



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS  
CURSO AGRONOMIA

CLINTON GONÇALVES MOREIRA

**CONTROLE E APLICAÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR UM SISTEMA  
DE AQUISIÇÃO DE DADOS NO CULTIVO DA ABÓBORA.**

MOSSORÓ

2018

CLINTON GONÇALVES MOREIRA

**CONTROLE E APLICAÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR UM SISTEMA  
DE AQUISIÇÃO DE DADOS NO CULTIVO DA ABÓBORA.**

Monografia apresentada a Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,  
campus Mossoró para a obtenção do título de  
Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Batista  
Figueirêdo

MOSSORÓ

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M835c Moreira, Clinton Gonçalves.

Controle e Aplicação de Lâminas de Irrigação por um Sistema de Aquisição de dados no Cultivo da Abóbora. / Clinton Gonçalves Moreira. - 2018.

40 f. : il.

Orientador: Vladimir Batista Figueirêdo.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2018.

1. Automação da irrigação. 2. Umidade do Solo.  
3. Manejo da irrigação. 4. Cucurbita moschata. I. Figueirêdo, Vladimir Batista, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

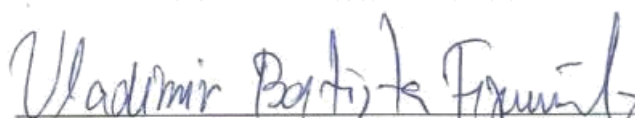
CLINTON GONÇALVES MOREIRA

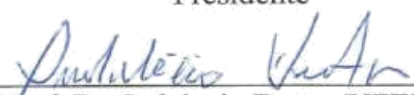
**CONTROLE E APLICAÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR UM SISTEMA  
DE AQUISIÇÃO DE DADOS NO CULTIVO DA ABÓBORA.**

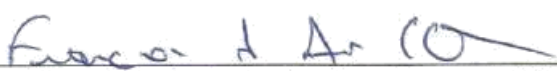
Monografia apresentada a Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido como requisito  
para obtenção do título de Bacharel em  
Agronomia.

Defendida em: 17 / 09 / 2018.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Dr. Vladimir Batista Figueiredo (UFERSA)  
Presidente

  
Prof. Dr. Indalecio Dutra (UFERSA)  
Membro Examinador

  
Prof. Dr. Francisco de Assis de Oliveira (UFERSA)  
Membro Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

A todos os meus familiares que sempre me apoiaram e me deram forças em todas as etapas de minha vida, em especial ao meu Pai, minha Mãe, meu Irmão, a minha Esposa e a minha Filha.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido, por toda a assistência prestada principalmente a Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis- PROAE.

Ao Prof. Dr. Vladimir Batista Figueirêdo, pela amizade, orientação, profissionalismo e valiosos ensinamentos.

Aos professores do curso de Agronomia, pelas contribuições e ensinamentos compartilhados, que levarei sempre comigo.

Aos amigos da minha turma, pela amizade ao longo de 4,5 anos da graduação.

Aos funcionários da UFERSA, em especial ao Sergio, pelo auxílio prestado durante todo o experimento.

## RESUMO

A abóbora (*Cucurbita moschata*) tem uma ampla participação na alimentação da população nordestina, e a região Nordeste do Brasil, em especial sua porção semiárida, historicamente é afetada pela escassez de água. O objetivo do trabalho foi determinar o crescimento e a produção da cultura da abóbora submetida a diferentes lâminas de irrigação, e, avaliar dois Sistemas de Aquisição de Dados (SAD's) desenvolvidos para monitorar a umidade do solo e controlar a irrigação. Os SAD's foram testados em laboratório e avaliados em campo, utilizando índices de precisão como o  $R^2$ . O experimento de campo foi realizado em casa de vegetação, com a cultura da abóbora Mini Paulista Isabela, utilizando cinco tratamentos de lâminas de irrigação (tratamentos T1=120%, T2=100%, T3=80%, T4=60% e T5=40%, da ETc-FAO) em quatro repetições, sendo avaliadas as variáveis da planta Peso Médio Seco da parte aérea (PMS), Área Foliar (AF) e produção média dos frutos por planta (PMF). A AF e o PMF foram afetados pelas lâminas de irrigação, apresentando diferença significativa dos tratamentos de T1 e T2 sobre os demais tratamentos com estresse hídrico, enquanto que o PMS não apresentou diferença significativa ao nível de 1% entre os tratamentos. O tratamento T2 apresentou PMF superior ao tratamento T5 aproximadamente de 72%. Os SAD's e o sensor de umidade ECHO EC-5 da Decagon® demonstraram serem eficientes na automação da irrigação, na determinação indireta da umidade volumétrica do solo por meio da capacitância, bem como, na estimativa do consumo de água pelas plantas

**Palavras-Chave:** Automação da irrigação. Umidade do solo. Manejo da irrigação. *Cucurbita moschata*.

## ABSTRACT

The pumpkin (*Cucurbita moschata*) has a wide participation in the feeding of the Northeastern population, and the Northeastern region of Brazil, especially its semi-arid portion, has historically been affected by the scarcity of water. The objective of this work was to determine the growth and production of the pumpkin crop submitted to different irrigation, and to evaluate two Data Acquisition Systems (DSS) developed to monitor soil moisture and control irrigation. The SAD's were field-tested and field-tested using precision indexes such as R2. The field experiment was carried out in a greenhouse with the Mini Paulista Isabela pumpkin culture, using five treatments of irrigation (treatments T1 = 120%, T2 = 100%, T3 = 80%, T4 = 60% and T5 = 40%, of ETc-FAO) in four replicates, being evaluated the variables of the plant Average Dry Weight of the aerial part (PMS), Foliar Area (AF) and average production of fruits per plant (PMF). AF and PMF were affected by the irrigation, presenting a significant difference of the treatments of T1 and T2 over the other treatments with water stress, whereas the SMP showed no significant difference at the 1% level between treatments. The T2 treatment presented PMF higher than the T5 treatment of approximately 72%. The SAD's and the ECHO EC-5 moisture sensor from Decagon<sup>®</sup> have been shown to be efficient in irrigation automation, indirect determination of soil volumetric moisture by means of capacitance, as well as in the estimation of water consumption by plants

**Keywords:** Irrigation automation. Soil moisture. Irrigation management. *Cucurbita moschata*.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Plataforma Arduino Mega .....                                                                                                                                      | 13 |
| Figura 2 – Sensor ECHO EC-5 da Decagon .....                                                                                                                                  | 15 |
| Figura 3 - Módulo Relé SRD-05VDC-SL-C .....                                                                                                                                   | 16 |
| Figura 4 - Válvula Solenóide RainBird 100-HVF .....                                                                                                                           | 17 |
| Figura 5 - Diagrama de montagem do Sistema de Aquisição de Dados .....                                                                                                        | 22 |
| Figura 6 - Croqui do Delineamento Experimental .....                                                                                                                          | 24 |
| Figura 7 - Regulador de tensão construído para fornecer a tensão precisa ao ECHO EC-5 ....                                                                                    | 26 |
| Figura 8 - SAD's construído mostrando os componentes utilizados.....                                                                                                          | 29 |
| Figura 9 - Dados climáticos coletados na casa de vegetação durante o ciclo da cultura.....                                                                                    | 29 |
| Figura 10 - Evapotranspiração determinada pelo método da FAO-Penman-Monteith (ET <sub>c</sub> -FAO) e lâmina de irrigação aplicada (Irrig.), durante o ciclo da cultura ..... | 31 |
| Figura 11 - Medidas realizadas no sensor ECHO EC-5 coletadas pelo SAD1 durante um dia em cada tratamento .....                                                                | 32 |
| Figura 12 – Área média foliar (AF) da planta nas cinco coletas realizadas (DAP) .....                                                                                         | 34 |
| Figura 13 – Peso da matéria seca (PMS) em relação aos tratamentos (TRAT) .....                                                                                                | 34 |
| Figura 14 – Peso médio dos frutos (PMF) em relação a cada tratamento (TRAT).....                                                                                              | 35 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Características químicas do solo .....                                                                                                                                                           | 22 |
| Tabela 2 - Análise química foliar da planta.....                                                                                                                                                            | 25 |
| Tabela 3 - Estádio fenológico, período em dias, lâmina aplicada média (Irrig.) em "mm", ETc-FAO média em "mm" e coeficiente de cultivo estimado pelo método da FAO (KcFAO), durante o ciclo da cultura..... | 31 |
| Tabela 4 - Resumo da ANAVA da característica de área foliar em cm <sup>2</sup> (AF) nas cinco datas de coleta (DAP) .....                                                                                   | 33 |
| Tabela 5 - Resumo da ANAVA das características de peso da matéria seca (PMS) e peso médio dos frutos (PMF), ambas em grama .....                                                                            | 33 |

## SUMÁRIO

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....                                                          | 7  |
| 2 OBJETIVOS .....                                                           | 9  |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA .....                                               | 10 |
| 3.1 Aspectos gerais da cultura .....                                        | 10 |
| 3.2 Automação da irrigação .....                                            | 11 |
| 3.2.1 Sistemas de Aquisição de Dados (SAD) .....                            | 11 |
| 3.2.2 Sensores.....                                                         | 14 |
| 3.2.3 Módulo relé .....                                                     | 15 |
| 3.2.4 Válvulas solenóides.....                                              | 16 |
| 3.3 Manejo da irrigação .....                                               | 17 |
| 3.3.1 Evapotranspiração da cultura (ETc) .....                              | 18 |
| 3.3.2 Avaliação do sistema de irrigação.....                                | 19 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS.....                                                  | 20 |
| 4.1 Localização e características do experimento.....                       | 20 |
| 4.2 Experimento no laboratório de Manejo e Instrumentação na Irrigação..... | 20 |
| 4.3 Experimento em casa de Vegetação .....                                  | 21 |
| 4.3.1 Condução do experimento e delineamento experimental .....             | 21 |
| 4.3.2 Manejo do sistema de irrigação.....                                   | 23 |
| 4.3.3 Fertirrigação e adubação da cultura .....                             | 24 |
| 4.4 Características avaliadas e análises estatísticas .....                 | 25 |
| 4.4.1 Calibração dos equipamentos construídos .....                         | 25 |
| 4.4.2 Análises estatísticas.....                                            | 26 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                              | 28 |
| 5.1 Calibração do SAD .....                                                 | 28 |
| 5.2 Dados climáticos.....                                                   | 29 |
| 5.3 Dados de umidade volumétrica do solo .....                              | 32 |
| 5.4 Dados de crescimento e produção da cultura.....                         | 32 |
| 6 CONCLUSÕES .....                                                          | 36 |
| 7 REFERÊNCIAS .....                                                         | 37 |

## 1 INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil, em especial sua porção semiárida, historicamente é afetada pela escassez de água. Conforme dados da Agência Nacional de Águas (ANA), nesta região, o balanço entre a disponibilidade e a demanda dos recursos hídricos superficiais está entre as mais preocupantes do país. A situação mais crítica é a observada na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, com média inferior a  $1.200 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo que em algumas unidades hidrográficas dessa região são registrados valores menores que  $500 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (BRASIL, 2007).

