertainty of the system then the influence of temperature on the load cells.

Key words: measuring systems, errors, accuracy.

3.1 INTRODUÇÃO

Dentre as atividades de investimento na irrigação que exige mais cuidado é o manejo, definidos pela lâmina e momento mais adequado de realizar a irrigação (MANTOVANI et al., 2009). A lâmina adequada é aquela aplicada aos cultivos de forma a obter produtividades satisfatórias. Essa lâmina é definida quando se conhece o consumo hídrico que, por sua vez, é tido como evapotranspiração (KISI, 2010; TRAJKOVIC & KOLAKOVIC, 2009).

O conhecimento da evapotranspiração de culturas é fundamental para que se realize o manejo da irrigação, principalmente em regiões em que a escassez e a irregularidade pluviométrica são fatores limitantes da produção agrícola (OLIVEIRA et al., 2011). Dados oriundos de lisímetros são, em geral, utilizados na calibração de modelos de estimativa da evapotranspiração obtidos com base em experimento de campo (ALLEN et al., 2011; CAMPECHE et al., 2011). Os lisímetros podem ser definidos como tanques que delimitam o volume determinado de solo, permitindo mensurar o balanço de água nesse solo, devendo representar as condições locais (MEDEIROS, 2002; HOWELL, 2004; CAMPECHE, 2002).

Machado & Matos (2001) dividem os lisímetros em duas categorias, sendo os lisímetros de pesagem (mecânica, eletrônica, hidráulica e de flutuação) e os não pesáveis, também chamados de volumétricos (drenagem e lençol freático). Para ALLEN et al. (2011) os lisímetros são agrupados em três categorias, sendo os de lençol freático cujo nível de água é mantido constante fornecendo dados confiáveis em períodos semanais; os de drenagem, em que a variação de água no solo é contabilizada por amostragem e por último os lisímetros de pesagem, cuja variação da massa de água em um monólito é medida de forma hidráulica ou por sensores de peso conhecidos como células de carga.

O contínuo progresso no desenvolvimento técnico de sensores agrometeorológicos tem sido proporcional aos avanços no desenvolvimento de

componentes eletrônicos, mais precisos e com menor custo, usados na quantificação dos vários componentes do sistema solo-água-planta-atmosfera (SILVA et al., 2008).

Os lisímetros equipados com mecanismos de pesagem por células de carga permitem a realização de medidas automatizadas e os sinais decorrentes das variações de massa no sistema, são geralmente acoplados ao sistema de aquisição de dados (SCHMIDT et al.; 2013). Segundo ALLEN et al., (2011) os lisímetros de pesagem que utilizam células de carga têm a vantagem de medir o balanço de água no solo em curtos períodos e com boa acurácia. Esses autores citam como fatores que interferem na acurácia do equipamento a faixa de operação e a resolução das células de carga.

Lisímetros com diversas características construtivas são apresentados na literatura (NASCIMENTO et al., 2011; FARIA, 2006;), retangulares de pesagem direta (PAYERO & IRMAK, 2008; LORITE et al., 2012; SCHMIDT, et al., 2013; CARVALHO et al., 2013, CRUZ, 2005), circulares (CAMPECHE, 2002; CAMPECHE et al., 2011; FLUMIGNAN, 2011), com células de carga acima do solo (ALLEN & FISHER, 1990), pesagem hidráulica (LIMA et al., 2013; SANTOS et al., 2008) e pesagem com célula de carga hidráulica (SANTOS et al., 2007) entretanto poucas informações são disponibilizadas sobre o sistema de medição e aquisição de dados.

Os princípios construtivos e operacionais de um sistema de medição devem ser projetados para operar com redução de erros na sua faixa de medição, em condições de operação, no entanto, qualquer processo de medição está sujeito a erros que devem ser quantificados através do procedimento de calibração (SILVA NETO, 2012). Segundo esse autor, a calibração é o processo que estabelece a relação entre valores padrões e as incertezas associadas à medição visando o resultado de medição.

A determinação do consumo hídrico de uma cultura por lisimetria deve ser precedida de avaliações desse equipamento, permitindo analisar a confiabilidade dos dados e conseqüentemente a definição do manejo adequado da irrigação. Para FLUMIGNAN (2011), na maioria dos lisímetros construídos essa etapa tem sido ignorada e, portanto, as informações oriundas desses equipamentos podem ser questionadas.

De acordo com a ISO GUM (2008) deve-se ter cuidado em distinguir entre os termos “erro” e “incerteza”, pois estes possuem conceitos completamente diferentes e comumente são mal empregados.

A definição do termo incerteza de medição, segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM, 2012), é o parâmetro associado ao resultado de uma medição, caracterizando a dispersão dos valores que podem ser atribuídos a um mensurado. O

resultado de uma medição ou calibração só é considerado completo se a incerteza na medição for informada, uma vez que esse parâmetro expressa como o resultado de uma medição representa a grandeza medida, permitindo o usuário do sistema de medição avaliar a confiabilidade deste. A análise de incerteza pode ser dita completa quando forem obtidos os limites de erro sistemático e os limites de erros aleatórios, que devem ser combinados para determinar os limites de incerteza.

Erros são todas as diferenças observadas entre o valor verdadeiro e as medições. Tradicionalmente, um erro é visto como tendo dois componentes, a saber, um componente aleatório e um componente sistemático. Também é comum o uso, de forma errônea, de termos como precisão, exatidão e acurácia levando o leitor a confundir a aplicação de termos metrológicos na pesquisa de campo.

Diversos autores (WHEELER & GANJI, 1996; BLOOM, 1989) utilizam o termo “precision” como indicador da variabilidade das medidas em torno do seu valor verdadeiro (erro aleatório). A Portaria INMETRO 029 (1995) que assegura compatibilidade com normas internacionais da ISO (International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology) observa que o termo precisão não deve ser utilizado, pois é um conceito qualitativo. Segundo esta portaria, o erro do sistema de medição pode ser dividido em sistemáticos e aleatórios, cuja representação gráfica da distinção entre os mesmos se encontram na Figura 1.

Os erros aleatórios são definidos como a variação entre medições repetitivas para valores constantes, causadas por inúmeras, pequenas e independentes influências que impedem que o sistema de medição apresente sempre um mesmo resultado (CAMARGO, 2009). O erro aleatório se origina de variações temporais ou espaciais, estocásticas ou imprevisíveis. Esse tipo de erro não pode ser corrigido, entretanto pode ser minimizado aumentando o número de observações (ISO GUM, 2008).

Durante a aquisição de dados em um sistema de medição os erros sistemáticos associados podem ser caracterizados como erros instrumentais, oriundos de mal calibração do equipamento, os erros observacionais como paralaxe e os erros causados por fatores ambientais (PRESTON & DIEZ, 1991). CAMPILHO (2000) categoriza os erros sistemáticos em instrumentais e ambientais, em que o primeiro é atribuído ao próprio sistema de medição ou influenciado por este em condições de operação, podendo ser atenuados pela seleção de instrumentos mais adequados, correção nas leituras e calibração. Os erros ambientais são decorrentes de variações térmicas, de pressão e

humidade, existência de campos elétricos, envelhecimento de materiais e presenças de cargas elétricas.

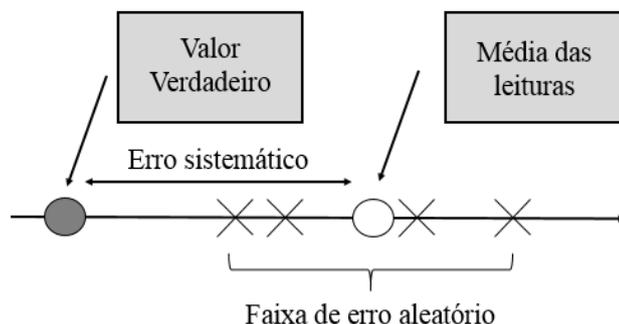


FIGURA 1 - Distinção entre os erros sistemáticos e aleatórios

Os lisímetros de pesagens são utilizados como instrumento padrão na determinação da evapotranspiração. São utilizados, portanto para calibrar outros métodos como no caso dos micrometeorológicos (GREEN et al., 1997; VAUGHAN et al., 2007; LÓPEZ-URREA et al., 2006; SILVA, 2008; LIU & LUO, 2010) e fluxo de seiva (CABRAL, 2009; COELHO et al., 2012; VELLAME et al., 2011; MARINHO et al., 2013; COTRIM, 2009). Também é utilizado como referência no manejo da irrigação (CARVALHO & OLIVEIRA, 2012; CAVALCANTE JUNIOR, 2011; TOLK & HOWELL, 2012). Ser padrão não significa que o instrumento não possua erro.

FIDÉLIS (2006) apresenta as características necessárias para um padrão e lembra que o padrão não é perfeito e seus erros são repassados ao sistema de medição a ser calibrado. Dessa forma a quantificação dos erros nos lisímetros são de essencial importância nos estudos das relações hídricas e do manejo da irrigação dos cultivos.

O objetivo desse trabalho foi determinar as incertezas envolvidas no processo de medição e suas influências na acurácia de diferentes sistemas de medição de massa aplicados ao manejo da irrigação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em ambiente protegido localizado no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Brasil, utilizando quatro lisímetros de pesagem dotados de célula de carga em experimento em que uma das variáveis testadas era a reposição hídrica na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) cv Charrua da Atlântica Sementes. Na Figura 2, observa-se a visão parcial do experimento.



FIGURA 2 – Visão parcial do experimento

3.2.1 Lisímetros

Os lisímetros foram dispostos linearmente e nomeados como L1, L2, L3 e L4. Foram construídos com chapa galvanizada de 2,0 mm de espessura, com dimensões diferentes que foram: lisímetros 1 e 4 com 0,8 m de diâmetro, 0,75 m de altura e área da borda e volume de 0,502 m² e 0,377 m³, respectivamente. Os lisímetros 2 e 3 possuem 0,7 m de diâmetro, 0,75 m de altura com área e volume correspondentes a 0,385 m² e 0,289 m³, respectivamente.

Os lisímetros foram apoiados sobre três células de carga dispostas sob suportes articulados modelo SAMEL-2CF de aço carbono, com 5,0 graus de liberdade e 8,0 mm de deslocamento máximo, que permitem o movimento dos lisímetros a fim de evitar torções na base e nas células de carga. Os suportes foram fixados sobre sapata de aço previamente nivelada (Figura 3). As células utilizadas nos lisímetros são do tipo “I”, modelo L-250 para os lisímetros 2 e 3 e L-500 para os lisímetros 1 e 4 de fabricação da Alfa Instrumentos. As células de carga são do tipo 4 fios, dois para alimentação e dois para sinal diferencial e suas características técnicas são mostradas na Tabela 1.

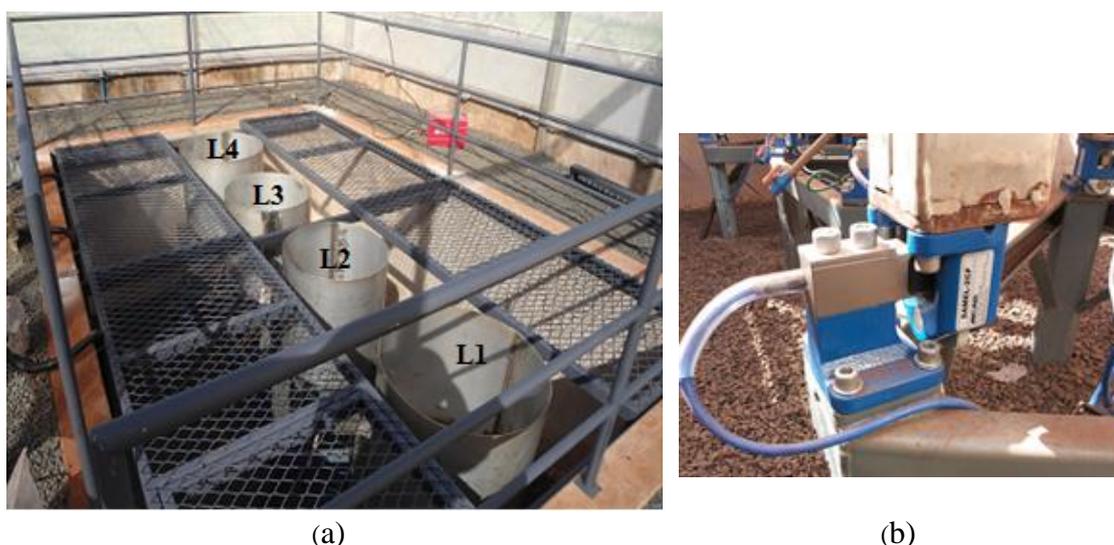


FIGURA 3 – (a) Lisímetros de pesagem e (b) conjunto célula de carga e suporte articulado

TABELA 1 – Características técnicas das células de carga L-250 e L-500

Modelo	L-250	L-500
Capacidade Nominal (CN)	250,0 (Kg)	500,0 (Kg)
Sensibilidade	2,0 (mV.V ⁻¹)	2,0 (mV.V ⁻¹)
Temperatura de trabalho	-5 a + 60 °C	-5 a + 60 °C
Temperatura compensada	0 a + 50 °C	0 a + 50 °C
Máxima sobrecarga - % CN	150,0	150,0
Sobrecarga de ruptura - % CN	300,0	300,0
Resistência elétrica	E390 +/-10 Ω S350 +/-1 Ω	E390 +/-10 Ω S350 +/-1 Ω
Resolução	0,025 Kg	0,05 Kg

A massa no sistema lisímetro/célula de carga são exibidas no módulo indicador de pesagem, também da fabricante Alfa Instrumentos, modelo 3101 C. A aquisição de dados foi efetuada por um datalogger, modelo CR1000 da fabricante Campbell Scientific®, em que, mediante instrução na programação, as informações no sistema eram armazenadas em intervalos de 15, 30 e 60 minutos. As características técnicas do módulo indicador de pesagens e do sistema de aquisição de dados estão dispostas nas Tabelas 2 e 3.

TABELA 2 – Características técnicas do módulo indicador de pesagem

Modelo	3101C
Temperatura de trabalho	5 a 50 °C
Resolução	0,005 Kg

TABELA 3 – Características técnicas do sistema de aquisição de dados

Modelo	CR1000
Temperatura de trabalho	-25 a 50 °C
Alimentação	9,6 a 16 V
Acurácia na medição (range 7,5mV)	0,06%
Acurácia na saída analógica (2500mV)	0,06% + 0,8mV
Resolução	2,0 μ V

3.2.2 Avaliação de sistemas de medição

Um sistema de medição (SM) é composto, basicamente, de três elementos funcionais que são o elemento sensor/transdutor (células de carga), a unidade de tratamento de sinais e o dispositivo indicador/registrator das informações (módulo indicador e/ou datalogger). Diversas configurações para um sistema de medição de massa são possíveis dependendo do número e características das células de carga e do tipo de instrumento para indicação/registo.

Nesse trabalho, foram testados quatro diferentes sistemas de medição quantificando os erros envolvidos nas diversas configurações.

No sistema de medição 1 (SM1) as células de carga foram conectadas a caixa de junção e esta conectada ao módulo indicador de pesagens em configuração de 6 fios. Nessa configuração é realizado pelo módulo indicador de pesagem a amostragem da tensão de alimentação efetiva nas células a fim de compensar, por acréscimo de excitação, as perdas por resistência nos cabos e, conseqüentemente sua influência na calibração. A comunicação entre o módulo indicador e o datalogger foi estabelecida por meio da interface padrão RS232 dos equipamentos.

O módulo indicador foi configurado em “transmissão contínua” com 8 data bits, sem paridade, 1 stop bit e 9.600 bps. Nessa configuração o módulo indicador transmite continuamente as informações de peso bruto, peso líquido e tara. O datalogger foi programado utilizando o *software* do fabricante (CR Basic Editor) de modo a extrair a informação de peso bruto (Figura 4).

Nesse sistema a incerteza da medição, desconsiderando os erros da célula, foi considerada como a resolução do módulo indicador (5 g) uma vez que essa é a única informação de acurácia fornecida pelo fabricante.