A Abóbora (*Cucurbita moschata*) tem uma ampla participação na alimentação da população brasileira. Na região Nordeste, sua presença é ainda mais notável, visto que toda região apresenta o cultivo desta espécie em larga escala ou em nível de subsistência. Esta região ainda se destaca pela manutenção em vários aspectos de uma agricultura tradicional, o que possibilita que várias características de interesse sejam detectadas, fazendo desta atividade uma ótima fonte de alimento e aquecendo a economia da região. Devido à realidade existente na escassez de água na região se ver a importância de utilizar esse recurso com precisão, utilizando meios tecnológicos para aperfeiçoar a distribuição de água para as culturas.

Associado a essa necessidade, é de fundamental importância avaliar o desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) (COELHO FILHO et al., 2004). As possibilidades de inovação têm sido proporcionadas devido à expansão do mercado e evolução da eletrônica, que favorece o acesso à tecnologia e ferramentas de ponta para determinação da demanda hídrica das culturas, que antes eram disponíveis apenas em laboratórios e centros de pesquisa.

Para melhorar o cultivo irrigado de plantas, a utilização da automação dos sistemas irrigados aliado a determinações precisas do consumo de água para as culturas, se torna imprescindível. O uso de registradores de dados de forma automática possibilita, entre outras vantagens, a eliminação de erros humanos na leitura dos sensores, erros de digitação, perdas de dados, sincronismo da leitura entre vários instrumentos e frequência de leitura com intervalos precisos (GOMIDE, 1998). Aliado ao uso de registradores de dados, para que tenhamos um sistema de aquisição de dados (SAD) completo, há a necessidade de utilização de sensores.

Grande parte destes estudos engloba medidas de transpiração de plantas e umidade do solo para estimativa da ET<sub>c</sub>. Com relação a evapotranspiração da cultura, sua estimativa tem sido bastante realizada pelo método da FAO – Penman – Monteith (ALLEN et al., 2006), que basicamente usa dados climatológicos. Com relação a umidade do solo, tem sido utilizado sensores como o tensiômetro, sondas capacitivas, o TDR, o FDR, sonda de nêutrons, placas de vidro, etc (BRITO et al. 2009). Além disso, para melhorar o monitoramento das irrigações, pode-se utilizar do conhecimento da automação, que é realizada dentre os vários equipamentos principalmente os controladores de irrigação e as válvulas de abertura/fechamento dos setores de irrigação.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e a produção da cultura da abóbora (*Cucurbita moschata*) cultivar Mini Paulista Isabella, cultivada com diferentes lâminas de irrigação, controladas por Sistemas de Aquisição de Dados (SAD's) construídos para serem usados como um controlador de irrigação, registrar e armazenar dados de sensores de umidade do solo.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Aspectos gerais da cultura

A abóbora (*Cucurbita moschata* L), pertence à Família Cucurbitaceae, a qual possui cerca de 90 gêneros e 750 espécies adaptadas às regiões tropicais e subtropicais de ambos os hemisférios, possui ainda diversas espécies de importância econômica e alimentar (SATURNINO et al., 1982; BEE & BARROS 1999). As espécies do gênero *Cucurbita* são monóicas e dependentes de vetores bióticos para assegurar a polinização (PASSARELLI, 2002).

É uma planta anual, que apresenta ramos rasteiros e podem chegar a 6,0 metros de comprimento. Essas plantas apresentam estruturas para fixação nos suportes que são denominadas gavinhas, sendo que as ramos em contato com o solo emitem raízes que auxiliam na sua fixação. As folhas são grandes e de cor verde-escura com manchas prateadas, as flores masculinas e femininas são pentâmeras, crescem individualmente nas axilas das folhas e possuem cor amarelo intenso (PARIS, 2001).

A flor estaminada possui cinco estames com filetes e produz flores masculinas e femininas separadas na mesma planta. As condições climáticas para bom desenvolvimento vegetativo e frutificação são temperatura amena a quente e boa disponibilidade de água durante todo o ciclo (KUROZAWA, 2004).

O estudo da fenologia da planta é de grande importância, pois analisa as mudanças exteriores (morfologia) e as transformações que estão relacionadas ao ciclo da cultura. Representa, portanto, o estudo de como a planta se desenvolve ao longo de suas diferentes fases: germinação, emergência, crescimento e desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação, formação das sementes e maturação.

Com todas as informações disponíveis sobre o ciclo da planta, é possível identificar as relações e a influência dos fatores envolvidos no processo de produção, favorecendo a previsão de problemas, o manejo e a tomada de decisão. Além disso, ajuda também na compreensão da dinâmica de comunidades vegetais podendo ser aplicados ao manejo da flora e à agricultura (RIBEIRO & CASTRO 1986). Sem falar no auxílio do manejo da irrigação, fornecendo a quantidade de água correta, suprimindo toda a sua necessidade hídrica para auxiliar nos processos metabólicos e fisiológicos da cultura, proporcionando uma ótima produtividade e alta qualidade dos frutos e consequentemente uma redução da quantidade de água ao longo de seu ciclo.

### 3.2 Automação da irrigação

A necessidade da busca da otimização dos recursos produtivos, da competitividade, do aumento de produtividade e da redução de custos, leva a uma tendência de implantação de novas tecnologias aos métodos de irrigação. A automação de sistemas de irrigação vem sendo implantada com maior intensidade no Brasil nos últimos anos.

Os sistemas de automação para irrigações têm sido, neste século, uma tecnologia de profunda repercussão, cuja importância provém não só de substituir o trabalho humano nas tarefas monótonas e/ou cansativas, mas também, e principalmente, do fato de permitir sensível melhoria na qualidade dos processos, com pequena elevação no custo do equipamento (CASTRUCCI, 1969).

As principais vantagens de se automatizar um sistema de irrigação são as seguintes:

- Eficiência no consumo de energia;
- Eficiência na aplicação de água;
- Menor custo com bombeamento
- Podem ser realizadas irrigações sem acompanhamento
- Menor utilização de mão de obra
- Precisão no tempo de irrigação

Pode-se ver, dessa forma, que a automação supre muito das necessidades de exploração, otimizando os processos de produção e reduzindo os custos de forma racional e sustentável.

#### 3.2.1 Sistemas de Aquisição de Dados (SAD)

O objetivo de um sistema de aquisição de dados é apresentar, ao observador, os valores das variáveis, ou parâmetros, que estão sendo medidos, auxiliando para que as operações sejam menos dependentes da habilidade do operador, tornando uma ferramenta essencial em todo tipo de tecnologia e ciência. Os elementos que compõe um sistema de aquisição de dados são sensores, transdutores, elemento de processamento de dados, elemento transmissor de dados, elemento sensível primário, elemento armazenador de dados em memória não voláteis, elemento conversor de sinal e elemento de apresentação de dados. (INAMASU et al. 1996).

Esses sensores não seriam úteis se não houvesse uma interface para ler e processar todas as informações obtidas. Para tal função o mercado disponibiliza várias plataformas, porém o projeto Arduino engloba hardware e software, facilitando o desenvolvimento de projetos, por utilizar microcontroladores. Além de permitir que seja feita leituras de dados dos sensores, seu software é livre e seu hardware é bastante versátil, tornando-se compatível com diversos outros equipamentos, facilitando a utilização de circuitos construídos pelo pesquisador.

O mercado disponibiliza uma grande variedade de modelos de *dataloggers*, cada qual com especificações técnicas, tamanho, velocidade de processamento, software de avaliação e outras características. Visando desenvolver equipamentos com menor custo e fácil manutenção, os pesquisadores tem buscado desenvolver seus próprios protótipos, com a evolução da tecnologia e facilidade de acesso a ferramentas de ponta, possibilitou novas alternativas.

O microcontrolador é um semicondutor em forma de circuito integrado, dotado de inteligência programável utilizado no controle de processos lógicos por possuir uma unidade lógica aritmética, toda a lógica é estruturada na forma de um programa e gravada dentro do componente, possibilitando que toda vez que o microcontrolador for alimentado o programa interno seja executado.

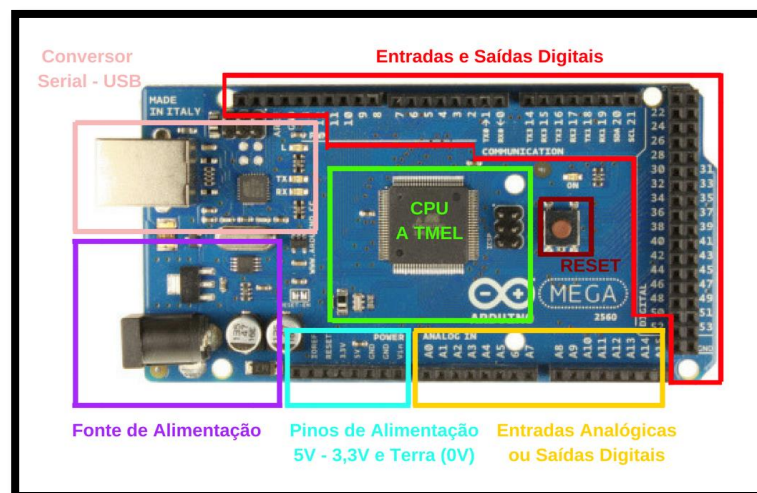
Sua estrutura é pequena encapsulado em uma única pastilha de silício onde existem todos os componentes necessários ao controle de um processo. O microcontrolador deve ser visto como um controlador de periféricos como display, sensores, relés, etc. São utilizados em inúmeras aplicações como automação industrial, automação comercial, automação predial, área automobilística e agrícola.

O Arduino<sup>@</sup> é uma plataforma de prototipagem eletrônica, capaz de permitir o desenvolvimento de controles de sistemas, sendo de baixo custo e acessível a todos como também através dele é possível enviar e receber informações de qualquer outro sistema eletrônico. O mercado disponibiliza uma grande variedade de modelos de *dataloggers*, que em sua maioria apresentam alto custo, além de não traduzirem por completo os objetivos que se almeja.

De acordo com Bridi et al. (2013), o Arduino é uma plataforma de hardware tipo código aberto, de fácil utilização, ideal para a criação de dispositivos que permitam interação com o ambiente, dispositivos estes que utilizem como entrada diferentes tipos de sensores/transdutores e como saída, leds, motores, displays e alto-falantes, criando desta

forma possibilidades ilimitadas. A dispensa do uso de compiladores ou hardware adicional para a programação do chip, juntamente com uma vasta quantidade de bibliotecas disponíveis, permitem o interfaceamento com outros hardwares, permitindo o completo desenvolvimento e aplicações simples ou complexas em qualquer área. Com a utilização de placa Arduino, pode-se montar sistemas de aquisição de dados específicos de acordo com a demanda operacional necessária, visando baixo custo e confiabilidade. O hardware é composto pelos seguintes blocos que estão ilustrados na Figura 1.

- Núcleo CPU – Microcontrolador, computador responsável por dar vida à placa, controla e faz leituras de todos os pinos da placa;
- Fonte de Alimentação – Recebe, filtra e converte a energia externa;
- Entradas e Saídas – A CPU vem completa com dispositivos dentro do chip;
- Firmware – Programa que é carregado dentro da CPU para o funcionamento da placa;
- Pinos com funções Especiais – Alguns possuem hardware para funções especiais.



**Figura 1** - Plataforma Arduino Mega

O software possui um compilador C++, que usa uma interface gráfica construída em Java, resumindo a um programa IDE (ambiente de desenvolvimento integrado), muito simples de usar e de estender com bibliotecas que podem facilmente ser encontradas. Depois de criar o programa e compilar usando a IDE, o código gerado é enviado para a placa onde é gravado dentro do chip controlador. Esse software que roda na placa chama-se FIRMWARE. As funções da IDE do Arduino são basicamente duas: Permitir o desenvolvimento de um software e enviá-lo à placa para que possa ser executado.

Após realizar a programação do IDE é necessário conectar a placa no PC para gravar o programa e verificar sua energização. Para a confirmação de sua energização a placa acende um LED verde indicando que a passagem de corrente elétrica está normal. Depois da verificação e compilação do programa é realizado o upload gravando o programa na placa, após isso, o console nos informa através de um LED laranja que o processo foi realizado com sucesso.

### 3.2.2 Sensores

O elemento sensor é o componente do instrumento que converte a variável física de entrada para outra forma mais usável. A grandeza física da entrada geralmente é diferente de grandeza de saída. O elemento sensor depende fundamentalmente da variável sendo medida e geralmente está em contato direto com o processo, e da saída que depende da variável a ser medida (RIBEIRO, 2002).

A tecnologia tem avançado muito possibilitando o desenvolvimento de sensores de fácil conexão com computadores e *dataloggers*, permitindo que a irrigação seja automatizado. Dessa forma os controladores podem ser capazes de acionar ou desligar os sistemas a partir dos dados enviados pelos sensores. Um sistema automatizado de irrigação bem programado e instalado garante a umidade necessária às culturas em cada estágio de desenvolvimento, evitando a escassez ou o excesso de irrigação. Os sensores são classificados de acordo com a variável a qual são sensíveis. Podendo ser transdutores do tipo termopares e termistores, os quais medem a temperatura; os sensores de pressão de silício integrado, para medir a pressão, e as células de carga, para medir força. Para medir indiretamente a umidade do solo, há sensores, como os resistivos, que tomam por base a variação da resistência do solo à passagem de corrente elétrica, a qual é tanto menor quanto maior sua umidade. Independente do elemento sensor, encontra-se aplicação em praticamente todos os ramos da indústria e da agricultura.

Os transdutores segundo Horowitzehill (1989) são sensores que convertem grandezas físicas, como temperatura, luminosidade, magnetismo, peso, aceleração, intensidade do som, etc. em grandeza elétrica, gerando sinais que podem ser manipulados por circuitos eletrônicos, quantificados por um conversor analógico-digital e analisados por computadores. De acordo com a resposta apresentada por um sensor a um estímulo externo ele pode ser classificado em mecânico ou eletrônico, praticamente todas as variáveis envolvidas em processos podem ser

medidas eletronicamente, ao passo que a medição mecânica é mais difícil. Sensores mecânicos apresentam suas medidas na forma de grandezas mecânicas, tais como, movimento, força ou deslocamento.

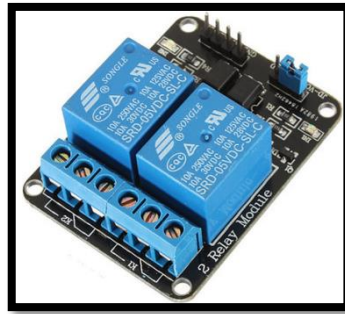
Sensores eletrônicos recebem um sinal de entrada do processo ao qual estão ligados e respondem com uma grandeza elétrica, tal como, tensão, corrente elétrica, variação de resistência, capacitância ou indutância de forma proporcional a variável. Sensores de natureza elétrica apresentam algumas vantagens em relação aos mecânicos por não apresentarem efeitos de inercia e atrito, sua amplificação ser mais facilmente obtida e maior possibilidade de registro a distância. Como exemplo o sensor de umidade do solo ECHO EC-5 da Decagon (Figura 2), que apresenta diversas aplicações, é um excelente modelo para ser usado na automação para manejar a irrigação.



**Figura 2** – Sensor ECHO EC-5 da Decagon

### 3.2.3 Módulo relé

Um relé eletromecânico comum é um interruptor ou chave eletromecânica, acionado quando se estabelece uma corrente através de uma bobina. Quando se aplica uma tensão na bobina, uma corrente circula, criando um campo magnético que atrai a armadura e, portanto, aciona o sistema de contatos. O relé de 5Vcc (Figura 3), com 2 canais, é a alternativa perfeita pra quem busca um módulo compacto e de qualidade para projetos com Arduino e outros controladores. Ele pode ser energizado com pequenas correntes, possibilitando o controle de circuitos de altas correntes como motores, lâmpadas e máquinas industriais, diretamente a partir de dispositivos eletrônicos fracos como transistores e circuitos integrados (RIBEIRO, 1999). O módulo é equipado com transistores, conectores, LED's, diodos e relés de alta qualidade. Cada canal possui um LED para indicar o estado da saída do relé (FILIPEFLOP, 2016).



**Figura 3** - Módulo Relé SRD-05VDC-SL-C

Fonte: FILIPEFLOP, 2018.

### 3.2.4 Válvulas solenóides

Na irrigação as válvulas são utilizadas principalmente para setorizar diferentes áreas de irrigação ou aumentar a pressão utilizando diferentes bombas. Seu acionamento pode ocorrer basicamente de quatro formas: manual, elétrico, hidráulico e pneumático. (PEREZ, 2011).

As válvulas com controle elétrico possuem sua abertura ou fechamento controlados através de acionamento elétrico, por corrente ou pulsos, com diferentes tensões. Esse acionamento é feito por um solenóide.

A válvula solenóide é formada por duas partes principais (corpo e bobina solenóide), (Figura 4). A bobina é formada por um fio enrolado através de um cilindro. Quando uma corrente elétrica passa por este fio, ela gera uma força no centro da bobina solenóide, fazendo com que o êmbolo da válvula seja acionado, criando assim o sistema de abertura e fechamento. O corpo possui um dispositivo que permite a passagem de um fluido ou não, quando sua haste é acionada pela força da bobina. Esta força é que faz o pino ser puxado para o centro da bobina, permitindo a passagem do fluido.

A válvula solenóide pode estar acoplada a um relé, para operar contatos elétricos. Os contatos são abertos ou fechados, conforme a energização - desenergização da bobina. Os termos normalmente aberto ou normalmente fechado se referem à posição antes da aplicação da corrente (PEREZ, 2011).



**Figura 4** - Válvula Solenóide RainBird 100-HVF

Fonte: RAIN BIRD, 2018.

### 3.3 Manejo da irrigação

De uma forma ampla, manejo da irrigação consiste na determinação do momento, da quantidade e de como aplicar a água. Considerado também os outros aspectos do sistema de produção como controle fitossanitário, informações climatológicas, adubação, economia e estratégias de condução da cultura, são pontos fundamentais que precisam ser observados para se manejar corretamente a irrigação, podendo ser realizado amplamente via planta, solo, clima e associação destes (PIRES et al., 2001).

A irrigação é uma estratégia para aumento de rentabilidade da propriedade agrícola pelo aumento da produção e da produtividade, de forma sustentável e com maior geração de emprego e renda. A falta de um programa de manejo pode comprometer todo o processo produtivo e acarretar danos ambientais. Se não houver uma correta definição de quando e quanto de água aplicar, o irrigante estará fazendo uso ineficiente da água, seja pela aplicação em excesso ou aquém das necessidades da planta. Quando a irrigação é excessiva, além do desperdício da água e o comprometimento na produção da lavoura, a ineficiência na irrigação contribui para um maior impacto ambiental sobre o solo e a qualidade dos mananciais que recebem o excesso de água aplicada, levando consigo parte dos insumos aplicados, como fertilizantes e agrotóxicos. Assim, a quantidade de água a ser aplicada deve ser aquela que atenda às necessidades da planta, sem provocar excesso de água no solo (COSTA, 2006).

### 3.3.1 Evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>)

Racionalizar o uso da água na agricultura, por meio da correta determinação da ET<sub>c</sub> é imprescindível. Existem vários fatores que incidem diretamente sobre a evapotranspiração, sendo a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, o tamanho da superfície evaporante, o teor de umidade do solo, profundidade do lençol freático e a textura do solo.

Pozzebon et al. (2003) expressam a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) como sendo a demanda evaporativa da atmosfera de um local específico em uma época do ano e não considera as características da cultura e fatores do solo, sendo função dos fatores do tempo. A Food and Agriculture Organization (FAO) utiliza como método padrão de estimativa da ET<sub>o</sub> os métodos de Penman – Monteith que exigem grande número de variáveis meteorológicas e, por isso, têm aplicação limitada, somente sendo utilizados quando há disponibilidade de todos os dados necessários (ANDRADE JUNIOR et al., 2003).

Sanches et al. (2017) afirma que uma das dificuldades na utilização de lisímetros de pesagem é a quantificação do volume drenado. Aonde seu trabalho objetivou desenvolver, instalar, calibrar e verificar a eficiência de lisímetros de pesagem com sistemas de drenagem automatizados testando sua funcionalidade no campo. Utilizando uma célula de carga com capacidade nominal de 30 kg e uma válvula solenoide acionada automaticamente por um dispositivo eletrônico acoplado a um *datalogger*, que registrou os dados de ambos, do lisímetro e do sistema de drenagem. Durante os testes, o sistema de drenagem foi acionado várias vezes após receber aproximadamente 63,4 L de água por precipitação, apresentando bom desempenho.

Reis et al (2008), trabalhando em condições de ambiente protegido com o cultivo do tomate caqui, e obtendo os valores de ET<sub>c</sub> encontrados pelos métodos de Penman-Monteith e do lisímetro, acumulados no período de crescimento até a maturação dos frutos, foram de 165,46 e 213,79 mm, respectivamente, representando, na média, uma subestimativa do modelo de Penman-Monteith em 23% do valor encontrado pelo lisímetro, e o K<sub>c</sub> médio encontrado foi de 0,65 para as condições do experimento.

A evapotranspiração é afetada por diversos fatores meteorológicos, pois os elementos fornecem energia para vaporização e removem vapor d'água da superfície evaporante, tais como: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, que são calculados pelo o método padrão da FAO (ALLEN et al.2006)

### 3.3.2 Avaliação do sistema de irrigação

Em função da escassez de água, foi desenvolvido o sistema de irrigação por gotejamento, sistema esse que aplica água em apenas parte da área, reduzindo significativamente parte da área molhada que pode ser exposta as perdas pela evaporação. Desta forma a eficiência de aplicação é maior como também o consumo de água. Segundo Bernardo et al. (2006), a utilização do sistema de irrigação por gotejamento também é vantajosa pois possibilita o uso da fertirrigação, promovendo um melhor aproveitamento dos fertilizantes, possibilitando o parcelamento da aplicação de fertilizantes de acordo com a frequência de irrigação.