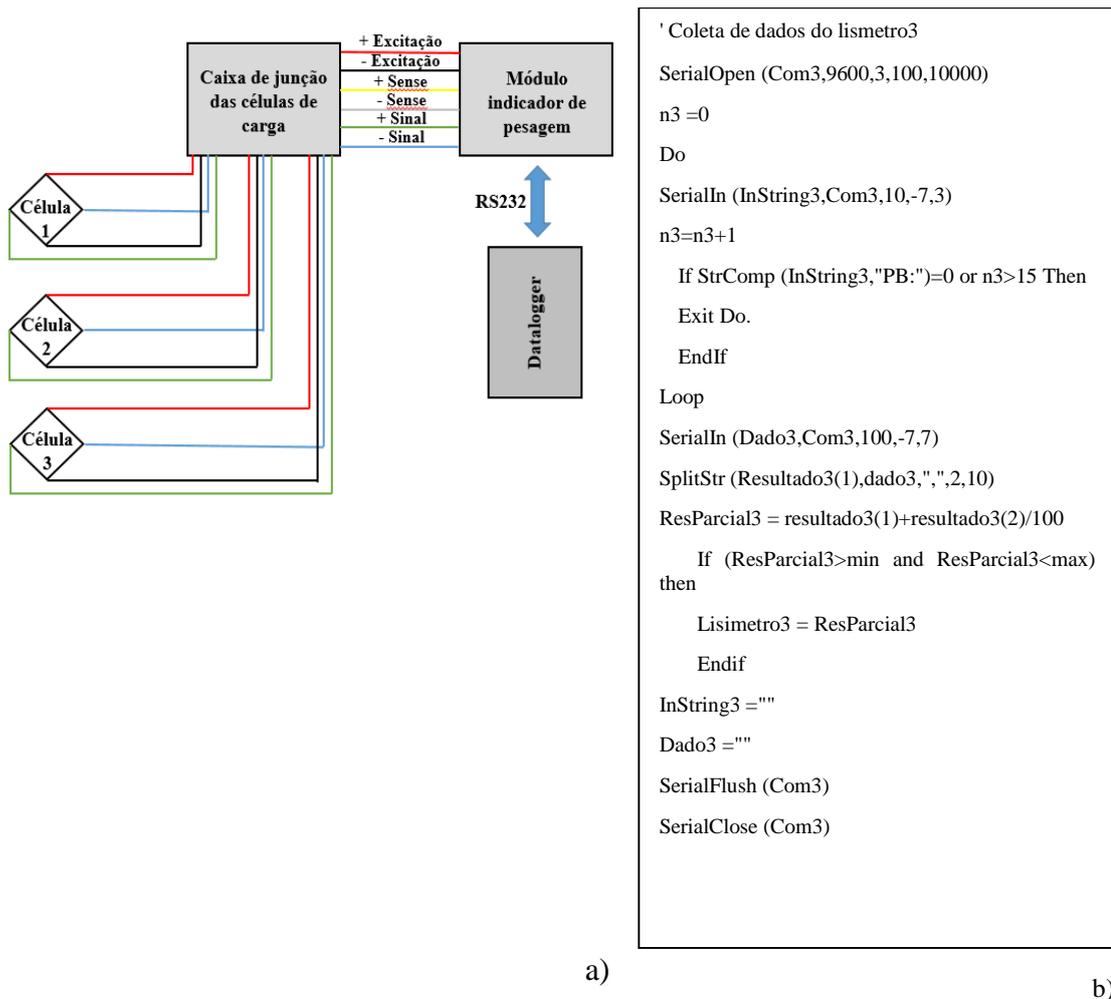


FIGURA 4 – Esquema de ligação do SM1 e parte da programação do datalogger responsável pela leitura da informação do lisímetro 3

No sistema de medição 2 (SM2) foi feita a ligação a 4 fios interligando a caixa de junção ao datalogger (Figura 5). O datalogger fornece a tensão de excitação de 2500 mV às células de carga e o sinal de resposta decorrente da deformação das células é lido. A informação do sinal dividido pela tensão de alimentação, em mV V^{-1} , é medida e as médias são armazenadas.

Foi calculada a incerteza esperada pela medição do “datalogger” de acordo com os dados do fabricante para os sistemas de medição 2, 3 e 4.

O caso geral para determinar a incerteza combinada de variáveis dependentes estatisticamente é dado pela Equação 01.

$$\sigma^2(G) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \sigma(x_i) \sigma(x_j) \rho(x_i, x_j) \quad (1)$$

Em que:

$$G = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

σ = desvio padrão

$\rho(x_i, x_j)$ é o coeficiente de correlação entre as grandezas de entrada x_i e x_j .

Como a capacidade do lisímetro 3 é de 750,0 Kg e as células de carga possuem a sensibilidade em torno de 2mV V⁻¹ (Tabela 01) a medição pode ser expressa pela Equação 2.

$$M = 375 \frac{S}{E} \quad (2)$$

Em que,

M = medição da massa (Kg);

S = sinal medido (mV);

E = tensão de excitação (V).

A incerteza da medição da variável X é dada pela Equação 3.

$$I = \frac{\frac{\sigma \cdot t}{\sqrt{n}}}{X} \quad (3)$$

Em que,

I = incerteza da medição;

σ = desvio padrão;

t = coeficiente de Student para X medições a 95% de confiabilidade;

n = número de medições;

X = variável.

Como o sinal enviado pela célula de carga é diretamente proporcional a tensão de excitação ($\rho(x_i, x_j) = 1$) e combinando as equações 1 e 2 pode-se definir que a incerteza combinada para a medição das células de carga no SM2 é dada pela Equação 4.

$$I_M = \sqrt{I_S^2 + I_E^2 + 2 \cdot I_S \cdot I_E} \quad (4)$$

Em que,

I_M = Incerteza na medição;

I_S = Incerteza do sinal medido;

I_E = Incerteza da tensão de excitação.

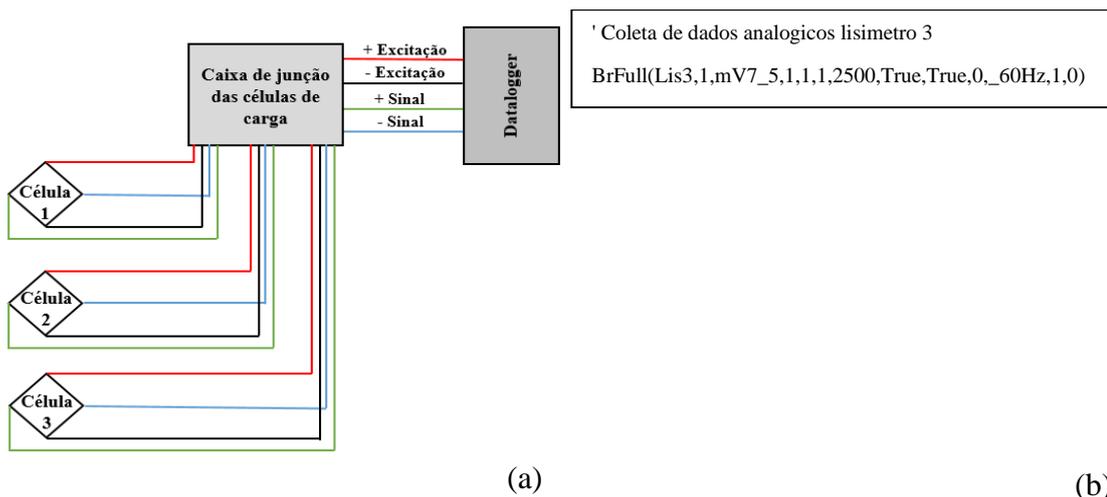


FIGURA 5 – Esquema de ligação do SM2 e parte da programação do datalogger responsável pela leitura da informação do lisímetro 3

O sistema de medição 3 (SM3) consiste em uma ligação a 6 fios entre a caixa de junção e o datalogger. Na instrução utilizada pelo datalogger para medição a 6 fios uma tensão de alimentação de 2500 mV nas células de carga é aplicada e o sinal de resposta decorrente da deformação das células é dividido pela tensão efetiva medida em um canal analógico do datalogger ($mV V^{-1}$). O layout de ligação e a instrução, respectivamente, são mostrados na Figura 6.

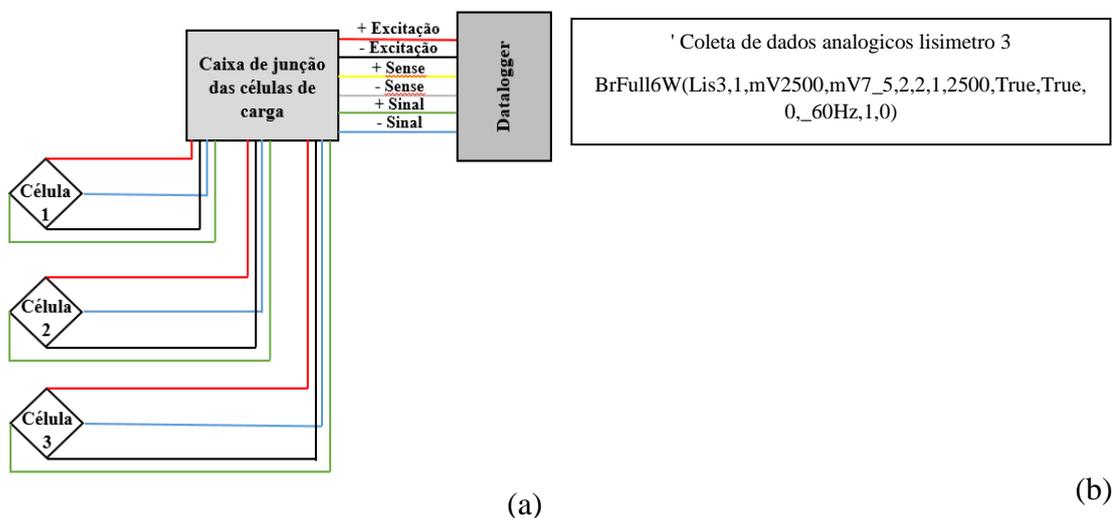


FIGURA 6 – Esquema de ligação do SM3 (a) e parte da programação do datalogger (b)

No caso da configuração de 6 fios, a medição de massa e a tensão efetiva de alimentação medida no sistema são expressos pelas Equações 5 e 6, respectivamente.

$$M = 375 \frac{S}{V} \quad (5)$$

Em que,

M = massa medida (kg);

S= sinal medido (mV);

V= tensão efetiva de alimentação medida (V).

$$V = kE \quad (6)$$

Em que,

V= tensão efetiva de alimentação medida (V).

E = tensão de alimentação das células de carga (V);

K= constante aproximadamente 1.

No caso da configuração de 6 fios (SM3), a medição de massa é dada pela razão entre o sinal medido e a tensão efetiva de alimentação medida no sistema. Como as medições do sinal e da tensão efetiva de alimentação das células são independentes, a incerteza do datalogger nessa configuração pode ser calculada pela Equação 7.

$$I_M = \sqrt{I_S^2 + I_E^2 + I_V^2 + 2 \cdot I_S \cdot I_E + 2 \cdot I_E \cdot I_V} \quad (7)$$

Em que

I_M = Incerteza na medição;

I_S = Incerteza do sinal medido;

I_E = Incerteza da tensão de excitação;

I_V = Incerteza da tensão efetiva de excitação.

No sistema de medição 4 (SM4), a ligação entre as células de carga e o datalogger foi feita diretamente. A média dos sinais de cada célula e da média da leitura das 3 células também foram armazenados em intervalos de 15, 30 e 60 min. Na Figura 7, são observados o layout do SM4 e a instrução na programação do datalogger.

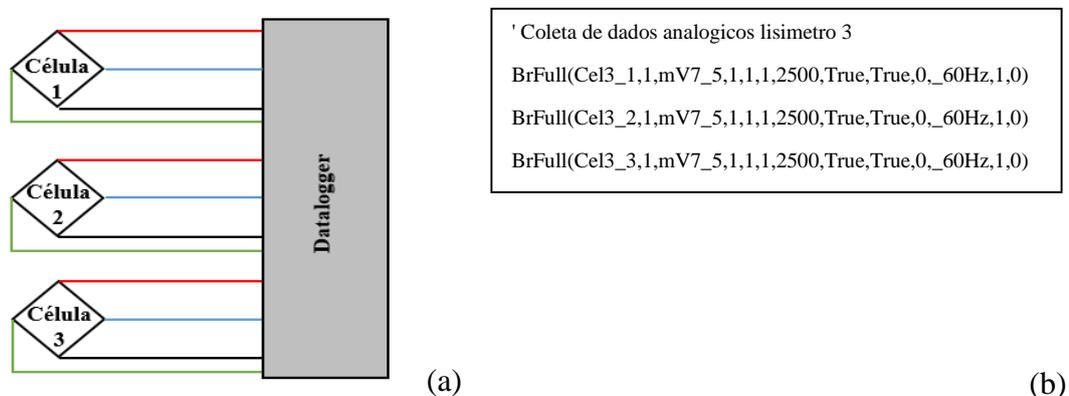


FIGURA 7 – Esquema de ligação do SM4 e parte da programação do datalogger

A medição de massa para 3 células de carga do SM4 é o resultado da soma das leituras de cada célula individualmente e pode ser determinada pela Equação 8.

$$M = C1 + C2 + C3 \quad (8)$$

Em que,

M = Medição da massa (Kg);
 C1= Medição da massa na célula 1;
 C2= Medição da massa na célula 2;
 C3= Medição da massa na célula 3.

Como são leituras independentes ($\rho(x_i, x_j)$) a incerteza combinada esperada de acordo com os dados do fabricante nessa configuração é dada pela Equação 9.

$$I_M = \sqrt{I_{C1}^2 + I_{C2}^2 + I_{C3}^2} \quad (9)$$

Em que,

I_M = incerteza na medição;
 I_{c1} = incerteza na medição da célula 1;
 I_{c2} = incerteza na medição da célula 2;
 I_{c3} = incerteza na medição da célula 3.

3.2.3 Calibração com massas de referência

Em todos os sistemas de medição de massa, adotou-se o procedimento de calibração, que constituiu de ciclos de carregamento e descarregamento de massas-referência. Essas massas foram confeccionadas com sacos plásticos e brita nº 01 em um total de 6 unidades de 10,0 Kg, 1 unidade de 5 Kg, 1 de 0,5 Kg e 2 unidades de 0,2 Kg, aferidas em balança analítica de precisão

Os sistemas de medição foram calibrados dentro da faixa de operação, que correspondeu à massa aproximada da capacidade de água disponível (CAD) do solo no interior dos lisímetros de maior volume (61,77 Kg). As massas-referência foram adicionadas e retiradas em ciclos de medição conforme metodologia de calibração sugerida por Wheeler & Ganji (1996). Ao todo se procedeu a 5 ciclos de carregamento e descarregamento em cada sistema de medição. A fim de evitar as variações decorrentes do processo de evaporação uma lona plástica foi colocada na superfície do lisímetro, bem como fechado o dreno para evitar perdas por percolação.

Foram determinados o erro máximo absoluto (EMA), histerese, linearidade e a repetitividade, procedimento sugerido por (WHEELER & GANJI, 1996) e adotado por (VELLAME et al., 2011; SCHIMDT et al., 2013) em estudos de construção e calibração de sistemas de medição.

O EMA foi considerado como o maior desvio absoluto no processo de calibração, em todos os ciclos de medição. A histerese foi o maior desvio encontrado considerando os ciclos separados em carregamento e descarregamento.

O erro de repetitividade, com base no desvio máximo, foi calculado pelo maior desvio encontrado, em sucessivas medições, nos ciclos de carregamento e descarregamento para a mesma massa de referência.

Foi considerado como a incerteza do sistema de medição (células de carga e sistema de aquisição de dados) o máximo valor de incerteza calculada pela Equação 3, nos cinco ciclos de carregamento e descarregamento de massas de referência.