Sabe-se que para uma maior eficiência do método de irrigação é necessário que haja uniformidade de aplicação da água, pois a mesma também pode interferir no rendimento das culturas. Dessa forma, os parâmetros relacionados às boas práticas de irrigação são decisivos no planejamento e na operação de sistemas de irrigação.

O primeiro passo para a realização do teste de uniformidade de distribuição é identificar quantas mangueiras (linhas laterais de irrigação) de gotejadores estão irrigando ao mesmo tempo, como também selecionar o conjunto das linhas que forma um setor ou uma válvula. Depois é contado e selecionado o número de gotejadores, de forma que seja selecionado (o primeiro, 1/3 da origem, o 2/3 da origem e o ultimo), logo em seguida faz-se a medição da vazão fornecida a cada planta. (MERRIAM & KELLER, 1978).

A coleta da água nos emissores é feita com o auxílio de recipientes marcando-se o tempo de coleta com um cronômetro, a pressão de serviço dos emissores deverá ser aferida usando-se um manômetro que é essencial para determinar a variação da pressão nas laterais. Caso o recipiente usado não permita a determinação do volume de água coletado, deve-se fazer uso da proveta graduada onde o volume coletado é medido e posteriormente os valores devem ser anotados em uma planilha, que serão utilizados para os cálculos da uniformidade de distribuição de água da área irrigada e vazão fornecida a cada planta.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Localização e características do experimento**

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, localizado no município de Mossoró, Rio Grande do Norte, na latitude de 5° 03' 37'' S, longitude 37° 23' 50'' W Gr. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do grupo BSw<sup>h</sup>, isto é, tropical semi-árido muito quente e com estação chuvosa no verão, atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média de 27,4°C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% (CARMO FILHO & OLIVEIRA, 1989).

O estudo foi desenvolvido em duas etapas, sendo a primeira no laboratório de “Manejo e Instrumentação na Irrigação” e a segunda em casa de vegetação (com dimensões 8 x 20 m) pertencentes ao Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais – DCAF, UFERSA. A condução das duas etapas foi realizada entre os meses de setembro de 2017 a setembro de 2018; os dados climáticos obtidos na segunda etapa foram provenientes de uma estação meteorológica automática instalada no interior da casa de vegetação, a qual tem sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade do vento e precipitação pluviométrica.

### **4.2 Experimento no laboratório de Manejo e Instrumentação na Irrigação.**

No laboratório de Manejo e Instrumentação na Irrigação foram construídos e calibrados dois Sistemas de Aquisição de dados (SAD's), em que cada um deles possuía como componente central a placa de microprocessamento Arduino Mega 2560 R3, dispositivo responsável pela coleta, armazenamento e gerenciamento todas as operações realizadas no SAD, sendo também responsável pela conversão dos sinais analógicos para o sinal digital.

Outros componentes que constituíam os dois SAD's foram: display de LCD de 20x4 (colunas e linhas) que representa a interface homem-máquina, permitindo que o operador realize a leitura de dados oriundos do sistema e também informe os parâmetros necessário à operação; um real time clock (RTC) modelo DS1307 para funcionamento de relógio e data; um Shield microSD para armazenamento de dados em cartão de memória do tipo microcard; placa fenolítica (15 x 25 cm), bornes, jumpers, cabo quatro vias e um regulador de tensão

instalado na entrada da alimentação do Arduino para minimizar os efeitos da variação de corrente na rede elétrica.

O primeiro SAD construído (SAD1) foi desenvolvido para fazer medidas de umidade do solo usando o sensor ECHO EC-5 da Decagon (Figura 2), e o segundo SAD construído (SAD2) para fazer o controle das irrigações por abertura/fechamento de válvulas elétricas (Figura 4) e controle do conjunto moto-bomba, constituindo-se um controlador de irrigação. Nesse caso, foi usado o controlador de irrigação um modulo de relés de 5 Vcc com oito canais comumente usado para Arduino e outros microcontroladores, possibilitando o controle de circuitos de altas correntes (até 10A) como motores, permitindo também o controle de válvulas solenóides possibilitando setorizar as áreas de irrigação. Em todos esses componentes foi usado componentes eletrônicos para condicionamento de seus sinais.

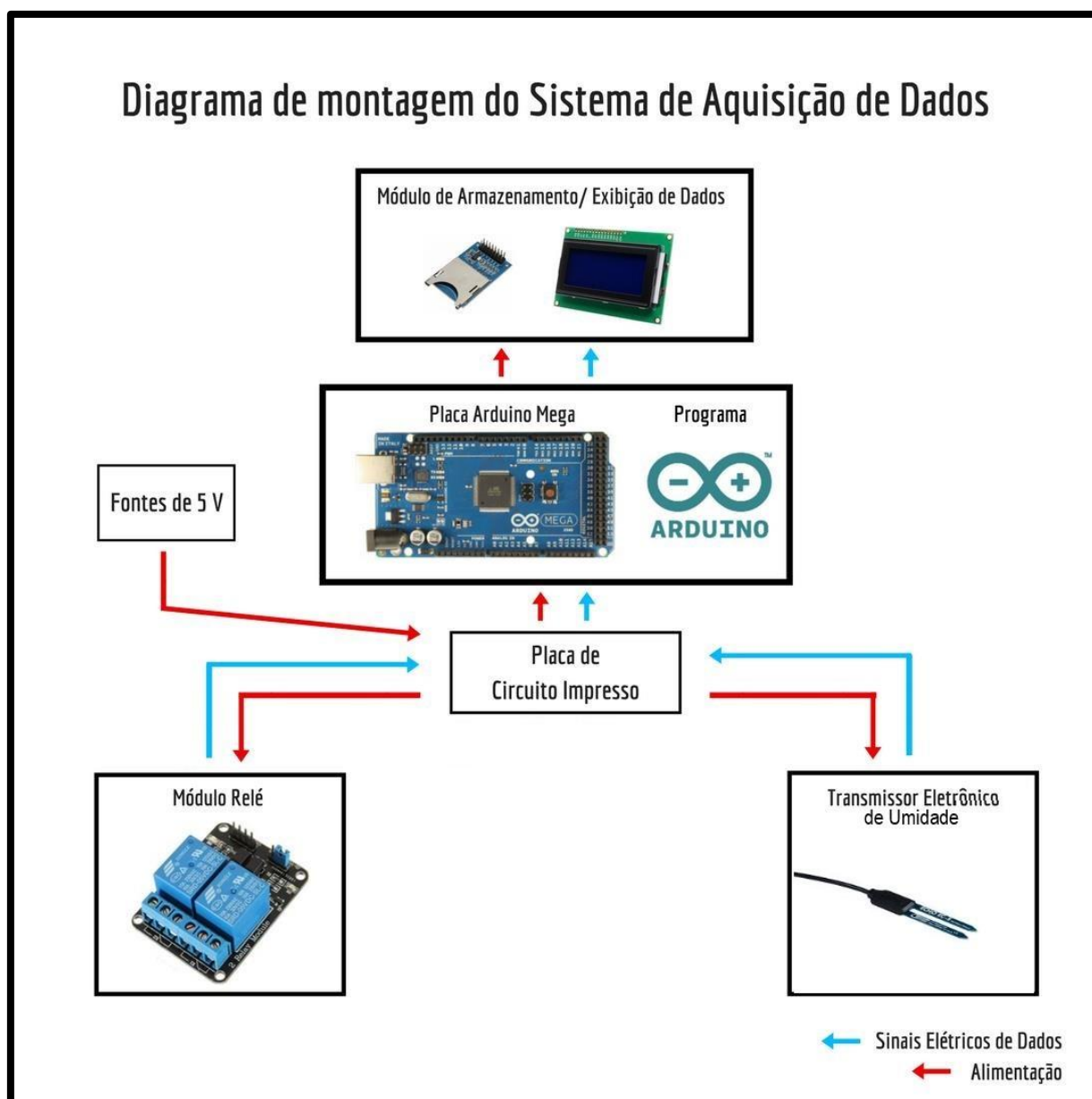
Todos os equipamentos descritos anteriormente possuíam sua funcionalidade própria desenvolvendo as atividades da SAD em conjunto. Para melhorar a interpretação, o trabalho será descrito em partes, descrevendo toda a montagem do sistema, funcionamento do SAD e validação e calibração dos sensores. As programações dos SAD's foram realizadas no ambiente de programação do Arduino chamado Sketch, a qual é uma plataforma "Open Source" em linguagem de programação "C++" adaptada.

O diagrama apresentado na Figura 5 mostra dois tipos de ligações. Entre cada sensor, na placa Arduino, no modulo de armazenamento e display são representadas as ligações para cada transporte de sinais elétricos, que são enviados dos sensores/transdutores (podendo ser analógicos ou de pulso) para a placa Arduino Mega, onde são convertidos para a forma digital e processados. Os dados processados em formato digital são armazenados nos módulos (cartão microSD). As ligações de alimentação são responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica para o funcionamento adequado de todo o sistema.

## **4.3 Experimento em casa de Vegetação**

### **4.3.1 Condução do experimento e delineamento experimental**

O solo utilizado no experimento da segunda etapa (casa de vegetação) foi proveniente de uma propriedade localizada no município de Upanema-RN, onde foi realizada a análise para fins de fertilidade (análise de rotina), apresentado na Tabela 1.



**Figura 5** - Diagrama de montagem do Sistema de Aquisição de Dados

**Tabela 1** - Características químicas do solo

| P                   | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup>                      | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | CEes                  | pH                 |
|---------------------|----------------|-----------------|---------------------------------------|------------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| mg kg <sup>-1</sup> |                |                 | (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) |                  |                  | (dS m <sup>-1</sup> ) | (H <sub>2</sub> O) |
| 63,0                | 1630,0         | 30,8            | 11,30                                 | 1,10             | 0,00             | 1,49                  | 7,20               |

A cultura escolhida para o estudo foi a abóbora (*Cucurbita moschata*) variedade Mini Paulista Isabella. O cultivo foi realizado em vasos com capacidade de 25 litros, a qual possuía um sistema de drenagem composto por furos em sua parte inferior, onde os mesmos foram cobertos por uma camada de 3 cm de brita e uma manta de birdim com diâmetro superior ao

do vaso. O solo após seco e peneirado (peneira de 2 mm) foi colocado nos vasos de modo que a sua borda ficasse 5 cm acima do nível do solo, e que resultasse numa densidade global de  $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ .

Foi adotado um espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, onde cada linha de plantio corresponde a um bloco experimental, com quatro 4 repetições (Figura 6). Utilizamos espaldeiras verticais para o cultivo de 1,9 m de altura, com quatro fios, presos e esticados por mourões instalados ao longo das linhas de plantio. As plantas foram tutoradas na vertical, presas por fitilhos instalados transversalmente durante todo o seu ciclo, sendo conduzidas com haste única e realizada a polinização artificial manual diariamente no período da manhã.

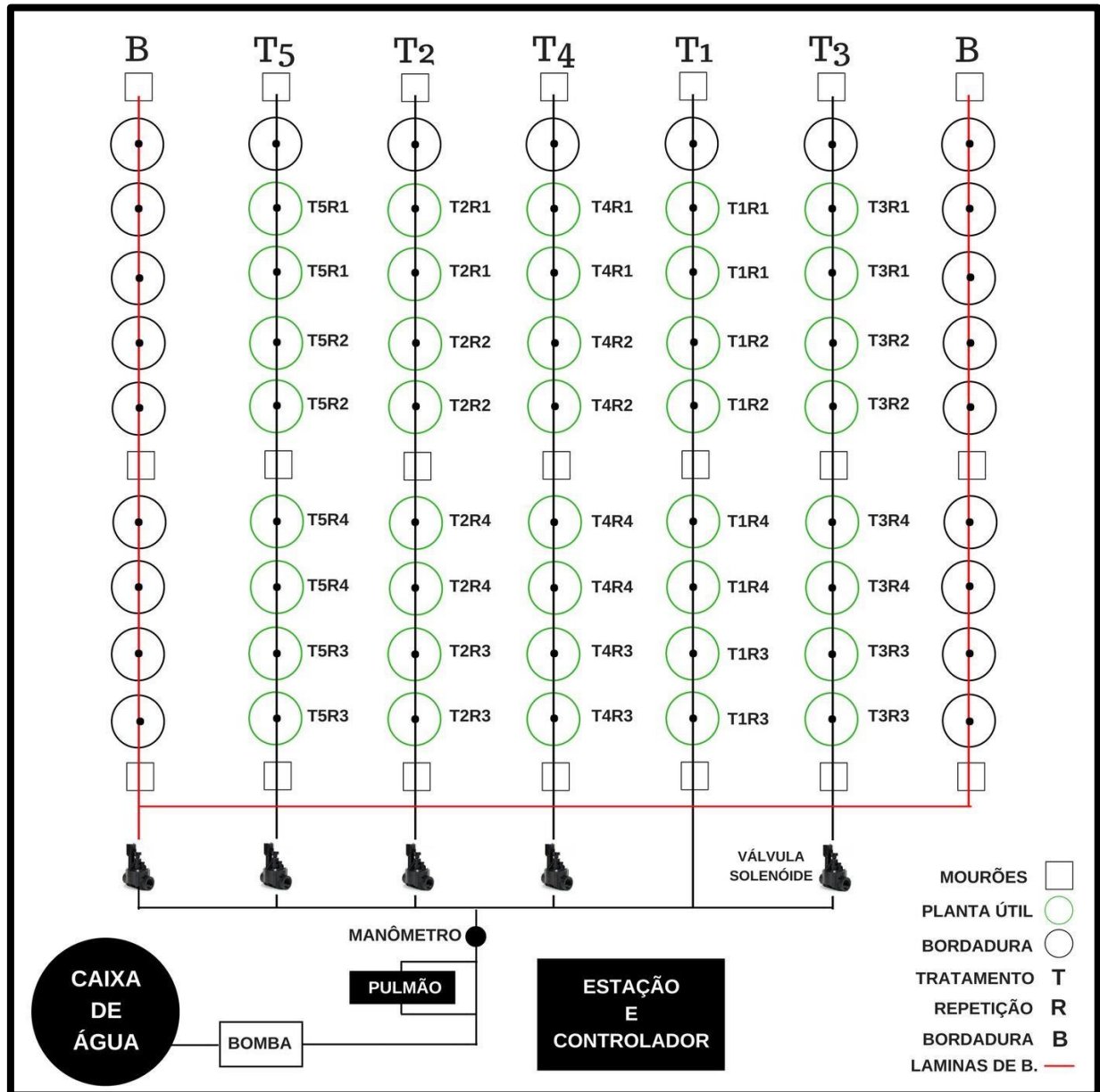
Dessa forma, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, constituído por cinco tratamentos (T) e quatro repetições, com duas plantas por parcela, totalizando 40 plantas úteis. Os tratamentos adotados foram cinco lâminas de irrigação, determinada pelo cálculo da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), usando método de FAO (ALLEN et al. 2009), usando o SAD2 para controlar cada lâmina de irrigação, sendo estas: 120% da  $ET_c$  (T1), 100% da  $ET_c$  (T2), 80% da  $ET_c$  (T3), 60% da  $ET_c$  (T4) e 40% da  $ET_c$  (T5).

#### **4.3.2 Manejo do sistema de irrigação**

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, com tubogotejadores espaçados de 0,5 m. Foi realizada uma avaliação do sistema para determinar a uniformidade de distribuição da água no experimento. Essa avaliação foi realizada uma única vez, onde se calculou a vazão média dos gotejadores e o coeficiente de variação das vazões (CV), obtendo uma vazão de  $3,52 \text{ L h}^{-1}$  a uma pressão de  $1 \text{ kgf cm}^{-2}$ , CV de 2,37%, classificando os gotejadores como de categoria A, segundo Bernardo et al. (2006). Para a obtenção desses resultados foi utilizado à metodologia sugerida por Rodrigo Lopez et al. (1992).

Os elementos meteorológicos como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento e a radiação incidente (radiação global), necessários para a estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), foram registrados pela estação meteorológica. Os coeficientes de cultura basais ( $K_{cb}$ ) utilizados foram recomendados pelo Boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 2006) para a cultura da abóbora, sendo: 0,15; 0,95 e 0,70 para as fases inicial, intermediária e final do seu ciclo cultural, respectivamente.

O sistema de irrigação foi automatizado, utilizando o controlador de irrigação do SAD2.



**Figura 6** - Croqui do Delineamento Experimental

#### 4.3.3 Fertirrigação e adubação da cultura

Foi aplicado, via adubação de cobertura e antes do transplante das mudas, aproximadamente, 1 kg de esterco bovino curtido por vaso, considerando-se como adubação de fundação. A injeção de fertilizantes foi realizada por meio de um pulmão, construído com diâmetro de 50 mm e 65 cm de comprimento, tendo sido fornecidos 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, 105 kg

ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em todo o ciclo da cultura e de acordo com a marcha de absorção de nutrientes e da análise de rotina do solo (Tabela 1). Na Tabela 2 pode ser visto a análise foliar das plantas realizadas aos 30 dias após o plantio (DAP), que foi realizada com o objetivo de solucionar um problema nutricional da cultura, onde as folhas mais velhas estavam começando a ficar necrosada nas suas bordas, devido a uma possível associação entre o potássio e ferro, que se encontraram em excesso na análise.

**Tabela 2** - Análise química foliar da planta

| N                  | P    | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Fe <sup>3+</sup>    | Mn <sup>2+</sup> | Zn <sup>2+</sup> | Cu <sup>2+</sup> |
|--------------------|------|----------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| g.kg <sup>-1</sup> |      |                |                  |                  | mg.kg <sup>-1</sup> |                  |                  |                  |
| 38,5               | 5,83 | 33,5           | 8,76             | 0,85             | 638,0               | 77,0             | 23,9             | 0,00             |

#### 4.4 Características avaliadas e análises estatísticas

##### 4.4.1 Calibração dos equipamentos construídos

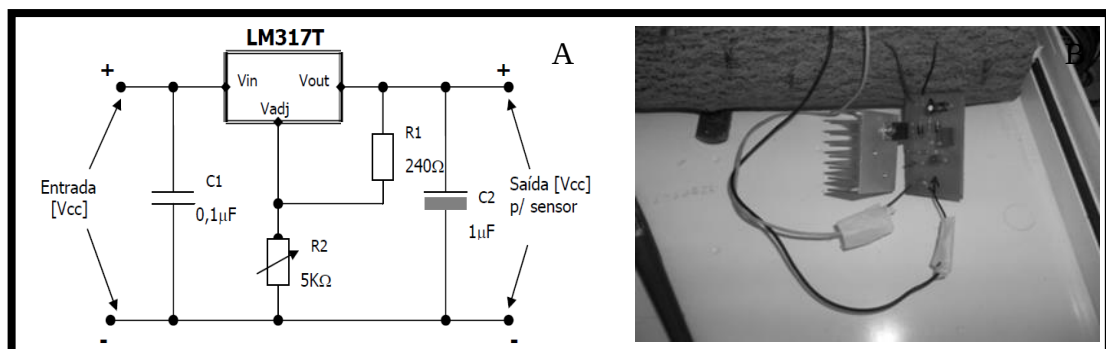
Durante a primeira etapa, foi realizado em todos os componentes dos SAD's construídos, os pré-testes de continuidade dos sinais elétricos coletados (corrente elétrica, tensão elétrica, sinal digital, etc.) e dos dados armazenados. Para o sensor ECHO EC-5 foi usado a Equação 1, de acordo com o manual do fabricante, em que a alimentação (excitação elétrica) fornecida ao sensor deve ser de precisos 2500 mV. Então, nesse caso se construiu um regulador de tensão (Figura 7) para fornecer essa tensão ao sensor, instalado no SAD1.

$$\theta v = 0,00119 \cdot T - 0,401 \dots \dots \dots (1)$$

Onde:

$\theta v$  = Umidade volumétrica do solo, (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>);

T = Tensão elétrica lida no sensor, (mV).



**Figura 7** - Regulador de tensão construído para fornecer a tensão precisa ao ECHO EC-5

Foram monitorados o crescimento e a produção das plantas, sob os diferentes tratamentos aplicados. Para a análise de crescimento, foram determinados o Peso da massa seca total (PMS) coletadas ao final do ciclo da cultura, nos 76 dias após o plantio (DAP), em quatro repetições de cada tratamento. A Área Foliar (AF) foi determinada com a medida do comprimento (C) e da largura média da folha (L), de acordo com Nascimento et al. (2002); além da contabilização do número de folhas (NF) para essa estimativa, nos dias 24, 38, 45, 56 e 70 DAP, em três repetições de cada tratamento.

A análise de produção foi realizada ao final do experimento, onde os frutos foram colhidos e pesados em uma única colheita aos 76 DAP, sendo determinado o número de frutos por planta e o Peso Médio do Fruto (PMF) por planta, em quatro repetições de cada tratamento.

#### 4.4.2 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, utilizando o software SISVAR, onde as médias obtidas entre os tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância e análise de regressão.

Para averiguar a calibração dos equipamentos, foi realizada a análise de características técnicas de acurácia, precisão e linearidade. Para tanto, foram ajustados os modelos segundo regressões lineares, regressões ajustadas à origem, índice de concordância (d) e índice de desempenho (c). A precisão de um instrumento é a capacidade deste de repetir uma mesma medida e é indicada pelos erros de repetibilidade, sendo a histerese indicada separadamente. A exatidão está correlacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente, essa aproximação é dada por um índice designado de concordância (d) (WILLMOTT et al., 1985). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para concordância perfeita. O índice de Willmott é dado pela Equação 2

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad (2)$$

em que:

d = adimensional, variando de 0 a 1;

Pi = valores de pesos estimados pelo método;

Oi = valores observados de pesos;

O = média dos valores observados.