3.2.4 Efeito da temperatura

A influência da temperatura do ar nos sistemas de medição foi quantificada através de regressão linear entre a temperatura do ar (°C) e a massa do lisímetro, em intervalos de 1 hora por período de 24 horas. A fim de que a variação quantificada na massa do sistema fosse apenas relacionada ao efeito da temperatura nos sistemas de medição, uma lona plástica foi colocada cobrindo o solo do lisímetro para evitar perdas por evaporação.

3.2.5 Manejo da irrigação com lisímetro de pesagem

O manejo da irrigação na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) cv Charrua foi feito adotando quatro percentuais da capacidade de água disponível (CAD) que foram 25, 50, 75 e 100% da reposição hídrica (RH) de cada CAD, controlados pelos lisímetros 1, 2, 3 e 4 definiam a evapotranspiração correspondentes a plantas com níveis de RH em 25, 100, 50 e 75%, respectivamente.

Considerou-se como CAD a água disponível (AD) no intervalo de umidade correspondente as umidades da capacidade de campo e do solo seco ao ar. Para o cálculo da CAD, tomou-se as massas nos lisímetros, correspondentes à massa de solo seco ao ar, que foram definidas como massas de umidades correspondes ao ponto de murcha (PM). Inicialmente os drenos de cada lisímetro foram fechados e após, procedeu-se com a saturação do solo no interior dos lisímetros, com aplicações frequentes de água até que um filme de água fosse formado na superfície do solo. Lonas plásticas foram colocadas

nas superfícies para que não houvesse interferências nas massas dos lisímetros advindas da evaporação.

Após saturação, os drenos foram abertos promovendo a liberação do volume excedente de umidade até que esta cessasse temporariamente, momento em que as massas de cada lisímetro foram anotadas e definindo-as como massa da umidade correspondente a capacidade de campo (CC).

A diferença de massa entre aquelas definidas para CC e PM foi definida como CAD e as massas correspondentes a cada tratamento de reposição hídrica foram definidas pelo produto da reposição hídrica, em decimal, com a massa de água disponível, adicionada à massa definida de ponto de murcha de acordo com a Equação 10. Os valores de ponto de murcha, capacidade de campo, água disponível, reposição hídrica e massa dos lisímetros para as reposições hídricas consideradas são apresentados na Tabela 4.

$$MT = (RH * MCAD) + MPm \quad (10)$$

Em que:

MT = massa do lisímetro, em Kg;

RH = reposição hídrica, em decimal;

MCAD = massa da capacidade de água disponível, em Kg;

MPm = massa do ponto de murcha, Kg.

TABELA 4 – Massa dos lisímetros no ponto de murcha (MPm), na capacidade de campo (MCC), da água disponível (MCAD), do percentual de reposição hídrica (RH) e massa do lisímetro para a reposição hídrica considerada (MT)

Lisímetro	MPm	MCC	MCAD	RH	MT
		Kg		%	Kg
1	433,55	495,32	61,77	25	448,99
2	331,72	374,84	43,12	100	374,84
3	334,52	376,37	41,85	50	355,45
4	442,41	497,46	55,05	75	483,70

Procedeu-se à semeadura de 10 sementes por lisímetro com umidade do solo na CC. A massa dos lisímetros foram mantidas na capacidade de campo, com turno de rega de 2 dias até os 12 dias após semeadura (DAS) e se identificou 80% de emergência. Após esse período o lisímetro correspondente a 100% de RH foi irrigado diariamente e os demais foram irrigados no momento em que as massas correspondentes aos tratamentos foram alcançadas, conforme mostrado na Tabela 4. As irrigações foram realizadas preferencialmente no período vespertino, após as 17 horas, sempre elevando a umidade aquela referente ao tratamento de cada lisímetro.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O que se pode observar na Figura 8, são excelentes ajustes nas equações de regressão, em todos os sistemas de medição. No entanto, o coeficiente de determinação (R^2) não expressa o desempenho do equipamento e constantemente é utilizado de forma inadequada na literatura sem considerar os desvios de massa nas medições.

A exemplo disto, estudos como aqueles conduzidos por Carvalho et al., (2013) no desenvolvimento, automação e calibração de 3 lisímetros para uso em cafeeiro, verificaram que para um dos lisímetros, obteve-se coeficiente de determinação de 0,9996 e significância estatística dos coeficientes da equação de regressão, porém um elevado erro padrão da estimativa de 0,66 mm. Esses autores atribuem esse erro a agitação ocasionada nos ciclos de calibração em que as massas-padrões foram adicionadas e/ou retiradas em intervalos de 15 segundos.

Resultados semelhantes aos de Carvalho et al. (2013) foram encontrados por Nascimento et al. (2011) para 3 lisímetros de pesagem em Petrolina-PE, com erros padrões da estimativa correspondentes a 0,4; 0,6 e 1,0 mm, este último considerado inviável para determinação do consumo hídrico da videira, apesar do R^2 igual a 0,99. Erros de 0,90 e 0,93 mm em descarregamento para duas séries diferentes de massas aplicadas foram encontrados por Fernandes et al. (2012) apesar do R^2 igual a 0,99.

Allen et al. (2011) evidencia a necessidade de disponibilizar na literatura que concerne a sistemas de medição de determinação de evapotranspiração, um melhor detalhamento dos equipamentos, métodos e resultado dos erros encontrados para que haja confiabilidade nos resultados da pesquisa.

Nas curvas de resposta real (Figura 8), observam-se expressivos coeficientes de determinação R^2 , no entanto, ocorreram desvios no processo de calibração. Observa-se que, diferente dos demais sistemas de medição, no SM1 existe tendência nos desvios ocasionados pela calibração do módulo indicador de pesagem em faixa de medição superior ao de operação e que não compromete a acurácia das medições realizadas nesse sistema. A tendência das médias dos desvios oriundas de erros sistemáticos no SM1 se repete nas medições e pode ser corrigida através de curva de calibração e recalibração do módulo indicador em faixa de medição igual ao de operação.

Os menores e maiores desvios de massa observados foram aqueles para o SM1 e SM4, respectivamente, observando valores próximos quando comparados o SM2 e SM3.

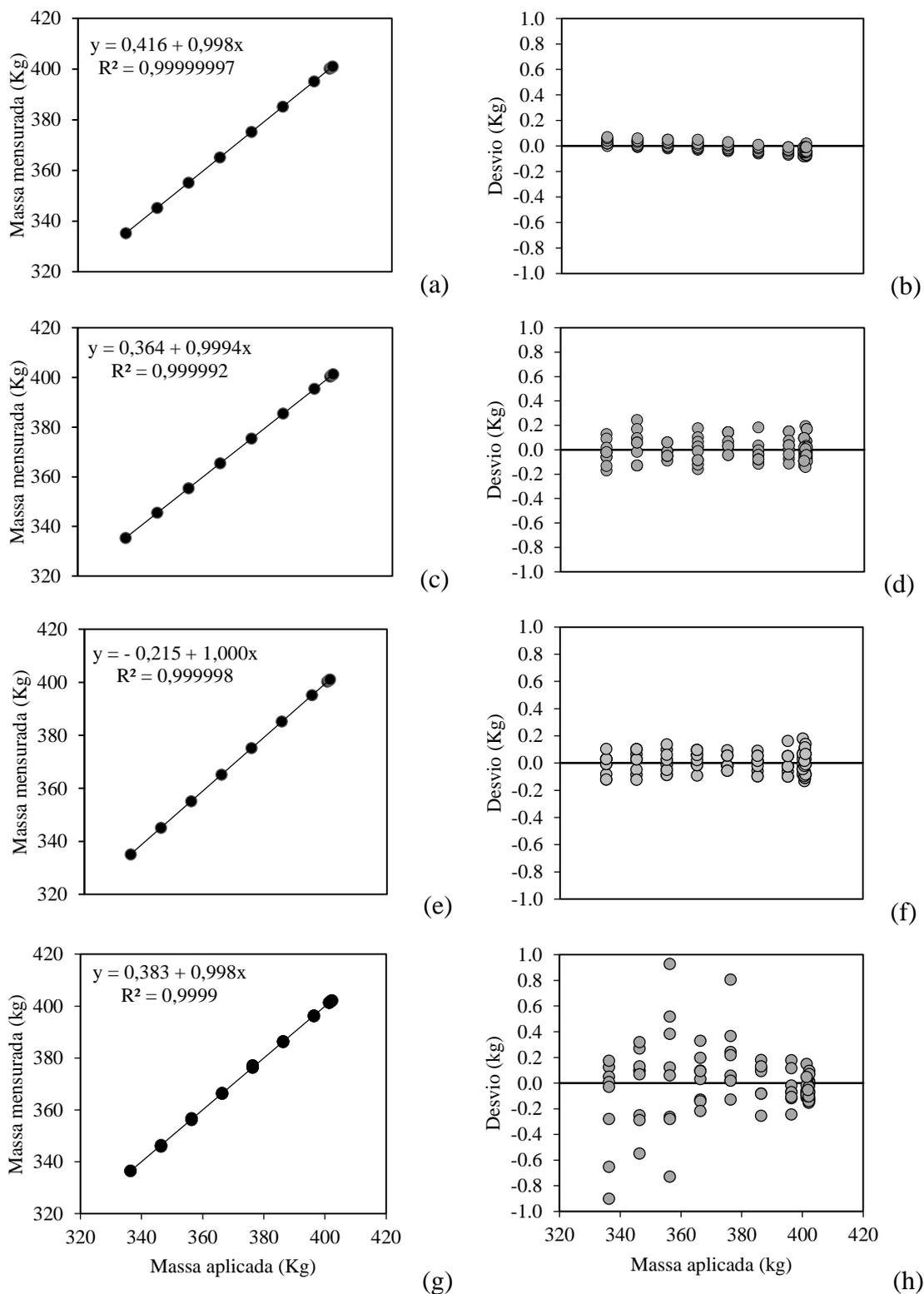


FIGURA 8 – Curva de resposta real (a, c, e, g) e desvios em relação a massa aplicada (b, d, f, h) nos sistemas de medição 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Os erros dos sistemas de medição (SM) foram dispostos na Tabela 5, em ordem crescente de valores de erro máximo absoluto (EMA) estando os erros de histerese, linearidade e repetitividade combinados nesse parâmetro.

TABELA 5 – Erros máximo absoluto (EMA), de histerese, de linearidade e repetitividade em quilogramas (Kg) e percentual da medição (%M) dos sistemas de medição

SM	EMA		Histerese		Linearidade		Repetitividade	
	Kg	% M	Kg	% M	Kg	% M	Kg	% M
1	0,080	0,020	0,020	0,005	0,014	0,004	0,070	0,020
3	0,180	0,050	0,037	0,010	0,052	0,010	0,262	0,070
2	0,244	0,06	0,045	0,011	0,014	0,004	0,375	0,109
4	0,932	0,230	0,112	0,029	0,367	0,069	1,196	0,337

No presente estudo, comparou-se os sistemas de medição (SM's) pelo EMA, uma vez que este se torna mais restritivo que a incerteza para essa análise, pois considera os maiores desvios encontrados no processo de medição e que podem ser influenciados pela instabilidade durante o manuseio das massas padrões no momento da calibração do lisímetro, além de fatores ambientais como o vento e temperatura.

Verifica-se que a repetitividade foi o parâmetro que influenciou de forma significativa a acurácia de todos os sistemas de medição na ordem de 0,07; 0,262; 0,375 e 1,196 kg para os sistemas de medição 1, 3, 2 e 4. Os erros de histerese e linearidade podem ser desconsiderados para os SM's 1, 2 e 3 pois representam uma variação pequena em percentual da medição, ao contrário do SM 4 cuja linearidade representa 0,95 mm.

De acordo com Vellame et al. (2011) o erro de repetitividade representa o erro aleatório e interfere de forma mais significativa na acurácia dos instrumentos, uma vez que não pode ser compensado por meio de uma equação de calibração. Em lisímetros de pesagem o erro sistemático de maior importância é o de linearidade pela difícil compensação ou correção e não foi observado nesse estudo.

Considerando os valores de EMA dos sistemas de medição, observa-se que os sistemas que apresentaram o melhor e pior desempenho foram o 1 e 4, respectivamente. Verifica-se tendência nos desvios no SM1 e pode ser atribuído ao ajuste do módulo indicador de pesagem em uma faixa de medição maior que a de operação (0 a 500 kg) o que não influenciou na avaliação de desempenho dessa configuração quando comparado aos demais. Considerando uma evapotranspiração de 5 mm dia⁻¹ a incerteza nas leituras corresponderiam a 1,92; 6,96; 8,92 e 36,81% para os sistema 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Somente a configuração do SM4 com as 3 células ligadas diretamente ao datalogger apresentaram incerteza fora da faixa esperada (5 a 15%) para lisímetros de pesagem de acordo com os valores apresentados por (ALLEN et al., 2011).

O trabalho não teve como objetivo verificar a conformidade dos sistemas de medição, já que não foi feita a calibração em condições de reprodutibilidade e com massas padrões rastreáveis. Entretanto, para fins de comparação tendo como referência um valor de erro em massa, pela portaria INMETRO nº 236/1994 os sistemas de medição se enquadram na classe de exatidão III, considerada como exatidão média. Nessa classe um sistema com 10.000 divisões com uma massa aplicada entre 20 e 100% da capacidade máxima do sistema de pesagem deveria apresentar um EMA permitido de 1,5 divisões, nesse caso 0,075kg.

Nenhum sistema de medição estaria conforme essa normativa uma vez que os EMA foram superiores a esse valor. A não conformidade provavelmente se deu pelas condições de calibração já que a calibração para determinar o EMA, repetitividade, linearidade e histerese deve ser efetuada em condições de repetitividade (ambiente controlado) sendo muito difícil de ser efetuada no caso de lisímetros de pesagem.

Diversos estudos como aqueles conduzidos por (CARVALHO et al., 2013; SANTOS, 2004; FLUMIGNAN, 2011; SILVA, 2013) reforçam a influência da temperatura nas medições feitas com lisímetro de pesagem, uma vez que, apesar das células de carga, do módulo indicador de pesagem e do datalogger possuírem um sistema de compensação de variação da temperatura, os demais componentes do sistema como cabos e caixa de junção não possuem, podendo influenciar a acurácia do SM. Assim os sistemas de medição 1 e 3 usados nesse experimento possuem a configuração de 6 fios que objetiva compensar variações nas resistências dos cabos que ocorrem, principalmente, em função da temperatura.

No sistema de medição 1, o módulo indicador varia a tensão de alimentação das células em função da tensão efetiva medida. No sistema de medição 3 o datalogger apresenta o resultado da medição como o sinal de resposta decorrente da deformação das células dividido pela tensão efetiva medida ($mV V^{-1}$), ao invés do sinal de resposta dividido pela tensão fornecida da configuração a 4 fios. Com exceção do sistema de medição 3 em relação aos demais, cujo coeficiente de determinação R^2 foi baixo, observou-se a variação de massa ao longo do tempo proporcional a variação de temperatura em todos os outros sistemas de medição (Figura 9).

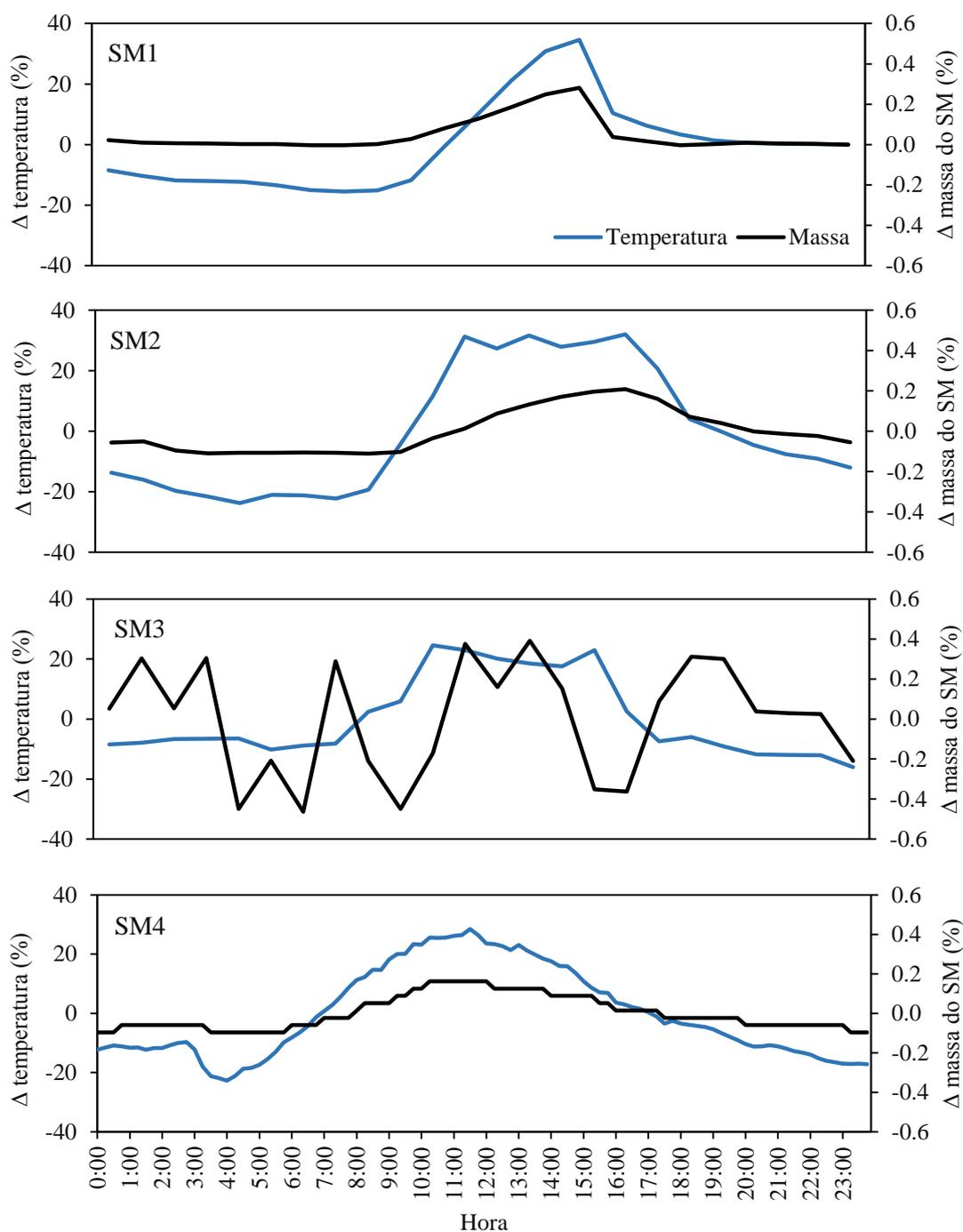


FIGURA 9 – Variação de massa do sistema de medição e da temperatura em 24 horas

A temperatura do ar influenciou de forma significativa todos os sistemas de medição, com exceção do SM3. Nesse SM, obteve-se baixo coeficiente de determinação R^2 não podendo atribuir relação entre a variação de massa nesse sistema e a temperatura do ar (Tabela 6).

TABELA 6 - Efeito da temperatura, incerteza em quilo, em percentual da leitura e unidade de evapotranspiração e incerteza teórica em unidade de evapotranspiração para os sistemas de medição

Sistema de medição	Efeito da temperatura (mm/°C)	Incerteza (Kg)	Incerteza (% leitura)	Incerteza (mm)	Incerteza teórica (mm)
1	0,153 ($R^2 = 0,97$)	0,037	0,010	0,096	0,013
2	0,158 ($R^2 = 0,82$)	0,134	0,050	0,348	1,102
3	0,249 ($R^2 = 0,08$)	0,137	0,034	0,356	1,350
4	0,289 ($R^2 = 0,95$)	0,747	0,220	1,840	1,909

Apesar da configuração do SM3 por 6 fios pelo datalogger ser eficiente na compensação da temperatura, as incertezas combinadas na leitura do sinal, leitura da tensão efetiva e excitação resultaram em desempenho apenas ligeiramente melhor que o SM2 de 4 fios. A incerteza combinada na medição do datalogger na configuração 6 fios calculada pela Equação 9 é de 0,104% e na configuração 4 fios é de 0,085%. A incerteza observada foi de 0,348 mm de evapotranspiração ou 6,96 % para o SM2 e de 0,356 mm ou 7,12% para o SM3, ambos para um ET de 5 mm dia⁻¹.

Allen & Fischer (1990) utilizaram a configuração de 6 fios para compensar a variação nos sinais das células de carga decorrentes da perda de excitação nos cabos, no entanto, a menor variação de excitação durante a conversão do sinal analógico para digital (A/D) no registrador de dados resultou em flutuações significativas no peso final do lisímetro. Os autores decidiram por usar a excitação constante ao invés de medir a variação na perda de excitação em tempo real e tentar compensá-la.

O SM4 foi aquele que apresentou o pior desempenho entre os quatro com desvios próximos a 1,0 Kg. A incerteza em evapotranspiração da ordem de 1,84 mm podem ser atribuída as incertezas combinadas na medição e excitação de 3 células individualmente. Como a incerteza em cada medição por 4 fios é de 0,085% a incerteza na medição de uma média de 3 células será 0,147% pela Equação 6. Nesse sistema, além das incertezas oriundas da leitura e excitação pelo datalogger não existe compensação do efeito da temperatura nos cabos das células.

A configuração de 6 fios no SM1 apresentou melhor desempenho na compensação da temperatura (menor coeficiente linear) que os sistemas de medição com 4 fios (SM2 e SM4), entretanto, observa-se a forte correlação ($R^2 = 0,97$) entre a variação de massa e a temperatura o que não ocorre no SM3 (Tabela 6). Apesar de ser menos eficiente na compensação da temperatura que o SM3 esse sistema de medição dedicado a medidas de

massa apresentou menores incertezas na medição. A incerteza observada foi de 0,096 mm de evapotranspiração ou 1,92 % para uma ET de 5 mm dia⁻¹.

Com base nessa discussão é possível afirmar que o SM1, mesmo com uma calibração geral, foi aquele que apresentou os menores erros e incertezas e portanto a melhor acurácia entre os SM's testados.

Após análise dos sistemas de medição, todos os quatro lisímetros foram configurados de acordo com SM1 e submetidos ao processo de calibração descrito.

Na Tabela 7, observam-se o EMA e a Incerteza associada ao processo de calibração de todos os 4 lisímetros ligados ao módulo indicador e registro da informação pelo datalogger (SM1).

TABELA 7 - Erro máximo absoluto e incerteza em quilo e percentual da medição nos quatro lisímetros

	Lisímetro 1		Lisímetro 2		Lisímetro 3		Lisímetro 4	
	Kg	% da medição						
Erro máximo absoluto	0,150	0,030	0,080	0,020	0,080	0,020	0,200	0,045
Incerteza	0,075	0,017	0,016	0,004	0,037	0,010	0,118	0,026

Considerando o erro máximo absoluto (EMA) todos os lisímetros, à exceção do 4, estão em conformidade com a portaria INMETRO nº 236/1994 que estabelece como EMA permitido para um sistema de medição Classe III de 0,075 Kg. Entretanto, em condições de operação em campo um lisímetro de pesagem não atenderia a essa normativa pois diversos fatores como manuseio de massas de referência e temperatura do ar influenciam nos erros de medição, diferentemente de um sistema de medição sujeito a calibração em ambiente controlado.

Pela faixa de incertezas esperadas na literatura segundo Allen et al. (2011) que é de 5 a 15% e tomando como exemplo ua evapotranspiração diária de 5,0 mm dia⁻¹ as incertezas seriam de 3,89; 0,82; 1,92 e 6,13% para L1, L2, L3 e L4 respectivamente, ou seja, os lisímetros L1, L2 e L3 estão abaixo e L4 dentro da faixa de erros esperada o que os tornam aptos para quantificação do consumo hídrico de uma cultura, bem como auxiliar em estratégias de manejo da irrigação.

Na figura 10, podem ser observadas as variações de massa diárias, em percentual, relacionadas às reposições hídricas na cultura do girassol, durante 50 DAS em momento de manejo de irrigação. Observam-se dispersões que variam em aproximadamente 20%

em torno da CAD de cada lisímetro e são justificáveis pela sensibilidade do sistema de medição e pelo grande volume de dados coletados em intervalos menores que 1 dia.

As massas de L2 se mantiveram próximas a RH de 100% durante todo o período considerado, ao contrário dos lisímetros 4, 3 e 1, com 75, 50 e 25% de RH respectivamente e se deram aos 29, 36 e 46 DAE, variação esta decorrente do processo de evapotranspiração. Os lisímetros de pesagem foram efetivos no manejo da irrigação quando variado o percentual da CAD no solo.

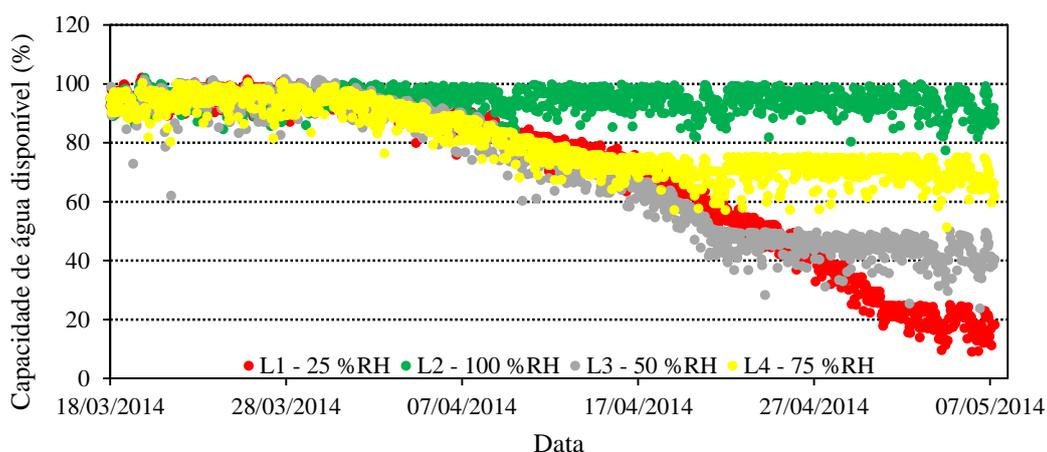


FIGURA 10 –Variação capacidade de água disponível nos lisímetros, em percentual, em função de dias

Após três meses de operação foi efetuada uma nova calibração. Observa-se que os desvios apresentaram tendência diferente e foram atribuídas a deformação elástica das células de carga por estarem submetidas a carga constante (Figura 11).

Segundo o manual do fabricante, apesar do módulo indicador de pesagem 3101 aceitar, não convém utilizar pesos menores do que 40% da capacidade da balança, por razões de extrapolar os erros de linearidade, repetitividade, creep ou fluência e histerese dos conjuntos células de carga juntamente com a estrutura, estando a faixa ideal de operação situada entre 70 a 100% da capacidade do sistema. O “creep” ou a fluência consiste na variação da deformação ao longo do tempo após a aplicação da carga e decorre de escorregamentos entre as faces da estrutura cristalina do material constituinte da célula de carga.

Considerando a capacidade nominal de 1500,0 Kg para L1 e L4 e de 750,0 Kg para L2 e L3 as cargas de calibração e operação mínimas de 70% seriam de 1050,0 e 525,0 Kg respectivamente. As massas totais aplicadas aos lisímetros foram no momento da calibração que corresponderam a 33,50; 53,33; 53,49 e 33,93% para L1, L2, L3 e L4

respectivamente, evidenciando que todos os lisímetros no estudo funcionam em condições de operação abaixo do preconizado pelo fabricante, principalmente L1 e L4 (<40%) que também apresentaram os maiores EMA e incertezas se comparados a L2 e L3 (Tabela 7).

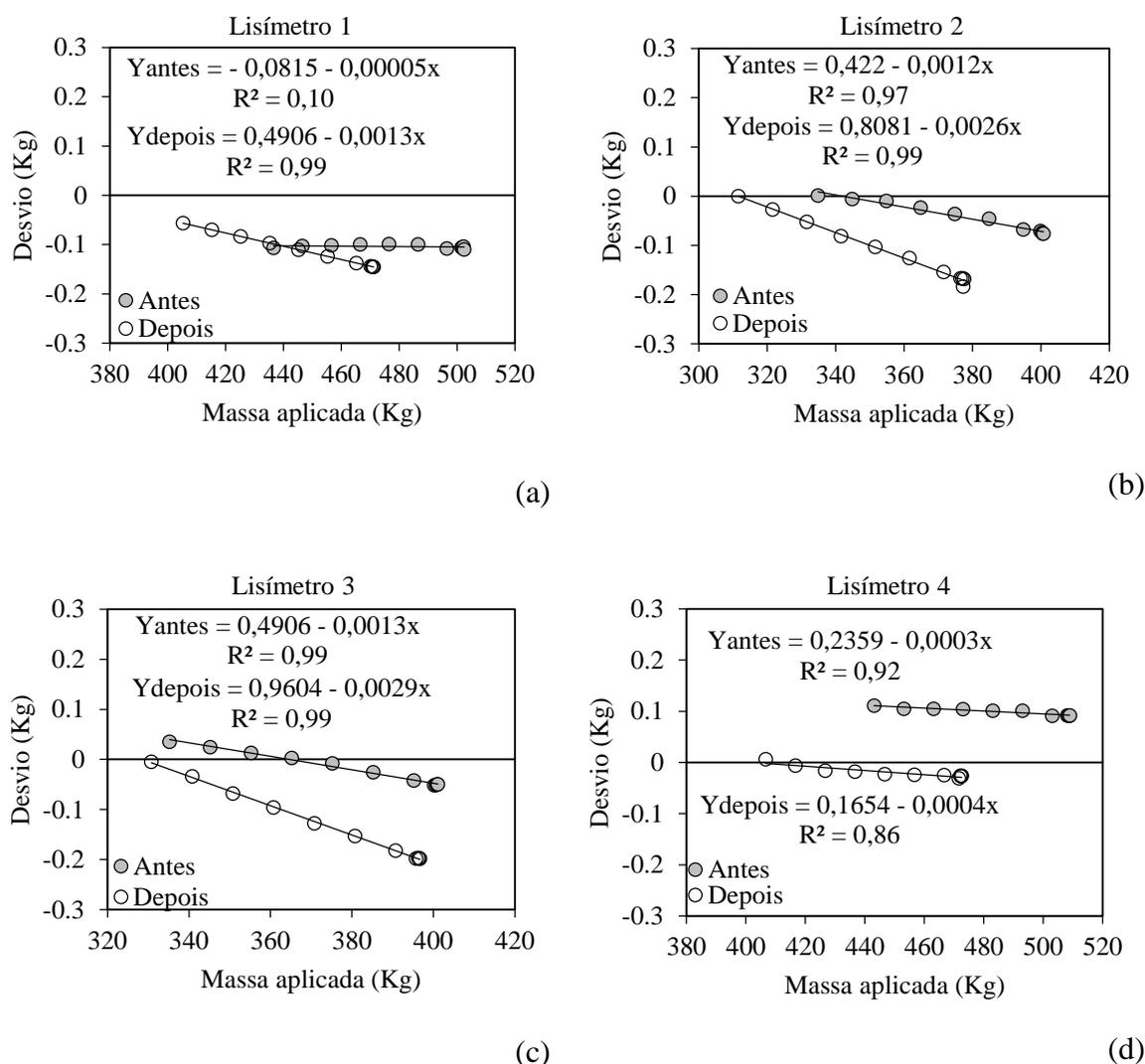


Figura 11 – Tendência dos desvios em relação as massas aplicadas nos lisímetros antes e depois do cultivo do girassol

Percebeu-se mudanças dos coeficientes angulares das retas dos desvios médios em todos os lisímetros, nos ciclos de descarregamento, que apresentam a variação de massa decorrente do processo de calibração.

As mudanças apresentadas nos desvios evidenciam a necessidade de calibrações periódicas a fim de compensar os erros sistemáticos que se acentuam com o uso dos lisímetros e, conseqüentemente averiguar a acurácia das medições e a confiabilidade do uso desses equipamentos na determinação da evapotranspiração. Dessa forma, a

calibração do módulo indicador de pesagem dentro da faixa de operação e ajustes nas equações de calibração são procedimentos que devem ser adotados antes do funcionamento de lisímetros de pesagem sempre que possíveis.