O índice c, Equação 3, proposto por Camargo & Sentelhas (1997) foi utilizado para indicar o desempenho dos métodos, reunindo os coeficientes de correlação (R) e o “d”.

$$c = R \cdot d \quad (3)$$

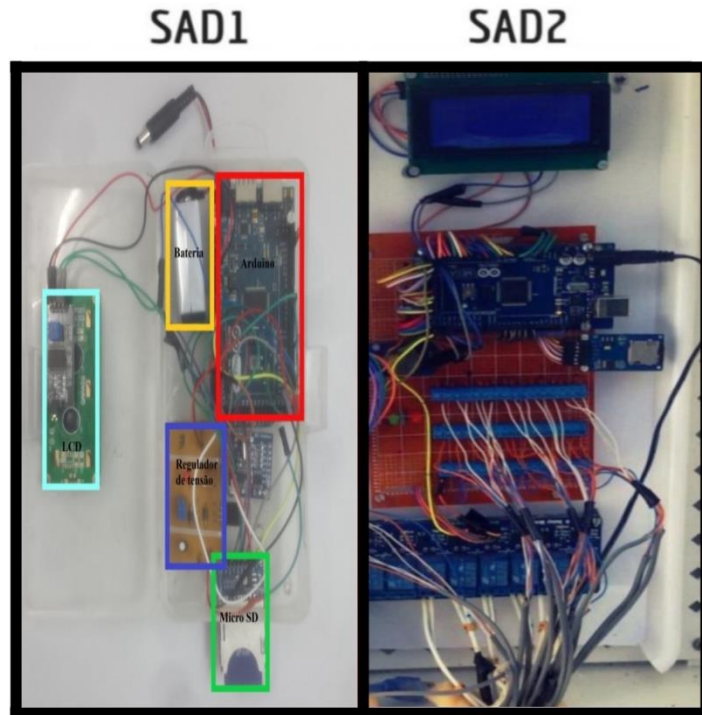
Assim foram feitas análises da regressão, tendo como critério de ajuste a verificação dos coeficientes de determinação e pelo coeficiente de correlação (R) que indica o grau de dispersão dos dados em relação à média, ou seja, o erro aleatório. Todos esses índices utilizados na análise do desempenho do sensor ECHO EC-5 podem ser encontrados em Coelho Filho et al. (2004).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Calibração do SAD

Os pré-testes realizados nos SAD's construídos mostraram que esses equipamentos, em conjunto com os sensores, podem ser utilizados para minimizar os problemas dos erros de leituras que ocorrem comumente no manejo das irrigações no campo. O primeiro teste foi realizado com o SAD1 fazendo-se leituras com o sensor ECHO EC-5, sendo os dados coletados no SAD1 (ECHO-SAD) e coletando os dados do mesmo sensor num datalogger comercial modelo CR1000 da Campbell Scientific (ECHO-DAT), ao mesmo tempo. Para simular a umidade do solo nesse teste em laboratório, fez-se o fechamento do circuito das hastes do sensor como fita crepe em várias espessuras. Observou-se que a relação entre os dados foi muito boa, o que pode ser comprovado pelo elevado coeficiente de determinação encontrado,  $R^2$  de 99,98%, e pelo índice "c" de 99,87%. Com estes índices bastantes elevados senso o sensor submetido as mesmas condições de ensaio, mas instalados em registradores de dados diferentes, comprova que o SAD1 pode ser utilizado para determinar indiretamente a umidade do solo com o ECHO EC-5, se levamos em consideração o *datalogger* da Campbell Scientific como padrão.

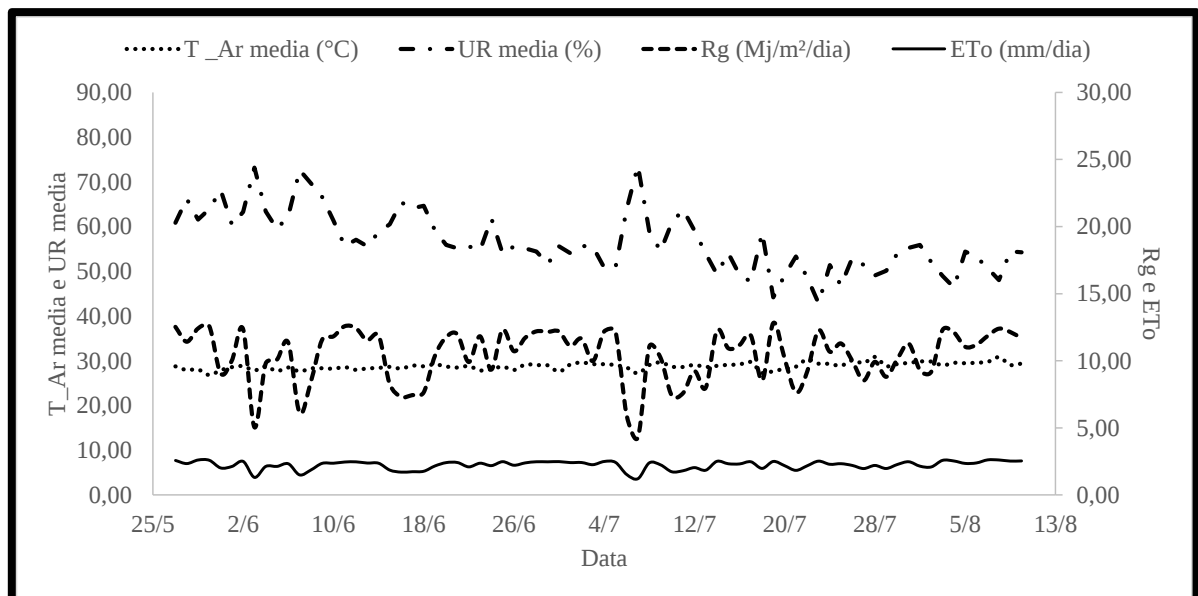
Na Figura 8 pode ser observado os SAD's construídos, mostrando os componentes como o Arduino, display, relógio, cartão de memória, placa de relé e materiais utilizados normalmente em eletrônica como a placa de fenolite e os bornes. Os SAD's foram acondicionado em caixa de plástico e instalado dentro de um abrigo de fibra-amianto, para coleta e armazenamento dos dados do trabalho em campo.



**Figura 8** - SAD's construído mostrando os componentes utilizados

## 5.2 Dados climáticos

Os dados climáticos obtidos da estação meteorológica semi-automática instalada no local estão apresentados na Figura 9.



**Figura 9** - Dados climáticos coletados na casa de vegetação durante o ciclo da cultura

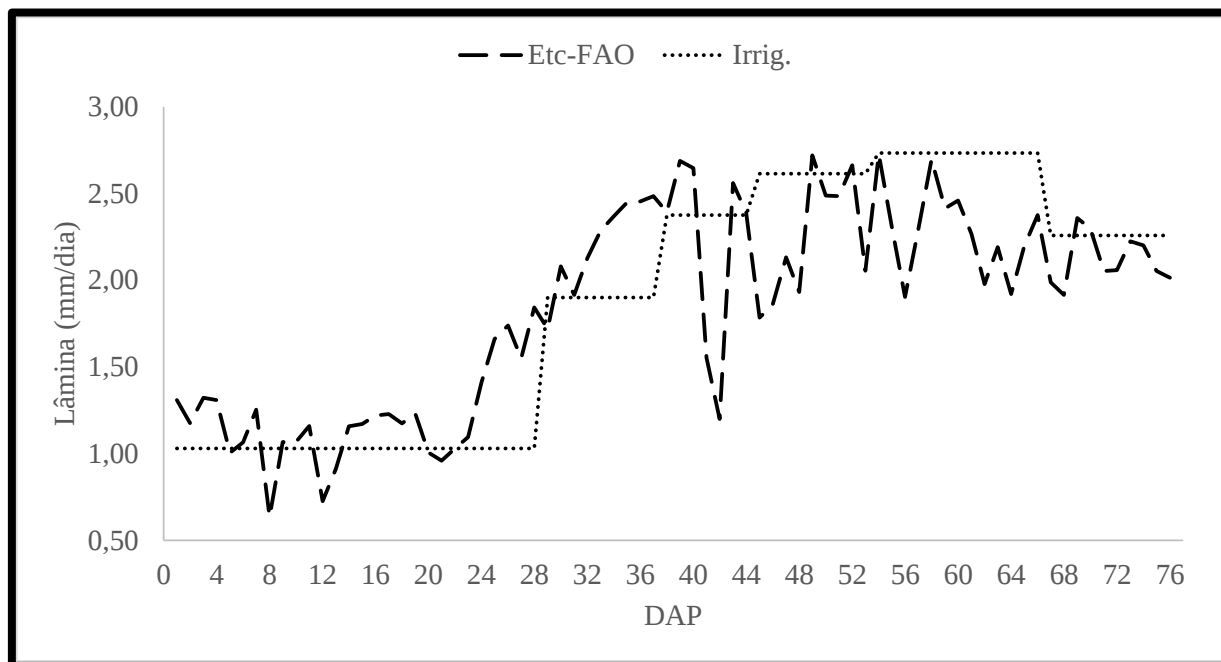
Como a estação estava instalada nas mesmas condições do experimento, pode-se determinar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) descrita por Penman-Monteith-FAO 56 (ALLEN et al., 2006), presumindo erros mínimos. Observa-se nesta Figura a temperatura do ar média (T<sub>Ar</sub> média), a umidade relativa do ar média (UR média), a radiação solar global (R<sub>g</sub>) média e a ET<sub>o</sub>.

Observou-se no período de cultivo do abóbora, a temperatura média foi de 28,8°C, isto é, mais elevada do que a preconizada para a região (CARMO FILHO & OLIVEIRA, 1989), ressaltando-se que essa temperatura e demais dados climáticos foram obtidos em casa de vegetação. Silva et al. (2000) dizem que temperaturas abaixo de 13°C reduzem o crescimento da planta do meloeiro, enquanto temperaturas entre 20 e 30°C são favoráveis ao desenvolvimento e produtividade. Com relação à umidade relativa do ar, a média encontrada foi de 56,65%, abaixo dos 68,9% segundo Carmo Filho & Oliveira (1989), isto ocorre devido o cultivo da abóbora ter sido conduzido dentro de casa de vegetação e num período ainda seco na região, apesar de ter sido contabilizados um total de 21,6 mm de precipitação pluviométrica.

Ainda na Figura 9 pode ser visto também os valores de R<sub>g</sub>, em que nestas condições a radiação global foi de 10,42 MJ/m<sup>2</sup>/dia em média. Nesse caso, esses valores também são considerados menores do que aqueles encontrados por estações meteorológicas instaladas no campo. Como a R<sub>g</sub> é o parâmetro que mais tem influência na estimativa de ET<sub>o</sub>, segundo Allen et al. (2006), fez com que os valores encontrados de ET<sub>o</sub> ficassem bem menores, se comparados com dados de campo. O valor médio, máximo e mínimo de ET<sub>o</sub> encontrados na pesquisa foram de 2,22, 2,61 e 1,21 mm.dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

Na Figura 10, são apresentados a evapotranspiração da cultura estimado pelo método Penman-Monteith-FAO (ET<sub>c</sub>-FAO), e as lâminas de irrigação aplicadas (Irrig.), durante o período do ciclo da planta (DAP). Observa-se que as irrigações acompanharam as lâminas pré-determinadas pelo cálculo da ET<sub>c</sub>-FAO, comprovando que as lâminas calculadas para a cultura foram estimadas de acordo com sua necessidade. No final do experimento a lâmina total aplicada de irrigação foi de 144,19 mm e a lâmina estimada pela ET<sub>c</sub>-FAO foi de 139,81 mm. Dessa forma, verificou-se que a lâmina aplicada no tratamento de T2 (100%), nas condições do experimento realizado em casa de vegetação, excedeu em apenas 4,38 mm a lâmina de irrigação estimada pelo método comumente realizado (ET<sub>c</sub>-FAO). Esse fato pode ter como justificativas o próprio cultivo em casa de vegetação, a condição de alta frequência de irrigação realizada, já que era irrigado duas vezes ao dia, pela escolha talvez adequada dos

Kc's (Tabela 3) escolhidos para a estimativa da ETc-FAO, e, provavelmente, aos bons tratos culturais realizados durante a pesquisa.



**Figura 10** - Evapotranspiração determinada pelo método da FAO-Penman-Monteith (ETc-FAO) e lâmina de irrigação aplicada (Irrig.), durante o ciclo da cultura

Na Tabela 3, são apresentados os coeficientes de cultura estimados pelo método da ETc-FAO (KcFAO), a lâmina média aplicada e a ETc-FAO média estimada em cada estágio fenológico da planta usados no experimento.

**Tabela 3** - Estádio fenológico, período em dias, lâmina aplicada média (Irrig.) em "mm", ETc-FAO média em "mm" e coeficiente de cultivo estimado pelo método da FAO (KcFAO), durante o ciclo da cultura

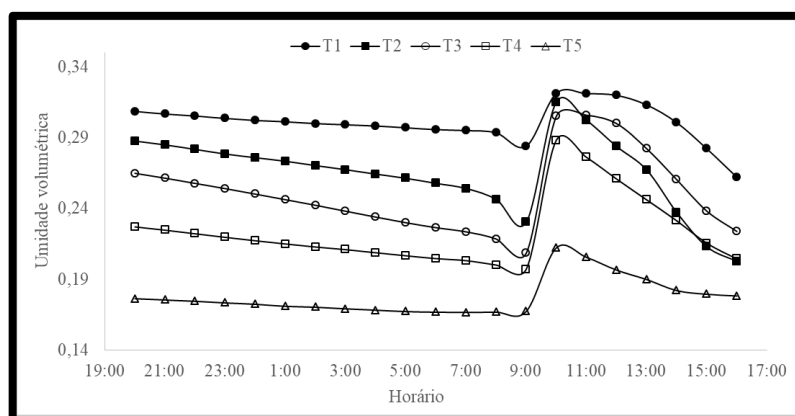
| Estádio Fenológico | Duração | Irrig. | ETc-FAO | KcFAO |
|--------------------|---------|--------|---------|-------|
| Inicial            | 18      | 1,03   | 1,10    | 0,49  |
| Desenvolvimento    | 21      | 1,53   | 1,83    | 0,80  |
| Intermediária      | 21      | 2,60   | 2,25    | 1,06  |
| Final              | 16      | 2,44   | 2,13    | 0,92  |
| Total              | 76      | -      | -       | -     |

Verifica-se que no tratamento T2 os valores de lâmina de irrigação (Irrig.) aplicados foram menores nos dois primeiros estádios fenológicos da planta e foram maiores nos dois últimos estádios fenológicos quando comparados com a lâmina estimada pelo método da FAO

(Allen et al., 2006), o que já pôde ser observado no comportamento das curvas na Figura 11. Com relação aos Kc's estimados pela FAO (KcFAO), verificou-se que apenas no estágio fenológico final que apresentou um Kc bem mais elevado do que o valor médio recomendado pela própria FAO, de 0,75, reforçando a discussão sobre o prolongamento do desenvolvimento vegetativo da planta no estágio fenológico final da cultura.

### 5.3 Dados de umidade volumétrica do solo

Na Figura 11, pode ser visto a umidade volumétrica do solo ao longo do dia nos diferentes tratamentos, onde T1 sempre teve uma umidade do solo mais elevada, visto que era o tratamento com a maior lâmina (120% da Etc), e o T5, que tinha uma lâmina de 40% em relação a ETc, teve uma umidade volumétrica menor em relação a todos os tratamentos.



**Figura 11** - Medidas realizadas no sensor ECHO EC-5 coletadas pelo SAD1 durante um dia em cada tratamento

As 9:00h todos os tratamentos apresentam comportamento semelhante, tendo uma elevação significativa nas suas respectivas tendências de umidade, visto que é um dos horários de irrigação. Utilizamos a média do T1 como parâmetro de comparação entre as médias dos demais tratamentos, aonde o T2 teve 11,94% inferior ao T1, o T3 teve 16,45%, o T4 teve 25,61%, e o T5 teve 40,86%, respectivamente.

### 5.4 Dados de crescimento e produção da cultura

Na Tabela 4 e 5 pode ser visto o resumo da análise de variância (ANAVA) das características de crescimento da planta área foliar (AF) em cm<sup>2</sup>, peso da matéria seca (PMS)

e peso médio do fruto (PMF), ambas em gramas, coletados no final do experimento nos 5 tratamentos. Houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre os tratamentos, tanto de AF como de PMF, já o PMS nos tratamentos não houve diferença estatística. Com relação a AF, verificou-se que o tratamento T2 apresentou média igual ao T1 e superior aos demais. Já no PMF, os tratamentos T1 e T2 foram também significativamente iguais, mas superiores aos demais.

**Tabela 4** - Resumo da ANAVA da característica de área foliar em cm<sup>2</sup> (AF) nas cinco datas de coleta (DAP)

| Fonte de variação | G.L | Estatística F         |
|-------------------|-----|-----------------------|
|                   |     | AF                    |
| TRAT              | 4   | 30,566 <sup>**</sup>  |
| Bloco             | 2   | 0,561 <sup>ns</sup>   |
| DAP               | 4   | 111,705 <sup>**</sup> |
| TRAT*DAP          | 16  | 5,448 <sup>**</sup>   |
| Resíduo           | 48  | -                     |
| Teste Tukey       |     |                       |
| Lâminas           |     | Médias                |
| T1                |     | 5286,46a              |
| T2                |     | 5586,42a              |
| T3                |     | 4246,45b              |
| T4                |     | 3611,01bc             |
| T5                |     | 3475,43c              |

<sup>ns</sup> não significativo, <sup>\*\*</sup> Significativo a 1% de probabilidade .

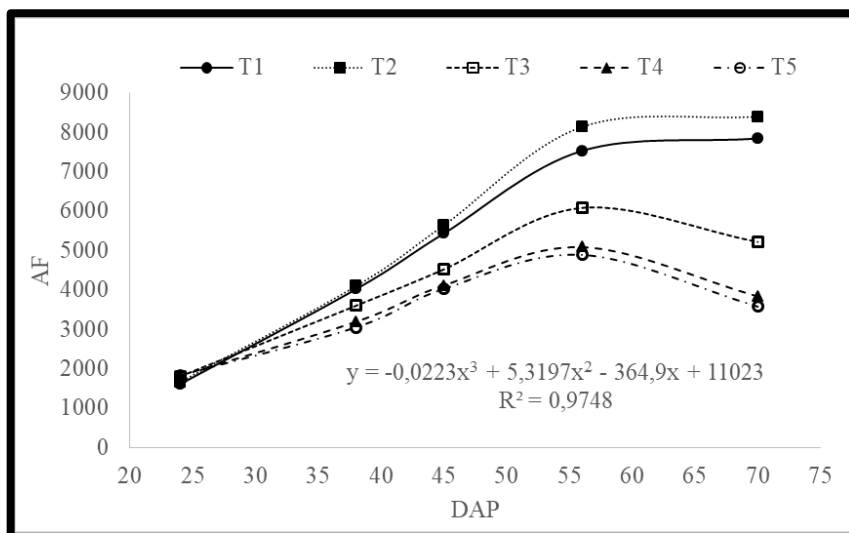
Esses resultados concordam com Bernardo et al. (2006) que dizem que as plantas tendem a diminuir seu crescimento com o estresse hídrico.

**Tabela 5** - Resumo da ANAVA das características de peso da matéria seca (PMS) e peso médio dos frutos (PMF), ambas em grama

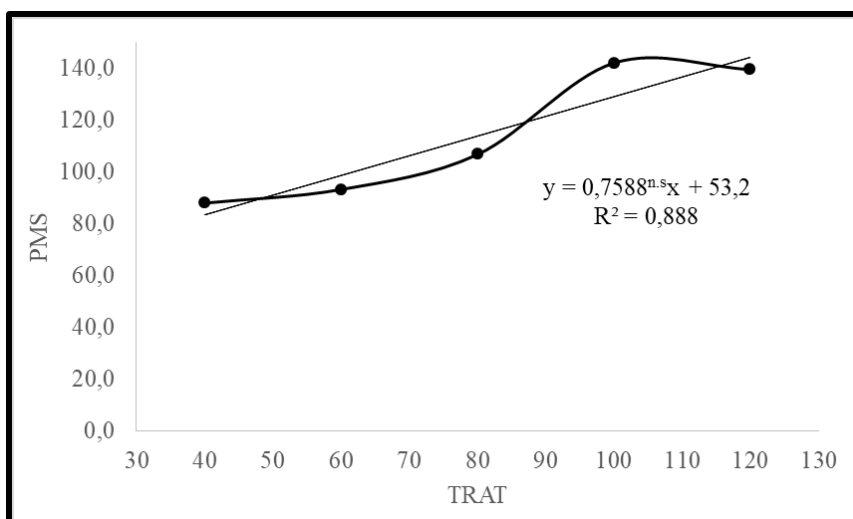
| Fonte de variação | G.L | Estatística F       |                      |
|-------------------|-----|---------------------|----------------------|
|                   |     | PMS                 | PMF                  |
| TRAT              | 4   | 2,823 <sup>ns</sup> | 30,855 <sup>**</sup> |
| Blocos            | 3   | 1,846 <sup>ns</sup> | 0,801 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo           | 12  | -                   | -                    |
| Teste Tukey       |     |                     |                      |
| Lâminas           |     |                     | Médias               |
| T1                |     | 139,50a             | 767,00a              |
| T2                |     | 142,00a             | 852,75a              |
| T3                |     | 106,75a             | 426,25b              |
| T4                |     | 93,25a              | 271,50b              |
| T5                |     | 88,00a              | 233,00b              |

<sup>ns</sup> não significativo, <sup>\*\*</sup> Significativo a 1% de probabilidade.