3.4 CONCLUSÕES

O sistema de medição 1 apresentou os menores erros de medição e incertezas resultando desempenho superior aos demais diferentemente do sistema de medição 4 que resultou no pior desempenho e elevados desvios ocasionados pelas incertezas de medição e excitação de 3 células individualmente.

O efeito das incertezas de medição do sinal e excitação pelo datalogger tiveram maior peso na incerteza geral do sistema do que a influência da temperatura nos sistemas de medição.

Apesar da configuração do sistema de medição 3 por 6 fios pelo datalogger ser eficiente na compensação da temperatura, as incertezas combinadas na leitura do sinal, leitura da tensão efetiva e excitação resultaram em desempenho apenas ligeiramente melhor que o sistema de medição 2 de 4 fios.

Fazem-se necessárias calibrações periódicas a fim de compensar os erros sistemáticos que se acentuam ao longo do tempo de operação.

Os lisímetros de pesagem foram efetivos no manejo da irrigação da cultura do girassol.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; FISHER, D. K. Low-cost electronic weighing lysimeters. Transactions of the ASAE, v.33, p. 1823-1832, 1990.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management. v. 98, p. 899 – 920, 2011.

BLOOM, A. J. Principles of instrumentation for physiological ecology. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J. R.; MOONEY, H. A.; RUNDEL, P. (Ed.). Physiological Plant Ecology: Field methods and instrumentation. New York: Chapman and Hall, 1989.

CABRAL, A. G. Calibração de sonda de dissipação térmica e estimativa da transpiração do cacauzeiro cultivado a pleno sol. 2009. 82p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2009.

CAMARGO, A. P. Desenvolvimento de um medidor eletrônico de vazão utilizando célula de carga. 2009. 125p. Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), Piracicaba 2009.

CAMPECHE, L. F. M.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: desenvolvimento e calibração. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, v.15, n.5, p.519 –525, 2011.

CAMPECHE, L.F.S.M. Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da cultura da lima ácida “Tahiti” (*Citrus Latifolia* Tan.). 2002. 67p. Tese (doutorado) -Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), Piracicaba, 2002.

CAMPILHO, A. Instrumentação eletrônica: Métodos e técnicas de medição. Ed: FEUP, 2000. 495p.

CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012, 240p.

CARVALHO, H. P.; MELO, B.; ATARASSI, R. T.; CAMARGO, R.; SILVA, C.; MORAES, M. R. B. Desenvolvimento de lisímetros de pesagem na cultura do café. Biosci. J., Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1750-1760, 2013.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G. et al. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. Semina. Ciências Agrárias, v. 32, p. 1699-1708, 2011.

COELHO, R. D.; VELLAME, L. M. FRAGA JÚNIOR, E. F. Estimation of transpiration of the 'Valencia' orange young plant using thermal dissipation probe method. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.32, n.3, p.573-581, maio/jun., 2012.

COTRIM, C. E. Otimização da irrigação localizada em pomares de manga no semi-árido baiano.2009. 164p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2009.

CRUZ, F. A. Instalação e calibração de lisímetro de pesagem e determinação da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica - RJ.2005. 79p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. S.; CHIVANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, v.10, n.1, p. 237–242, 2006.

FIDÉLIS, G. C. Fundamentos da metrologia. Revista Metrologia e Qualidade, n. 10, p. 26-28, set, 2006.

FLUMIGNAN, D. L. Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). 2011. 200 p. Tese (doutorado) -Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq). Piracicaba.

GREEN, A. E.; MCANENEY, K.; LAGOARDE, J. P. Sensible heat and momentum flux measurement with an optical inner scale meter. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.85, p. 259-267, 1997.

HOWELL, T. A. Lysimetry. In: HILLEL, D. *Encyclopedia of soils in the environment*. Oxford: Elsevier, p. 379-386, 2004.

ISO GUM. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Revision 01, set, 2008.

KISI, O. Evapotranspiration modeling using a wavelet regression model. *Irrigation Science*, v.29, n.3, p.241-252, 2010.

LIMA, N. S.; MONTENEGRO, S. M. G.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; FRANÇA E SILVA, E.; MONTENEGRO, A. A. A; NASCIMENTO, A. H. C. Desempenho de um lisímetro de pesagem hidráulica com sensor de pressão hidrostática e sistema manométrico. *Irriga*. Botucatu, SP, v. 18, n. 3, p. 540-557, julho-setembro, 2013.

LIU, Y.; LUO, Y. A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. *Agricultural Water Management*. v. 97, p. 31– 40, 2010.

LÓPEZ-URREA, R.; OLALLA, F. M. S.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*. v.85, p.15-26, 2006.

LORITE, I. J.; SANTOS, C.; TESTI, L. FERERES, E. Design and construction of a large weighing lysimeter in an almond orchard. *Spanish Journal of Agricultural Research*. v. 10, p. 238-250, 2012.

MACHADO, R. E. E.; MATTOS, A. Construção e instalação de um lisímetro de com sistema de drenagem. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 147-151, 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: UFV, 2009, 355p.

MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M.; FRIZZONE, J. A; JÚNIOR, J. B. T.; FRAGA JUNIOR, E. F. Tabasco pepper transpiration by the heat dissipation probe method. *Water Resources and Irrigation Management*. Campina Grande, v.2, n.1, p.11-18, 2013.

MEDEIROS, A.T. Estimativa da evapotranspiração de referência partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraibapa, CE. 2002. 130p. Tese (doutorado) - Tese (doutorado) -Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq). Piracicaba, SP, 2002.

NASCIMENTO, E. F.; CAMPECHE, L. F. S. M.; BASSOI, L. H.; SILVA, J. A.; LIMA, A. C. M.; PEREIRA, A. C. Construção e calibração de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração e coeficiente de cultivo em videira de vinho cv. Syrah. *Irriga*, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 271-287, julho-setembro, 2011.

NASCIMENTO, C. N. V.; AZEVEDO, B. M.; VIANA, T. V. A.; BOMFIM, G. V. MESQUISTA, J. B. R. Instalação e calibração de um lisímetro de precisão com uma célula de carga. Irriga. Botucatu, SP, v. 17, n. 2, p. 251 - 263, abril - junho, 2012.

OLIVEIRA, A. S.; VELLAME, L. M.; SANTOS JÚNIOR, J. L. C. VELLAME, J. M. Design and uncertainty analysis of a weighing system for continuous measurement of crop evapotranspiration. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. Fortaleza, CE, v.5, nº. 3, p. 202-213, 2011.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S. Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters. Irrigation Science, v.26, p.191-202, 2008.

PORTARIA 29. Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia – VIM. INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. 78p, 1995.

PRESTON, D.W.; DIETZ, E. R. The art of experimental physics. Ed: John Wiley & Sons. Nova York, 195p. 1991.

SANTOS, F. X. Lisímetro de pesagem hidráulica e evapotranspiração de referência por diferentes métodos no agreste pernambucano. 2004, 77p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2004.

SANTOS, F. X.; RODRIGUES, J. J. V; MONTENEGRO, A. A. A.; MOURA, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. Engenharia Agrícola: Jaboticabal, SP, v.28, n.1, p.115-124, jan.- mar., 2008.

SANTOS, R. A. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; ATARASSI, R. T.; ALVES JÚNIOR, J. Projeto, construção e calibração de um lisímetro móvel de pesagem, com célula de carga hidráulica, para determinação da demanda hídrica de mudas cítricas em casa de vegetação. Irriga: Botucatu, SP, v. 12, n. 2, p-202-215, abr.-jun., 2007.

SCHMIDT, C. D. S.; PEREIRA, F. A. C.; OLIVEIRA, A. S.; GOMES JÚNIOR, J. F.; VELLAME, L. M. Design, installation and calibration of a weighing lysimeter for crop evapotranspiration studies. Water Resources and Irrigation Management. Campina Grande, PA, v.2, n.2, p.77-85, may-aug., 2013.

SILVA NETO, J. C. Metrologia e controle dimensional. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012, 264p.

SILVA, A. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MARIN, F. R. Arquitetura para plataforma de coleta e disseminação de dados climáticos no estado do Piauí. Revista Tecnológica. Fortaleza, CE, v. 29, n. 2, p.134-140, dez., 2008

SILVA, J. C. Construção, Automação e Avaliação de um lisímetro de pesagem hidráulica. 2013. 61p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso. Rondonópolis, MT, 2013.

SILVA, M. G. Desenvolvimento de sensor de fluxo de seiva e de coeficiente indicador de estresse hídrico para plantas de cafeeiro arábica. 2008. 102p. Dissertação (mestrado) - Campo dos Goytacazes, RJ, 2008.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A. Sunflower water productivity in four great plains soils. *Field Crops Research*. v. 127, p. 120–128, 2012.

TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water Resource Management*. v.23, p. 3057-3067, 2009.

VAUGHAN, P. J.; TROUT, T. J.; AYARS, J. E. A processing method for weighing lysimeter data and comparison to micrometeorological ETo predictions. *Agricultural water management*. v. 88, p. 141-146, 2007.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 116-122, jan.-mar., 2011.

VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA (VIM). Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 94p, 2012.

WHEELER, A. J.; GANJI, A. R. Introduction to engineering experimentation. New Jersey: Prentice Hall. 1996. 415p.

4 CAPÍTULO II

Reposição hídrica com água salina baseada em lisímetro de pesagem associados a adubação nitrogenada na cultura do girassol

Different levels of irrigation with saline water based in lysimeter weighing associated with nitrogen fertilization in sunflower crop

(Normas de acordo com a revista Ciência Agronômica)

RESUMO – O cultivo do girassol com água salina se torna uma estratégia de aproveitamento dos recursos hídricos de qualidade inferior, principalmente por causa de sua escassez. Objetivou-se nesse estudo analisar a resposta da cultivar Charrua sobre influência de diferentes regimes hídricos associados a condutividade elétrica de água de irrigação e adubação nitrogenada. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4x2x2 com três repetições, sendo quatro níveis de reposição hídrica iguais a 25, 50, 75 e 100% da capacidade de água disponível no solo manejados através de 4 lisímetros de pesagem com célula de carga; dois tipos de condutividade elétrica da água de irrigação iguais a 0,6 e 3,0 dS m⁻¹ e dois níveis de adubação nitrogenada correspondentes a 100 e 200% da dose recomendada pela análise do solo. Foram avaliadas a altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas, área foliar, matéria seca de folha, matéria seca de caule, diâmetro interno de capítulo, matéria seca de capítulo, massa de aquênios e número de aquênios por planta. Verificou-se que em todas as variáveis cujo teste F foi significativo o aumento da reposição hídrica promoveu acréscimos lineares, enquanto aumento dos tipos de condutividade elétrica da água de irrigação e da adubação nitrogenada favoreceram reduções significativas, o que caracterizou a Charrua sensível aos tratamentos. O diâmetro de capítulo não foi influenciado pelos tratamentos na colheita, porém a massa e o número de aquênios foram

reduzidos em 18,74 e 20,88% respectivamente com uso da maior condutividade elétrica da água de irrigação.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L.. Condutividade elétrica. Produção de aquênios.

ABSTRACT - Sunflower cultivation with saline water becomes a recovery strategy for water resources of lower quality, mainly due to its scarcity. This study aimed to analyze the response of the Charrua cultivar under influence of different water systems associated with electrical conductivity of irrigation water and nitrogen fertilizer. The design was a randomized complete block in a 4x2x2 factorial scheme with three replications, with four levels of fluid replacement equal to 25, 50, 75 and 100% of available water capacity in the soil handled through 4 weighing lysimeter with load cell; two types of electrical conductivity of irrigation water equal to 0.6 and 3.0 dS m⁻¹ and two levels of nitrogen fertilization corresponding to 100 and 200% of the dose recommended by soil analysis. There were evaluated the plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, dry matter of leaves, dry matter of stem, Head internal diameter, dry matter of head mass and number of achenes per plant. It was found that in all the variables whose F test was significant the increased of fluid replacement promoted linear increases, while increasing the types of electrical conductivity of irrigation water and nitrogen fertilization favored significant reductions, which characterized the Charrua sensitive to treatment. The head diameter was not affected by treatments at harvest, but the mass and the number of achenes were reduced by 18.74 and 20.88% respectively with use of the highest electrical conductivity of irrigation water.

Key words: *Helianthus annuus* L.. Electrical conductivity. Production of achenes.

4.1 INTRODUÇÃO

A agricultura com vocação energética através do cultivo de oleaginosas teve expressivo avanço com aumento na demanda por agrobiocombustíveis e a adoção do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) em 2004 no Brasil (BORSUK, 2008). A partir de 2010, regularizou-se a adição de 5% de biodiesel ao diesel comercializado no país.

O girassol (*Helianthus annuus* L.) ganha destaque no cenário agrícola atual por possuir características agronômicas capazes de suprir parte da demanda bioenergética atual (SANTOS JÚNIOR et al., 2011). Dentre elas, citam-se maior tolerância a seca (JONER et al., 2012; AQUINO et al., 2013), adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas (SANTOS & GRANGEIRO, 2013) e excelente qualidade do óleo produzido (SOUZA et al., 2014). Apesar disso, estudos como os realizados por alguns autores como (DUTRA et al., 2012; SILVA et al., 2014; SOBRINHO et al., 2011) afirmam que seu desenvolvimento é influenciado pela variação de água no solo, sendo importante o conhecimento de suas necessidades hídricas. A água é o recurso requerido em maior quantidade pelas culturas e frequentemente o mais limitante ao desenvolvimento, tanto pela falta quanto por excesso (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Silva et al. (2014) relatam que dentre os mecanismos fisiológicos adaptativos desenvolvidos pela cultura do girassol perante um possível déficit hídrico se destaca a aceleração do processo de senescência das folhas objetivando a restrição da área foliar e, em contrapartida, a superfície exposta às perdas por transpiração. Hormônios vegetais como o etileno e o ácido abscísico têm seus níveis aumentados influenciando significativamente esse processo (DUTRA et al., 2012).

Para Silva et al. (2013) estudos referentes às respostas fisiológicas da cultura do girassol às condições de deficiência hídrica são pouco conclusivos, havendo a necessidade de realização de estudos que priorizem induzir a cultura ao déficit hídrico durante seu ciclo.

Como qualquer cultura, o girassol apresenta ao longo de seu ciclo diferentes estádios fenológicos com exigências distintas de água oriundas das alterações no organismo, visto que diferentes processos fisiológicos são prevaletentes nos diversos estádios de desenvolvimento das plantas e que alguns desses são mais sensíveis que outros a redução do potencial da água nos solos (SILVA et al., 2014).

A demanda hídrica de uma cultura está relacionada a taxa de evapotranspiração, que representa o quanto de água do sistema solo-planta é transferido em forma de vapor à atmosfera (ALLEN et al., 1998).

Diversos métodos são usados objetivando quantificar esse processo como os micrometeorológicos (CONSOLI, 2014; HARRINGTON et al., 2014) e de fluxo de seiva (ARAÚJO et al., 2012; PAMPONET et al., 2012; VELLAME et al., 2012); no entanto, aquele considerado de maior acurácia e usado na calibração de outros métodos são os lisímetros de pesagem, cujo princípio de medição é baseado em células de carga (WEGEHENKEL & GERKE, 2013; CRUZ-BLANCO et al., 2014; LIU & LUO, 2010).

A demanda evapotranspirométrica dos cultivos em quantidade e momento corretos podem ser supridas via irrigação (MANTOVANI et al., 2009) desde que o recurso hídrico explorado possua volume e disponibilidade suficientes.

A escassez atual de recursos hídricos torna o uso de água salinas uma alternativa para uso nos cultivos, contudo, esse uso pode resultar em efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas dos solos (FREITAS et al., 2014) e, posteriormente, reduzir a disponibilidade hídrica às culturas (HARTER et al., 2014). O efeito osmótico e a toxidez de íons nas culturas decorrentes de água com salinidade elevada tem sido estudado em diversas partes do mundo, porém a contribuição de cada um desses fatores na restrição do crescimento vegetal ainda exige pesquisas (NOBRE et al., 2010).