As Figuras 12, 13 e 14 mostram a Área foliar (AF), peso da matéria seca (PMS) e peso médio dos frutos, coletados ao final do cultivo respectivamente.



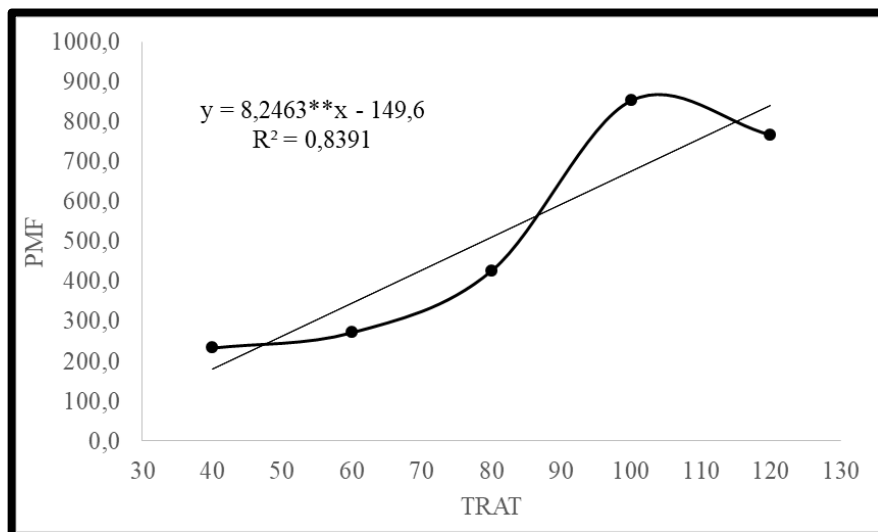
**Figura 12** – Área média foliar (AF) da planta nas cinco coletas realizadas (DAP)



**Figura 13** – Peso da matéria seca (PMS) em relação aos tratamentos (TRAT)

A Figura 14 mostra as diferenças entre os pesos médios dos frutos quando submetidos aos diferentes tratamentos. Observa-se que o tratamento T2, não difere estatisticamente do T1, porém superiores ao T3, T4 e T5. Tendo como parâmetro numérico de comparação, o peso médio dos frutos (PMF) do T2, podemos verificar que o mesmo apresentou 10,05% superior ao T1, 50,00% em relação ao T3, 68,16% ao T4 e 72,68% ao T5, evidenciando mesmo sendo

significativamente iguais, que houve ainda redução do PMF devido ao excesso de água (T1) e ao déficit de água (T3, T4 e T5).



**Figura 14** – Peso médio dos frutos (PMF) em relação a cada tratamento (TRAT)

Os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5 e nas Figuras 13, 14 e 15, foram obtidos com a aplicação dos tratamentos de lâminas de irrigação, controlando a aplicação dessas lâminas pelo controlador de irrigação do SAD2 construído. Durante o experimento, verificou-se que mesmo na falta de energia ocorridas, o controlador (SAD 2) funcionou adequadamente, sem atrasos ou adiantamentos nos horários de abertura/fechamento das válvulas elétricas de irrigação. Como vantagens do controlador de irrigação construído, não ocorre nenhuma restrição na programação de horários e de dias de irrigação, podendo ser alterado minuto a minuto, bem como pode-se acionar várias válvulas ao mesmo tempo e desligá-las em tempos diferentes. Também pode-se instalar conjuntos motobombas monofásicas de até 5 cv. Na maioria dos controladores vendidos atualmente, para que este faça esses mesmos procedimentos, o custo do equipamento se torna bastante elevado.

A evapotranspiração da cultura estimada pelo método da FAO (ALLEN et al., 2006) obtida nas condições do experimento foi aproximadamente igual a lâmina de irrigação aplicada.

## 6 CONCLUSÕES

Os parâmetros de crescimento nas plantas (PMF) e (AF) foram afetados pelas lâminas de irrigação, apresentando diferença significativa dos tratamentos de 120% da ET<sub>c</sub>-FAO e 100% da ET<sub>c</sub>-FAO sobre os demais tratamentos. O PMS não apresentou diferença estatística entre os tratamentos ao nível de significância de 1%.

O tratamento com a lâmina de 100% da ET<sub>c</sub>-FAO apresentou pesos médios dos frutos aproximadamente 72% superior ao tratamento com a lâmina de 40% da ET<sub>c</sub>-FAO.

Os SAD's e o sensor de umidade ECHO EC-5 da Decagon<sup>®</sup> demonstraram serem eficientes na automação da irrigação, na determinação indireta da umidade volumétrica do solo por meio da capacitância, bem como, na estimativa do consumo de água pelas plantas.

## 7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH. **Evapotranspiration del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; SENTELHAS, P. C.; SILVA, A. A. G. da. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.1, p.63-68, 2003.

ARAÚJO, J.L.P.; VILELA, N.J. Aspectos socioeconômicos. In: SILVA, H. R. da; COSTA, N.D. (eds). **MELÃO: Produção aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2003. cap.2, p15-18.

ARRUDA, L. E. V.; FIGUEIRÊDO, V. B.; LEVIEN, S. L. A. MEDEIROS, J. F. Desenvolvimento de um tensiômetro digital com sistema de aquisição e armazenamento de dados. **Revista Irriga**, Botucatu edição especial, p.11-20, 2017.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 8.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2006. 657p.

BRANDÃO FILHO, J.U.T. ; VASCONCELLOS, M.A.S. A cultura do meloeiro. In: GOTO, R.; TIVELLI, S.W. (Org.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. p.161-193.

BRIDI, E.; GIANESINI, B. M.; BIANCHI, E. C.; VILERÁ, K. V.; DIAS, R. R.; CAPRIATA, V.; MOMESSO, A. E. C.; CONEJO, A. Z.; SANTOS, D. C.; FARIA, I. M.; BONATO, M. J. D.; QUADROS, R.; MARTINS, W. K. A. G. Oficina de Arduino como ferramenta interdisciplinar no curso de engenharia elétrica da UFMT: a experiência do petelétrica. **XLI Congresso brasileiro de educação em engenharia**, Gramado, 2013.

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida ‘Tahiti’(Citrus latifolia Tan.)**. 2002. 62 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) –

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARMO FILHO, F. do; OLIVEIRA, O. F. de. **Mossoró: um município do semi-árido: caracterização climática e aspecto florístico**. Mossoró: UFERSA, 1989. 62 p. (Coleção Mossoroense, série B ,672,).

COELHO FILHO, M. A.; VELLAME, L. M.; COELHO, E. F. SOUZA, C. F. **Instalação e operação de sistemas de aquisição e armazenamento de dados para o monitoramento do sistema solo-água-plantas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 136p. (Documentos n. 143).

COEX- Comitê Executivo de Fitossanidade do Rio Grande do Norte- **Dados de exportação de melão**: Período de Janeiro/2004 a Abril/2005. Mossoró: 2005, 1p.

COSTA, N.D.; GRANGEIRO, L.C. Composição química do fruto e usos. In: .SILVA, H. R. da; COSTA, N.D. (eds). **MELÃO: Produção aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2003. cap.4, p 22.

DIAS, R.de C.S.; COSTA,N.D.; SILVA, P.C.G.; QUEIROZ, M.A. de; ZUZA, F.; LEITE, L.A.S.; PESSOA, P.F.A.P.; TARAO, D.A. A cadeia produtiva do melão no Nordeste. In: CASTRO, A.M.G.; LIMA, S.M.V. de; GOEDART, W.J.; FREITAS FILHO, A. de; VASCONCELOS, J.R.P.(eds). **Cadeias produtivas e sistemas naturais**: prospecção tecnológica. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-DPD, 1998. Cap. 17, p.441-494.

FILIPFLOP, site de compras. **Módulos**. Disponível em <<http://www.filipeflop.com/pd-6b84a-modulo-rele-5v-2-canais.html?ct=41d96&p=1&s=1>> . Acesso em fevereiro de 2018.

FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M. Cultura do melão. In: FONTES, P.C.R. (ed). **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa: UFV, 2005. Cap.26. p. 407-428.

INAMASU, R. Y.; BERTUCCI, I. V.; FERREIRA, W. S.; SOTTO, C. A. B.; TORRE NETO, A.; NAIME, J. M.; RABELLO, L. M.; CRUVINEL, P. E.; BERNARDES FILHO R.;

HERMMANN JÚNIOR, P. S. P.; VAZ, C. M. P. Sistema de informação em elementos de aquisição de dados para ambiente agropecuário. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.10, p.1-8, 1996.

MAROTO, J.V. **Horticultura herbácea especial**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1995, 611p.

NEGREIROS, M.Z.; MEDEIROS, J. F.; SALES JÚNIOR, R; MENEZES, J. B. Cultivo do melão no pólo Rio Grande do Norte/Ceará. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.3, nov., 2003.

PARIS H S (2001) **History of the cultivar-groups of Cucurbita pepo**. Hortic Rev 25: 71-171.

PASSARELLI L L (2002) **Importância de Apis mellifera L. em la producción de Cucurbita maxima Duch.** (Zapallito de tronco). Investig Agrar Prod Prot Veg 17: 5-13.

PEDROSA, J.F. **Cultura do melão**. Mossoró: ESAM, 1997. 50p. Apostila.

PEREZ, Antônio Daniel Catunda. **Módulo de controle aplicado à automação agrícola**. 2011. 53 f. Monografia de graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

POZZEBON, E. J.; CUNHA, P.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, L. M. C. **Procedimentos para pedidos de outorga de direito de uso da água para irrigação**. In: Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo, 2003. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Instrumentação industrial**. 9ª Ed. São Paulo, TekTreinamento&Consultoria Ltda., 1999.

RIBEIRO, J.F. E CASTRO, L.H.R. (1986) - **MÉTODO QUANTI-TATIVO PARA AVALIAR CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS EM ÁRVORES**. Revista Brasileira de Botânica, 9, 1: 7-11.

RODRIGO LOPEZ, J.; HERNÁNDEZ ABREU, J. M.; PEREZ REGALADO, A.; GONZALEZ HERNANDEZ, J. F. **Riego localizado**. MAPA-IRYDA. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 1992. 405p.

SATURNINO, H, M.; PAIVA, B, M DE, GONTIJO V DE P M, FERNANDES D P DE L (1982) **Cucurbitáceas: Aspectos Estatísticos**. Inf Agropec Belo Horizonte 8: 3-20.

SILVA, H.R da; COSTA, N.D.; CARRIJO, O.A. Exigências de clima e solo e época de plantio. In: In: SILVA, H. R. da; COSTA, N.D. (eds). **MELÃO: Produção aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2003. cap.5, p 23-28.

SILVA, H.R.; FARIA, C.M.de; COSTA, N.D.; FERREIRA, C.C. Distúrbios fisiológicos. In: SILVA, H.R.da.; COSTA, N.D. (eds). **MELÃO: Produção aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2003. cap.15, p 117-120.

WILLMONTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. Statistics for the evaluation and comparision of model. **Journal of Geophysical Research**. Ottawa, v.90, n.C5, p. 8995-9005, 1985.