A elevada concentração de sais provoca distúrbios na integridade e na função da membrana celular, interfere no balanço de solutos e nutrientes causando sintomas de deficiência nutricional além de promover a redução no conteúdo de clorofila total pela ação da enzima clorofilase, que é considerada a primeira enzima na degradação da clorofila (CASTRO et al., 2012). Além disso, ocorre o surgimento de déficit hídrico caracterizado como seca fisiológica, resultante da constante demanda hídrica pelo processo de transpiração das plantas e a redução de sua disponibilidade face a redução do potencial osmótico dessa água pelo acréscimo salino (PRISCO & GOMES-FILHO, 2010).

Assim é importante a adoção de técnicas de manejo visando amenizar os efeitos daninhos da salinidade ao desenvolvimento das plantas (CAMPOS et al., 2010).

Vários estudos consideram a adubação nitrogenada como estratégia para a redução dos efeitos de estresses hídricos e salinos nas culturas (ZHANG et al., 2012; DONG, 2012). Para Oliveira et al. (2010), o acúmulo de solutos orgânicos derivados do nitrogênio elevam a capacidade de ajustamento osmótico das plantas à salinidade, aumentando sua tolerância, além disso, (NOBRE et al., 2013; LIMA et al., 2012) relatam que, em trabalhos anteriores verificaram evidências de competição na absorção entre nitrato e cloreto de modo que o aumento na concentração de nitrato na zona radicular pode inibir maior absorção de cloreto pela planta.

Não obstante a adubação nitrogenada também desempenha funções relevantes no metabolismo e na nutrição do girassol, então, busca-se averiguar sua importância nas características morfológicas e seus eventuais reflexos na produtividade, sendo o nitrogênio o elemento que mais limita sua produção (FREITAS et al., 2014; BISCARO et al., 2008).

Como visto, a cultura do girassol depende de estudos que visem avaliar o comportamento dessa cultura em condições adversas como quantidade e disponibilidade hídrica adequadas, então, considerando o exposto, objetivou-se com o estudo avaliar o comportamento da cultura do girassol submetida a diferentes regimes hídricos com água de diferentes condutividades elétricas associadas a dose de adubação nitrogenada recomendada e outra elevada.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos sob ambiente protegido localizado em área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, no município de Rio Verde, Goiás, cujo clima é Aw segundo classificação de Köppen, com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual entre 20 e 25 °C e média pluviométrica anual acima de 1500 mm.

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC) analisado em esquema fatorial 4x2x2 com três repetições, considerando quatro reposições hídricas (RH) iguais a 25, 50, 75 e 100% da capacidade de água disponível no solo, duas condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) referentes a 0,6 e 3,0 dS m⁻¹ e dois

tipos de adubação nitrogenada (DN) iguais a 100 e 200% da dose recomendada. O croqui experimental pode ser observado na Figura 1.

BLOCO 1			
1	2	3	4
25-100-3,0	50-200-0,6	100-200-0,6	50-100-3,0
5	6	7	8
25-200-3,0	100-200-3,0	100-100-0,6	50-200-3,0
9	10	11	12
75-100-0,6	100-100-3,0	75-200-3,0	25-100-0,6
13	14	15	16
75-200-0,6	50-100-0,6	75-100-3,0	25-200-0,6
BLOCO 2			
17	18	19	20
75-100-0,6	100-200-3,0	100-200-0,6	25-100-0,6
21	22	23	24
25-200-3,0	50-100-0,6	75-200-3,0	50-200-3,0
25	26	27	28
25-100-3,0	100-100-3,0	100-100-0,6	50-100-3,0
29	30	31	32
75-200-0,6	50-200-0,6	75-100-3,0	25-200-0,6
BLOCO 3			
33	34	35	36
25-200-3,0	100-100-3,0	100-100-0,6	25-200-0,6
37	38	39	40
75-100-0,6	50-100-0,6	75-200-3,0	50-100-3,0
41	42	43	44
25-100-3,0	50-200-0,6	100-200-0,6	50-200-3,0
45	46	47	48
75-200-0,6	100-200-3,0	75-100-3,0	25-100-0,6

Figura 1 – Croqui do delineamento experimental

Os níveis de RH foram manejados através de 4 lisímetros de pesagem eletrônica construídos com 2 dimensões diferentes que foram: lisímetros 1 e 4 com área e volume de 0,502 m² e 0,377 m³ respectivamente; e lisímetros 2 e 3 com área e volume correspondentes a 0,385 m² e 0,289 m³. Cada lisímetro possuía 3 células de carga dispostas equidistantemente sob suportes articulados de aço carbono modelo SAMEL-2CF, cujas células utilizadas são do tipo “I”, modelo L-250 para os lisímetros 2 e 3 e L-500 para os lisímetros 1 e 4.

O sistema de aquisição de dados era composto de um datalogger modelo CR 1000 da Campbell Scientific® em que mediante instrução de programação os dados de variação de massa decorrentes do processo de evapotranspiração eram armazenados em intervalo de 15, 30 e 60 min e também mostrados em módulo indicador de pesagens modelo 3101C da Alfa Instrumentos®. Melhores descrições e características técnicas dos lisímetros de pesagem, bem como sua calibração e erros envolvidos são explanados no CAPÍTULO I.

O sistema de irrigação usado foi o de gotejamento superficial dotado de emissores autocompensantes modelo Click Tif-PC da fabricante *Naan Dan Jain Irrigation*® com vazão de $2,0 \text{ L h}^{-1}$ inseridos em mangueira de polietileno de baixa densidade de 16 mm e pressurizados por conjunto motor-bomba. Uma disposição parcial do sistema montado no experimento pode ser visualizada na Figura 2 e se considera: (1) painel de controle e automação, (2) conjunto motor-bomba, (3) recalque com filtragem, (4) linha principal, (5) linha lateral, (6) vasos, (7) lisímetro de pesagem, (8) estação meteorológica, (9) caixa de junção, (10) módulo indicador de pesagem, (11) abrigo do datalogger e (12) fonte de abastecimento.



Figura 2 - Disposição parcial do sistema de irrigação

O recalque era composto de 2 linhas principais e 1 conduzia água de condutividade elétrica igual a $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ e a outra com $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, com sistemas de abastecimento

individuais. As irrigações com água de CEa de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ eram realizadas primeiro e subsequentemente com água de maior CE ($3,0 \text{ dS m}^{-1}$). Após realizadas as irrigações, procedia-se com a retrolavagem do sistema através da saída de filtro de disco localizado posterior ao conjunto motor-bomba.

Os níveis de CEa foram obtidos a partir da adição de cloreto de sódio (NaCl) à água de irrigação até alcançar a CE esperada utilizando a equação $Q_{\text{NaCl}} = 640 * (CE_{\text{ad}} - CE_{\text{ai}})$ proposta por (RICHARDS, 1954), em que Q_{NaCl} é a quantidade de NaCl exigida para elevar a CEa, em mg L^{-1} ; a CE_{ad} é a condutividade almejada nos tratamentos, em dS m^{-1} e CE_{ai} expressa a condutividade inicial da água antes da adição de NaCl, em dS m^{-1} . Um condutímetro digital portátil foi utilizado nas medições da condutividade elétrica atual e desejada.

Para os níveis de adubação nitrogenada (DN) utilizou-se como fonte a ureia (45% de N) parcelada em três aplicações, sendo a primeira na fase vegetativa (V-E), a segunda na fase de floração inicial (R4) e a última na fase de desenvolvimento de aquênios (R7).

Antes da semeadura foram incorporados 2% de matéria orgânica oriunda de esterco bovino, Fosfato Monoamônico (MAP) com teores de 50% de P_2O_5 e 10% de N e ácido bórico (99,9% de Bo) mediante recomendações propostas por Novais (1991) e na análise química do solo.

Os vasos de 60 L e lisímetros tiveram suas umidades elevadas até a capacidade de campo, momento em que foram plantadas 10 sementes por vaso/lisímetro de girassol cv Charrua que consiste em um híbrido triplo com ciclo semiprecoce.

Os tratamentos de RH e CEa foram impostos aos 12 dias após semeadura (DAS), momento em que contabilizou 80% de germinação. Aos 20 e 30 DAS houve desbaste manual permanecendo 3 e 1 plantas por vaso/lisímetro respectivamente e a colheita foi realizada aos 90 DAS. Aos 83 DAS foram suprimidos os tratamentos de RH para que ocorresse maturação fisiológica dos aquênios.

Foram analisadas a altura de planta (AP) e diâmetro de caule (DC) aos 10, 20, 30, 50 e 70 DAS usando trena e paquímetro; o número de folhas (NF) e área foliar (AF) aos 20, 30, 50 e 70 DAS por contagem visual e medida com régua graduada do comprimento de folhas iguais e superiores a 3 cm; a matéria seca de folha (MSF) e de caule (MSC) aos 20, 30 e 90 DAS; o diâmetro interno de capítulo (DICAP) aos 70 e 90 DAS; a massa seca de capítulo (MSC), a massa total de aquênios (MTA), a massa de aquênios granados (MAG) e não granados (MANG); o número de aquênios (NA), número de aquênios granados (NAG) e os não granados (NANG) aos 90 DAS. O DICAP foi determinado pela

média de duas medições feitas em sentido perpendicular na área de existência de aquênios em desenvolvimento, a AF foi calculada através da equação $\sum AF = 1,7582L^{1,7067}$ sugerida por (MALDANER et al., 2009) em que, AF corresponde a área foliar de todas as folhas vivas, em cm²; e L igual ao comprimento da folha, em cm.

Para a determinação da MSF e MSC, após desbaste as plantas foram divididas em folha + pecíolo e caule, posteriormente acondicionadas em sacos de papel previamente identificados com os tratamentos e levadas a estufa de ventilação forçada de ar a 65° C por período de 72 horas, e em seguida, as massas secas foram determinadas em balança analítica de precisão com resolução de 0,001 g. As MTA, MAG e MANG foram determinadas também por pesagem em balança analítica e os NTA, NAG e NANG através de contagem visual após debulhamento manual. Todas as variáveis foram analisadas utilizando o *software* SISVAR cujas médias referentes aos tratamentos de CEa e DN foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e a RH por análise de regressão, quando significativos.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo resumo da análise de variância observado na Tabela 1 para AP e Tabela 2 para DC, observaram-se efeitos isolados do tratamento de RH nas variáveis AP e DC aos 30, 50 e 70 DAS, da CEa no DC para as mesmas épocas e DN apenas no DC aos 50 DAS.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância da característica altura de planta da cultura do girassol

F.V.	G.L.	Quadrados Médio				
		Dias após semeadura				
		10	20	30	50	70
Altura de planta (AP)						
RH	3	3,99 ^{ns}	19,56 ^{ns}	1128,78 ^{**}	2701,4 ^{**}	2762,9 ^{**}
CEa	1	0,06 ^{ns}	0,33 ^{ns}	275,52 ^{ns}	513,52 ^{ns}	776,02 ^{ns}
DN	1	1,23 ^{ns}	5,33 ^{ns}	0,18 ^{ns}	136,68 ^{ns}	275,52 ^{ns}
RH*CEa	3	2,23 ^{ns}	3,84 ^{ns}	22,75 ^{ns}	126,46 ^{ns}	299,4 ^{ns}
RH*DN	3	5,81 ^{ns}	8,84 ^{ns}	14,2 ^{ns}	146,4 ^{ns}	73,68 ^{ns}
CEa*DN	1	3,15 ^{ns}	1,02 ^{ns}	93,52 ^{ns}	638,02 ^{ns}	1312,52 ^{ns}
RH*CEa*DN	3	6,98 ^{ns}	4 ^{ns}	16,45 ^{ns}	19,18 ^{ns}	48,02 ^{ns}
Bloco	2	3,21 ^{ns}	23,22 ^{ns}	515,69 [*]	1723,58 [*]	1522,39 [*]
Resíduo	30	54,15	7,76	77,89	319	324,08
CV (%)		23,7	13,29	14,78	11,74	11,42

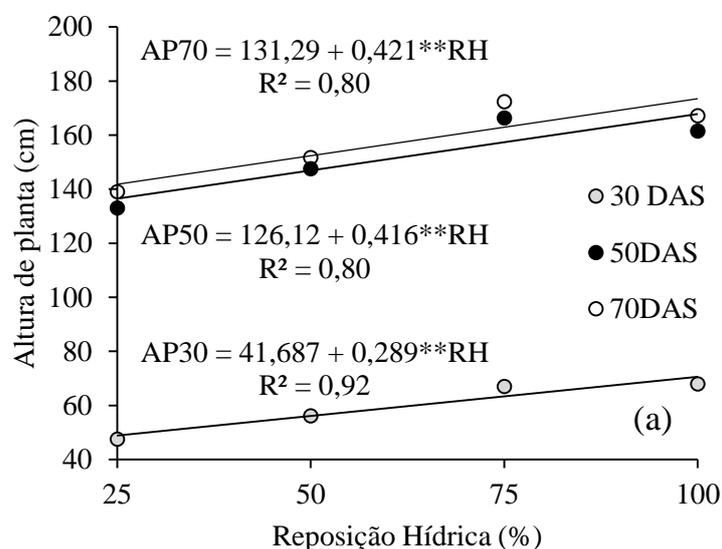
** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} – Não significativo; FV – Fontes de variação; GL – Graus de liberdade; RH – Reposição Hídrica; CEa – Condutividade elétrica da água de irrigação; DN – Nível de adubação nitrogenada; CV – Coeficiente de variação

Tabela 2 – Resumo da análise de variância da característica diâmetro de caule da cultura do girassol

F.V.	G.L.	Quadrados Médio			
		Dias após semeadura			
		20	30	50	70
RH	3	0,65 ns	55,49 **	167,15 **	208,98 **
CEa	1	1,45 ns	82,66 **	149,17 *	162,32 *
DN	1	0,12 ns	2,43 ns	98,67 *	75,22 ns
RH*CEa	3	0,1 ns	7,4 ns	15,01 ns	14,59 ns
RH*DN	3	0,34 ns	6,55 ns	3,1 ns	7,34 ns
CEa*DN	1	5,34 ns	23,25 ns	62,56 ns	90,33 ns
RH*CEa*DN	3	0,41 ns	1,47 ns	5,72 ns	4,86 ns
Bloco	2	0,91 ns	8,53 ns	55,04 ns	51,9 ns
Resíduo	30	1,07	9,88	22,23	24,41
CV (%)		12,85	22,65	18,03	17,28

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - Não significativo; FV - Fontes de variação; GL - Graus de liberdade; RH - Reposição Hídrica; CEa - Condutividade elétrica da água de irrigação; DN - Nível de adubação nitrogenada; CV - Coeficiente de variação

A equação de regressão que melhor se ajustou pela análise de regressão para o fator RH foi a linear na AP em todas as épocas de avaliação. Na AP, estimou-se, de acordo com a equação de regressão incrementos de 0,69; 0,33 e 0,32% por aumento unitário da reposição hídrica aos 30, 50 e 70 DAS respectivamente (Figura 3).

**Figura 3** – Altura de planta de girassol em função da reposição hídrica

Percebe-se que os incrementos aos 50 e 70 DAS na AP eram valores próximos, e se deve ao fato de que, aos 50 DAS a cultura se encontrava em estágio correspondente a floração e realocando maior partição de fotoassimilados para tal processo, justificando o menor incremento em crescimento longitudinal.

Situação semelhante a AP ocorre com o DC cujos incrementos estimados pela equação de regressão foram de 0,68; 0,59 e 0,58%, por aumento unitário da RH aos 30, 50 e 70 DAS, respectivamente cujos incrementos correspondentes aos 50 e 70 DAS foram superiores àqueles encontrados para a AP (Figura 4).

Para Curti (2010), é desejável que o diâmetro da caule seja resistente para possibilitar a sustentação da inflorescência do girassol cuja massa em relação a outras espécies é superior, dessa forma, a partir dos 50 DAS o girassol se desenvolveu mais em sustentação (DC) do que em comprimento médio (AP). Os maiores valores de AP e DC neste trabalho foram estimados aos 70 DAS com 173,4 cm e 33,2 mm respectivamente.

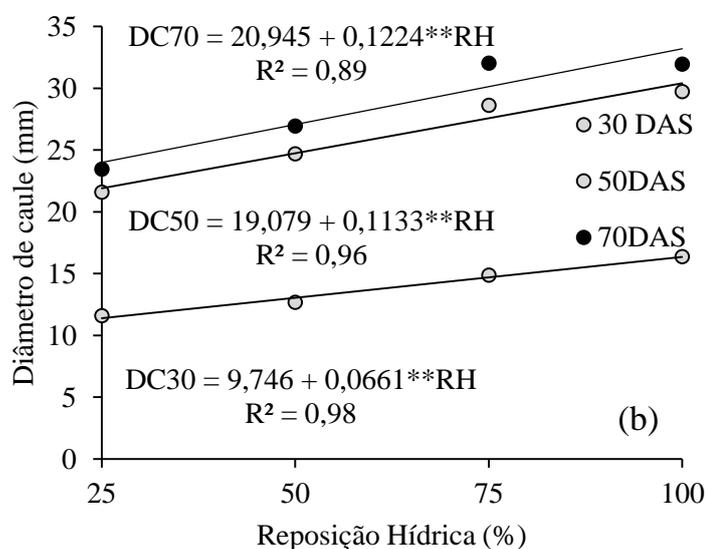


Figura 4 – Diâmetro de caule de girassol em função da reposição hídrica

Não foi observada influência da CEa na AP o que corrobora com resultados encontrados por Moraes et al. (2011) que verificaram que água usada na irrigação com CE de até 3,43 dS m⁻¹ não influenciou no crescimento de híbrido de girassol, independente da fase de desenvolvimento. Já Travassos et al. (2012) avaliando a influência de três níveis de salinidade correspondentes a 0,6; 3,0 e 5,4 dS m⁻¹ em quatro cultivares de girassol, observaram influência negativa da CEa na AP apenas aos 30 DAE e atribuíram esse comportamento a adaptação do cultivar ao estresse imposto ao longo do desenvolvimento.

O tratamento com CEa igual a 3,0 dS m⁻¹ favoreceu decréscimos no DC a partir dos 30 DAS na ordem de 17,0; 12,0 e 12,0% aos 30, 50 e 70 DAS, respectivamente (Tabela 3). Na mesma tabela observa-se que aos 50 DAS a maior DN aplicada resultou em

decréscimo de 10,4% no DC, possivelmente pelo aumento do potencial osmótico da água no solo oriundo do tempo de exposição do girassol ao maior nível de CEa associado a maior DN. Nobre et al. (2010) verificaram que o aumento da salinidade da água de irrigação proporcionou decréscimos lineares no DC de girassol de 2,7 e 5,0%, por aumento unitário da CE, respectivamente aos 26 DAS e mais pronunciadamente aos 50 DAS. Pelos valores observados por esses autores, presume-se que a cultivar Charrua utilizada nesse trabalho se mostrou mais sensível ao aumento da CEa.

Tabela 3 – Valores médios de diâmetro de caule de girassol (mm) aos 30, 50 e 70 DAS para os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e adubação nitrogenada

Níveis de CEa	Dias após a semeadura		
	30	50	70
	Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)		
0,6	15,19a	27,92a	30,43a
3,0	12,56b	24,39b	26,75b
	Adubação nitrogenada (%)		
100	14,10a	27,59a	29,84a
200	13,65a	24,72b	27,34a

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey

Não houve interação entre os fatores quando analisadas as variáveis NF (Tabela 4) e AF (Tabela 5), passando a estudar os fatores de forma isolada, houve diferença estatística significativa no NF, para o fator RH, apenas aos 30 DAS, enquanto para a AF houve influência em todas as épocas de avaliação a partir dos 30 DAS.

Estimou-se acréscimo, de acordo com a equação de regressão no NF de 0,36% aos 30 DAS por aumento unitário da RH com máximo de 22 folhas (Figura 5), enquanto para a AF foram de 2,36% aos 30 DAS; 1,32% aos 50 DAS e 1,80% para os 70 DAS (Figura 6).

Para Aquino et al. (2011) a AF de uma cultura é considerada o aparato fotossintético responsável pela interceptação de energia luminosa, correspondendo a um dos processos mais determinantes na produtividade. Dessa forma, observa-se que a AF foi mais sensível aos tratamentos do que o NF ao longo das épocas avaliadas. Essa resposta consiste em estratégia de desenvolvimento da cultura frente a maior demanda que ocorre na fase de floração e enchimento de aquênios, em que o aumento em AF favorece maior assimilação de compostos carbonados para tais processos.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância da característica número de folha aos 20, 30, 50 e 70 dias após semeadura

F.V.	G.L.	Quadrados médio			
		Dias após semeadura			
		20	30	50	70
Número de folha (unidade)					
RH	3	0,38 ^{ns}	44,52 ^{**}	0,72 ^{ns}	9,4 ^{ns}
CEa	1	2,08 ^{ns}	36,75 [*]	33,33 [*]	50,02 [*]
DN	1	1,33 ^{ns}	0,00 ^{ns}	4,08 ^{ns}	0,02 ^{ns}
RH*CEa	3	0,91 ^{ns}	1,63 ^{ns}	2,72 ^{ns}	1,24 ^{ns}
RH*DN	3	0,5 ^{ns}	1,88 ^{ns}	10,58 ^{ns}	7,46 ^{ns}
CEa*DN	1	0,08 ^{ns}	3,00 ^{ns}	0,08 ^{ns}	13,02 ^{ns}
RH*CEa*DN	3	1,58 ^{ns}	1,55 ^{ns}	2,8 ^{ns}	5,79 ^{ns}
Bloco	2	0,77 ^{ns}	6,08 ^{ns}	1,58 ^{ns}	62,27 [*]
Resíduo	30	0,81	6,77	7,11	7,47
CV (%)		8,53	13,04	8,65	9,23

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} - Não significativo; FV - Fontes de variação; GL - Graus de liberdade; RH - Reposição Hídrica; CEa - Condutividade elétrica da água de irrigação; DN - Nível de adubação nitrogenada; CV - Coeficiente de variação.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância da característica número de área foliar aos 20, 30, 50 e 70 dias após semeadura

F.V.	G.L.	Quadrados médio			
		Dias após semeadura			
		Área foliar (cm ²)			
		20	30 ¹	50	70 ¹
RH	3	4169,34 ^{ns}	889,85 ^{**}	94979564,14 ^{**}	3529,72 ^{**}
CEa	1	8723,44 ^{ns}	606,72 [*]	73684073,41 [*]	2865,14 ^{**}
DN	1	745,21 ^{ns}	53,15 ^{ns}	20561850,54 ^{ns}	306,64 ^{ns}
RH*CEa	3	7775,46 ^{ns}	13,76 ^{ns}	12759129,5 ^{ns}	253,01 ^{ns}
RH*DN	3	3560,04 ^{ns}	7,31 ^{ns}	11773445,92 ^{ns}	48,83 ^{ns}
CEa*DN	1	41050,03 ^{ns}	217,31 ^{ns}	16701272,44 ^{ns}	660,52 ^{ns}
RH*CEa*DN	3	25256,34 ^{ns}	4,44 ^{ns}	713054,52 ^{ns}	108,08 ^{ns}
Bloco	2	24989,43 ^{ns}	65,36 ^{ns}	15575208,49 ^{ns}	1003,15 [*]
Resíduo	30	13587,62	96,90	8731886,62	252,22
CV (%)		18,89	18,36	26,25	13,90

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} - Não significativo; FV - Fontes de variação; GL - Graus de liberdade; RH - Reposição Hídrica; CEa - Condutividade elétrica da água de irrigação; DN - Nível de adubação nitrogenada; CV - Coeficiente de variação; ¹ - Dados transformados em $\sqrt[3]{x}$

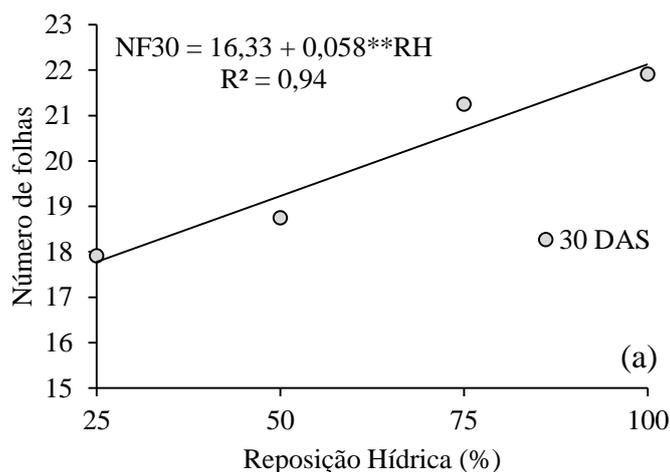


Figura 5 – Número de folhas de girassol em função da reposição hídrica

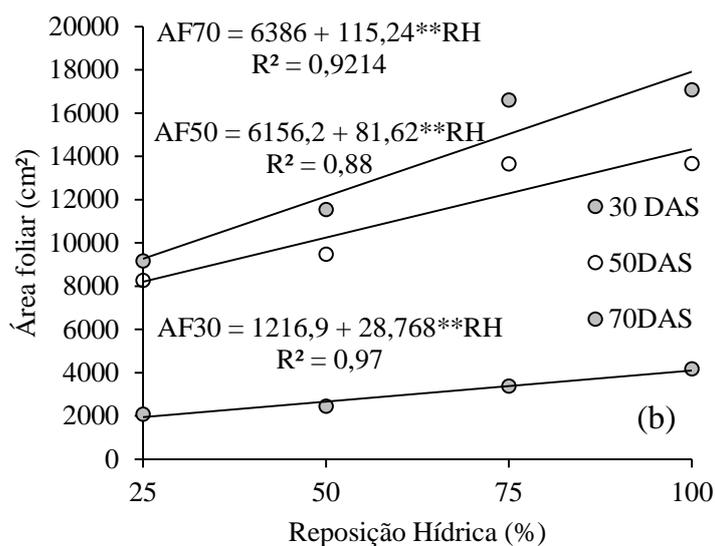


Figura 6 – Área foliar de girassol em função da reposição hídrica

Reduções significativas no NF e AF ocorreram aos 30, 50 e 70 DAS em resposta às duas CEa (Tabela 6). Os tratamentos que receberam maior CEa reduziram em aproximadamente duas unidades o NF quando comparadas a menor CEa usada, enquanto para AF os decréscimos observados foram de 23,45; 19,83 e 25,86% aos 30, 50 e 70 DAS. Por esse resultado, vê-se que as reduções em AF foram mais pronunciadas aos 30 e 70 DAS.

Tabela 6 – Valores médios de número de folhas e área foliar de girassol em relação à condutividade elétrica da água de irrigação aos 30, 50 e 70 DAS

Dias após semeadura	Valores médios			
	Número de folhas		Área foliar (cm ²)	
	Condutividade elétrica			
	0,6	3,0	0,6	3,0
30	20,83A	19,08B	3415,44A	2614,36B
50	31,66A	30,00B	12496,59A	10018,62B
70	30,62A	28,58B	15607,07A	11570,03B

Médias seguidas de letras iguais, na linha, não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey

Resultados semelhantes foram encontrados por (GUEDES FILHO et al., 2013) objetivando avaliar a interação entre cinco níveis de CEa (1, 2, 3, 4 e 5 dS m⁻¹) e quatro doses de nitrogênio (40, 60, 80 e 100 Kg ha⁻¹) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência (DAE) na cultura do girassol. Os autores concluíram que a CEa exerceu efeito significativo no NF aos 30 e 75 DAE e na AF em todas as épocas, exceto ao 15 DAE.

Semelhante às outras variáveis já analisadas nesse estudo, observa-se pela Tabela 7, que não houve interação significativa entre os fatores para a MSF e MSC. Respostas isoladas da RH foram observadas aos 30 e 90 DAS para MSF e apenas aos 90 DAS para MSC com relação linear entre as variáveis e o fator. Os acréscimos na MSF foram de 1,4 e 2,8% aos 30 e 90 DAS, (Figura 7), respectivamente, por aumento da RH e justificáveis pelo aumento de AF em todas as épocas avaliadas a partir dos 30 DAS (Tabela 5). Na MSC o incremento foi de 0,65% aos 90 DAS por acréscimo unitário da RH, segundo a equação de regressão.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância das características matéria seca de folha e de caule da cultura do girassol aos 20, 30 e 90 dias após semeadura

FV	GL	Quadrados Médio					
		MSF			MSC		
		Dias após semeadura					
		20	30 ¹	90 ¹	20	30 ¹	90 ¹
RH	3	0,08 ns	2,14 **	36,03 *	0,04 ns	0,59 ns	82,67 *
CEa	1	0,03 ns	2,60 *	51,76 **	0,033 ns	0,16 ns	91,97 *
DN	1	0,01 ns	0,40 ns	7,51 ns	0,008 ns	0,00 ns	3,91 ns
RH*CEa	3	0,14 ns	0,13 ns	3,78 ns	0,017 ns	0,08 ns	7,49 ns
RH*DN	3	0,05 ns	0,09 ns	1,26 ns	0,016 ns	0,12 ns	2,51 ns
CEa*DN	1	0,28 ns	0,72 ns	15,05 ns	0,045 ns	0,36 ns	31,84 ns
RH*CEa*DN	3	0,38 ns	0,10 ns	0,54 ns	0,078 ns	0,26 ns	3,02 ns
Bloco	2	0,57 ns	0,60 ns	13,64 ns	0,018 ns	0,32 ns	11,89 ns
Resíduo	30	0,19	0,43	6,38	0,029	0,18	11,79
CV (%)		22,14	20,02	28,99	22,02	16,63	31,44

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - Não significativo; FV - Fontes de variação; GL - Graus de liberdade; RH - Reposição Hídrica; CEa - Condutividade elétrica da água de irrigação; DN - Nível de adubação Nitrogenada; CV - Coeficiente de variação; MSF - Matéria seca de folha; MSC - Matéria seca de caule; ¹ - Dados transformados em $\sqrt[2]{x}$

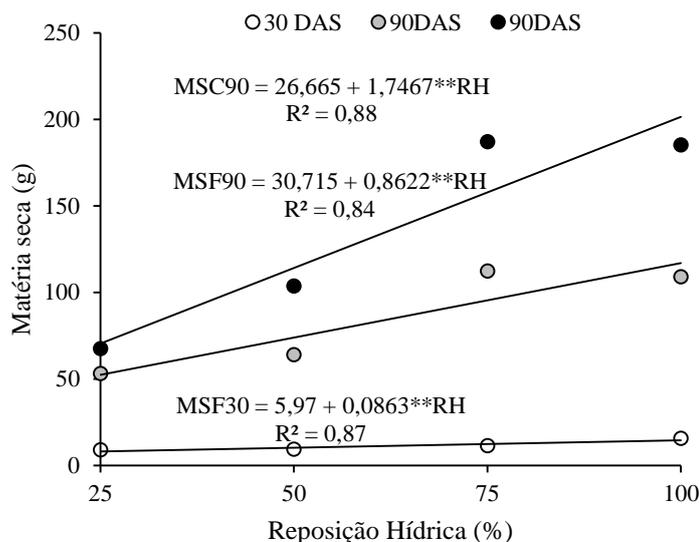


Figura 7 – Matéria seca de folha aos 30 (MSF30) e 90 (MSF90) DAS e matéria seca de caule aos 90 DAS (MSC90) de girassol em função da reposição hídrica

As reduções observadas na MSF aos 30 e 90 DAS com o aumento de CEa foram de 26,43 e 43,64% respectivamente, enquanto aos 90 DAS na MSC foi de 44,92% (Tabela 8). Esses resultados corroboram com os encontrados por Travassos et al. (2012) que trabalhando com níveis crescentes CEa verificaram que a fitomassa seca da parte aérea (FSPA) foi influenciada em todas as épocas de avaliação (20, 30, 50, 70 e 110 DAP) mais pronunciadas aos 70 e 110 DAP com decréscimos de 46,1 e 47,2%, valores próximos ao presente estudo.

Tabela 8 – Valores médios de matéria seca de folha e matéria seca de caule em relação à condutividade elétrica da água de irrigação aos 30 e 90 dias após semeadura

Dias após semeadura	Variáveis			
	Matéria seca de folha (g)		Matéria seca de caule (g)	
	Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)			
	0,6	3,0	0,6	3,0
30	13,09A	9,63B	7,06A	6,57A
90	108,21A	60,99B	175,19A	96,48B

Médias seguidas de letras iguais, na linha, não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey

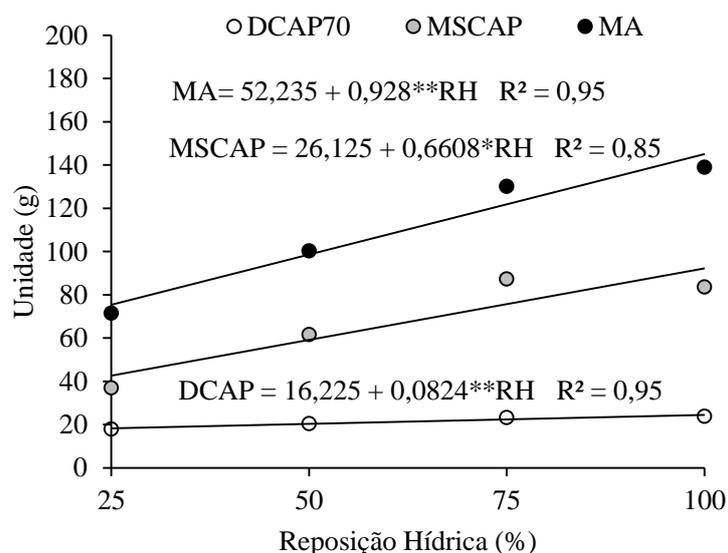
As RH influenciaram de forma isolada as variáveis DICAP aos 70 DAS, MSCAP, MA e NA, enquanto a CEa influenciou no DICAP aos 70 DAS, a MA e o NA (Tabela 9).

Tabela 9 – Resumo da análise de variância das características diâmetro interno de capítulo (DICAP) aos 70 e 90 dias após semeadura, matéria seca de capítulo (MSCAP), massa de aquênios (MA) e número de aquênios (NA) da cultura do girassol

FV	GL	Quadrados Médio							
		DICAP		MSCAP ¹	MA	NA			
		70 DAS	90 DAS ¹						
RH	3	89,71 **	2,45 ns	30,12 **	11257,53 **	1488744,79 **			
CEa	1	73,26 **	2,63 ns	4,07 ns	6403,08 **	1667683,52 **			
DN	1	0,06 ns	0,94 ns	0,23 ns	423,34 ns	1017,52 ns			
RH*CEa	3	1,44 ns	0,51 ns	1,10 ns	926,76 ns	79872,9 ns			
RH*DN	3	8,66 ns	1,01 ns	2,22 ns	936,23 ns	124918,46 ns			
CEa*DN	1	2,66 ns	1,06 ns	1,02 ns	13,13 ns	10121,02 ns			
RH*CEa*DN	3	6,36 ns	0,68 ns	2,02 ns	16,38 ns	82508,74 ns			
Bloco	2	35,35 **	1,26 ns	8,60 *	1085,81 ns	552150,81 *			
Resíduo	30	5,9	1,09	2,07	723,96	135627,87			
CV (%)		11,37	21,75	18,08	24,41	23,03			

* - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ** - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - Não significativo; FV - Fontes de variação; GL - Graus de liberdade; RH - Reposição Hídrica; CEa - Condutividade elétrica da água de irrigação; DN - Nível de adubação Nitrogenada; CV - Coeficiente de variação; ¹ - Dados transformados em $\sqrt[3]{x}$

De acordo com a Figura 8, o modelo ajustado por regressão que melhor define o comportamento das variáveis ora citadas foi o linear que, para DICAP aos 70 DAS, promoveu acréscimo de 0,5% por incremento unitário de RH e total de 33% entre a maior e menor RH, ou seja 25 e 100%. Para a MSCAP esse aumento foi mais expressivo; totalizando 116% entre os extremos e de 2,53% por aumento unitário da RH.



(a)

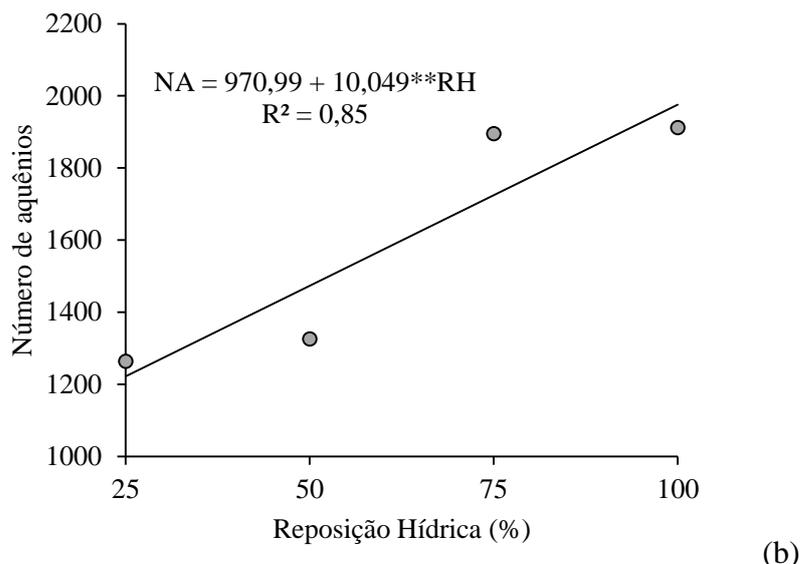


Figura 8 – Diâmetro de capítulo aos 70 DAS, matéria seca de capítulo e massa de aquênios (a); e número de aquênios (b) de girassol em função da reposição hídrica

Embora os tratamentos de RH tenham favorecido aumento no DICAP aos 70 DAS a maior CEa promoveu a redução de aproximadamente 10,92% (Tabela 10). Esse comportamento sugere que na etapa de formação e maturação fisiológica de aquênios aos 70 DAS o DICAP foi mais sensível aos déficits hídrico e salino, uma vez que aos 90 DAS, não foi observado efeito significativo desses tratamentos.

Em estudos realizados por Maciel et al. (2012) com CEa de 1,51 a 6,19 dS m⁻¹ e Moraes et al. (2011) usando CEa entre 0,55 e 3,53 dS m⁻¹ estes não verificaram variação no DICAP em momento de colheita considerando, para o DICAP em fase final, tolerante ao estresse salino, o que corrobora com o presente trabalho.

Tabela 10 – Valores médios de diâmetro de capítulo (DICAP) aos 70 dias após semeadura, massa de aquênios (MA) e número de aquênios (NA) de girassol

Dias após semeadura	DICAP70	MA	NA
	(cm)	(g)	
0,6	22,61a	121,79a	1785,45a
3,0	20,14b	98,69b	1412,66b

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey

A MA e o NA correspondem a duas variáveis produtivas importantes em razão de sua relação com a produção de óleo e comercialização. Nesse estudo, estas responderam linearmente ao fator de RH com incrementos totais de 92 e 61,66% respectivamente. As maiores valores estimados de MA e NA foram obtidas quando aplicado 100% de RH e

equivaleram, respectivamente, a 145,04 g e 1975,89 aquênios, porém, o aumento da CEa resultou em decréscimos de 18,74% na MA e 20,88% no NA. Travassos et al. (2011) estudaram a produção de aquênios do girassol irrigado com seis níveis de condutividade (0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0 dS m⁻¹) e, conforme as equações de regressão fornecidas no trabalho e calculando as reduções para os níveis de CEa correspondentes a 0,5 e 3,0 dS m⁻¹, verificou-se que as reduções da MA e NA foram de 30 e 25,3% respectivamente, sendo este último próximo ao encontrado no presente trabalho.

4.4 CONCLUSÕES

O aumento da reposição hídrica favoreceu acréscimos lineares, enquanto o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação e da dose de nitrogênio favoreceram reduções.

Os tratamentos de reposição hídrica, condutividade elétrica da água de irrigação e adubação nitrogenada só surtiram efeito nas variáveis a partir dos 30 dias após semeadura.

A massa de aquênios e a produção de aquênios por planta sofreram reduções de 18,74 e 20,88% respectivamente quando aplicada água de maior condutividade elétrica.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. et al. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998 297 p. (FAO **Irrigation and Drainage Paper**, 56).

AQUINO, L. A.; SILVA, F. D. B.; BERGER, P. G. Características agronômicas e o estado nutricional de cultivares de girassol irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **Campina Grande, PB**, v.17, n.5, p.551–557, 2013.

AQUINO, L. A.; SANTOS JÚNIOR, V. C.; GUERRA, J. V. S.; COSTA, M. M. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n.4, p.832-836, 2011.

ARAÚJO, M. C.; ESTEVES, B. S.; SOUSA, E. F. Método de dissipação térmica para determinação do fluxo de seiva em coqueiro anão-verde. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.558-562, 2012.

BORSUK, L. J. **Cultivo de girassol sob a perspectiva da agroenergia: uma análise de produtores familiares assentados de Abelardo Luz-SC**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, 99p., 2008.

CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVERIA, F. R.; SILVA, R. C. P; CÂNDIDO, W. S. Efeito da salinidade e fontes de nitrogênio na matéria seca do girassol. **Revista Verde**, Mossoró, RN, v. 5, n.3, p.165-171, jul-set, 2010.

CONSOLI, S. **Evapotranspiration Estimation Using Micrometeorological Techniques**. In: *Evapotranspiration – From Measurements to Agricultural and Environmental Applications*. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/evapotranspiration-from-measurements-to-agricultural-and-environmental-applications/evapotranspiration-estimation-using-micrometeorological-techniques>>. Acesso em: 18 out. 2014.

CRUZ-BLANCO, P. G.; SANTOS, C.; LORITE, I. J. Assessment of reference evapotranspiration using remote sensing and forecasting tools under semi-arid conditions. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 3, p. 280–289, 2014.

CURTI, G. L. Caracterização de cultivares de girassol ornamental semeados em diferentes épocas no Oeste Catarinense. 76f. (Dissertação Mestrado.) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco - PA, 2010.

DONG, H. Technology and field management for controlling soil salinity effects on cotton. **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, n. 2, fev., p.333-341, 2012.

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

FREITAS, L. D. A.; FIGUEIRÊDO, V. B.; PORTO FILHO, F. Q.; COSTA, J. C. C.; CUNHA, E. M. Crescimento e produção do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade e nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.18, suplemento, p.20–26, 2014.

GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS, J. B.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, L. F.; FARIAS, H. L. Biometria do girassol em função da salinidade da água de irrigação e da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 5, p. 277-289, 2013.

HARRINGTON, R.; STEINWAND, A.; HUBBARD, P; MARTIN, D.; STROH, OR, D. Evapotranspiration from Groundwater Dependent Plant Communities: Comparison of Micrometeorological and Vegetation-Based Measurements. 105p. Disponível em <http://www.inyowater.org/ICWD_Reports/ET_study_final_report.pdf>. Acesso em: 19 out. 2014.

HARTER L. S. H; HARTER F. S; DEUNER C; MENEGHELLO G. E; VILLELA F. A. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, jan. - mar. p.80-85, 2014.

JONER, G.; METZ, P. A. M.; ARBOITTE, M. Z.; PIZZUTI, A. D.; BRONDANI, I. L.; LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SOARES, S. S. Utilização de águas salinas e doses de adubação nitrogenada no cultivo da mamoneira cv. BRS Energia. **Revista Verde**, Mossoró, RN, v. 7, n. 2, p.88-95, abr-jun, 2012.

MACIEL, M. P.; SOARES, T. M.; GUEYI, H. R.; REZENDE, E. P. L.; OLIVEIRA, G. X. S. Produção de girassol ornamental com uso de águas salobras em sistema hidropônico NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.16, n.2, p.165–172, 2012.

MALDANER, I.C.; HELDWEIN, A.B.; LOOSE, L.H.; LUCAS, D.D.P.; GUSE, F.I.; BERTOLUZZI, M.P. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**, v.39, p.1356-1361, 2009.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2009, 355p.

MORAIS, F. A.; GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, F. H.; MOTA, A. F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 327-336, abr-jun, 2011.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 44, n. 1, p. 76-85, jan-mar, 2013.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L. S.; ANDRADE, L. O. Crescimento e floração do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 41, n. 3, p.747–754, 2010.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A.J. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, Embrapa-SEA, p.189-253, 1991.

OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, F. R. A.; CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, M. K. T.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, O. M. P. Interação entre salinidade e fontes de nitrogênio no desenvolvimento inicial da cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v.5; n.4, p.479-484, 2010.

PAMPONET, B. M.; OLIVEIRA, A. S.; MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M.; PAZ, P. S. Efeitos das diferenças térmicas naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método de Granier em cacaueteiro a pleno sol. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 120 - 132, 2012.

PRISCO, J.T.; GOMES-FILHO, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GREYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. In: **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p.143-159, 2010.

RICHARDS, L. A. (ed). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory, 1954, 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

SANTOS JÚNIOR, GHEYI, H. R.; GUEDES FILHO, D. H.; DIAS, N. S.; SOARES, F. A. L. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 842-849, out-dez, 2011.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T. Desempenho de cultivares de girassol na microrregião de Campina Grande, PB. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, PA, v.7, n.2, p.41-47, jun., 2013.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M.; FREITAS, C. A. S.; AMORIM, A. V.; CARVALHO, L. C. C.; PEREIRA FILHO, J. V. Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico para a cultura do girassol nas condições do semiárido cearense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v.8, n. 1, p. 38 - 51, 2014.

SOBRINHO, S. P.; TIEPPO, R. C.; SILVA, T. J. A. **Desenvolvimento inicial de plantas de girassol em condições de estresse hídrico**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro, Goiânia, v.7, n.12, p. 1-12, 2011.

SOUZA, L. H. B; PEIXOTO, C. P.; SILVEIRA, P. S.; LEDO, C. A. S.; LIMA, V. P.; SANTOS, A. P. S. G. Características agronômicas e rendimento de girassol em diferentes épocas de semeadura e populações de plantas no recôncavo da bahia. **Biosci. J.**, Uberlandia, v. 30, supplement 1, p. 90-100, jun., 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5ed. Porto Alegre, 2013, 954p.

TRAVASSOS, K. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; BARROS, H. M. M.; DIAS, N. S.; UYEDA, C. A.; SILVA, F. V. Crescimento e desenvolvimento de variedades de girassol irrigado com água salina. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 324 - 339, 2012.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; SILVA, D. R. S.; NASCIMENTO, A. K. S.; DIAS, N. S. Produção de aquênio do girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 371-376, 2011.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 153-159, jan.-mar., 2012.

WEGEHENKEL, M.; GERKE, H. H. Comparison of real evapotranspiration measured by weighing lysimeters with simulations based on the Penman formula and a crop growth model. **J. Hydrol. Hydromech.**, v. 61, n. 2, p.161–172, 2013.

ZHANG, W. L. D.; XIN, C.; TANG, W. ENEJI, A. E.; DONG, H. Lint yield and nitrogen use efficiency of field-grown cotton vary with soil salinity and nitrogen application rate. **Field Crops Reserarch**, v. 138, p. 63-70, oct., 2012.

5 CONCLUSÃO GERAL

O sistema de medição 1 apresentou os menores erros de medição e incerteza resultando em desempenho superior aos demais, enquanto o sistema de medição 4 foi aquele considerado com o pior desempenho, uma vez que as incertezas de medição e excitação pelo datalogger influenciaram o sistema mais pronunciadamente do que a temperatura do ar.

O aumento da reposição hídrica promoveu acréscimos lineares nas variáveis analisadas, enquanto a condutividade elétrica da água de irrigação e da dose de nitrogênio favoreceram reduções, cujos tratamentos só surtiram efeito na cultura do girassol a partir dos 30 dias após semeadura.