



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ
CAMPUS CASTANHAL
DIRETORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E INOVAÇÃO
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL
DESENVOLVIMENTO RURAL E GESTÃO DE EMPREENDIMENTOS AGROALIMENTARES

LUCAS ARAUJO DO NASCIMENTO

IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA DE BAIXO CUSTO NA AGRICULTURA
FAMILIAR:
Uso de Arduino e Detector de Umidade do Solo

Castanhal – Pará
2019

LUCAS ARAUJO DO NASCIMENTO

**IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA DE BAIXO CUSTO NA AGRICULTURA
FAMILIAR:
Uso de Arduino e Detector de Umidade do Solo**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA Campus Castanhal, como parte dos requisitos necessários a obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Rural Sustentável e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares.

Orientador: Dr. Luis Nery Rodrigues

Linha de Pesquisa: Dinâmica e Manejo de Agroecossistemas

Castanhal – Pará
2019

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

N244i Nascimento, Lucas Araújo do.
Irrigação automática de baixo custo na agricultura familiar: uso de
2019. arduino e
detector de unidade do solo. / Lucas Araújo do Nascimento. -- Castanhal,
64 f. : il.
Orientador: Prof. Dr. Luís Nery Rodrigues.
Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural e Gestão

Empreendimentos Agroalimentares) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural e Gestão Empreendimentos Agroalimentares, Castanhal, 2019.

- Irrigação. 2. Automação de irrigação. 3. Irrigas - Pepino. I. Rodrigues, Luís Nery, Orient. II. Título.

CDD 22.ed. 631.7

Biblioteca/Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará
Bibliotecária Suellen Souza Gonçalves CRB-2/1497

LUCAS ARAUJO DO NASCIMENTO

IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA DE BAIXO CUSTO NA AGRICULTURA FAMILIAR: Uso de Arduino e Detector de Umidade do Solo

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA Campus Castanhal, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Rural Sustentável e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares

Data da defesa: 23/08/2019

Conceito: _____

Prof. Titular, Dr. Luis Nery Rodrigues
(IFCE – Campus Tauá – Orientador)

Prof. Titular, Dr. João Tavares Nascimento
(IFPA – Campus Castanhal)

Prof. Dr. Rossini Daniel
(UFRA – Campus Paragominas)

À minha família e meus amigos por estarem a meu lado, me ajudando e apoiando nas minhas dificuldades. A meus professores que me inspiraram e me ensinaram. A meus colegas de trabalho cujo apoio e incentivo foram fundamentais. E à minha namorada que sempre esteve ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente à minha família, que é a base de tudo. Ao meu orientador, professor Dr. Nery pelo que aprendi, não só relativo ao projeto, mas em relação a trabalhar e como fazer pesquisa e, mais que tudo, pela paciência. A meus amigos, pelo apoio e, em especial, ao Ricardo, à Carminha e ao Denisson por ajuda em algumas etapas deste trabalho.

Aos professores José Nilton e Vicente e seus alunos que dedicaram tempo de suas apertadas agendas para ajudar um discente de outra instituição. Ao Programa de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares e aos professores a ele ligados, que são fundamentais para o crescimento pessoal e profissional de muitos alunos em cada ano.

Ao mestrando Laércio que foi fundamental para alguns resultados aqui apresentados. Não poderia esquecer de meus colegas de turma, com quem aprendi e trabalhei pra chegar até aqui e cujo apoio e troca de conhecimentos e experiências foram fundamentais para a superação de vários obstáculos.

Especialmente ao Sr. Francisco e sua família, pelo apoio e acolhimento, com os quais muito aprendi e, principalmente, que me ajudaram a entender quem é e como é a vida do público alvo deste trabalho.

Agradeço também à minha namorada, Ramone, pelo apoio, paciência e ajuda, ao meu pai por ajudar em algumas tarefas e à equipe pedagógica, docente e de gestão do IFPA campus Parauapebas por ajudar em diversos momentos.

...

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar diferentes métodos de manejo de irrigação no desenvolvimento da planta e produtividade da cultura de pepino (*Cucumis sativus*) nas condições de Parauapebas – PA. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com 4 tratamentos (um tradicional com quantidade fixa de água por dia [1], um auxiliado pelo sensor Irrigas [1], um controlado por Arduino com uma irrigação diária [3] e um controlado por Arduino com duas irrigações diárias [4]). Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com 6 repetições por tratamento. Foram avaliadas as seguintes variáveis número de frutos, peso total colhido por planta e o altura da planta e, a partir destes, a produtividade. Não se observou diferença significativa ($P < 0,05$) em nenhuma das variáveis e, à exceção da altura da planta, todas tiveram distribuições normais.

Palavras-chave: Manejo de irrigação. Automação de irrigação. Irrigas. Pepino.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate different methods of irrigation management of a cucumber crop (*Cucumis sativus*) under Parauapebas' – PA conditions, aiming to evaluate the timesavings, productivity difference and the cost of systems with sensors and irrigation controllers. The experiment was conducted in a greenhouse with 4 treatments, a traditional one with fixed depth of water per day, one with Irrigas sensor help and two controlled by the Arduino, one with a daily irrigation and the other with two daily irrigations. The design was completely randomized with 6 replicates per treatment. The following variables were evaluated: number of fruits, total weight harvested per plant and height of the plant and, from these, productivity per m^2 . There were no significant differences ($P < 0.05$) in any of the variables and, except for plant height, all had normal distributions.

Key words: irrigation management, irrigation automation, Irrigas, cucumber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema Irrigas	21
Figura 2 - Arduino Mega	22
Figura 3 - Controle de Irrigação em Malha Aberta	23
Figura 4 - Controle de Irrigação em Malha Fechada	23
Figura 5 - Área do plantio	26
Figura 6 - Área sendo preparada para construir a casa de vegetação	27
Figura 7 - Casa de vegetação construída	27
Figura 8 - Canteiros preparados	27
Figura 9 - Sensor de umidade do solo tipo resistivo	29
Figura 10 - Relógio em Tempo Real (RTC)	30
Figura 11 - Válvula de controle	30
Figura 12 - Módulo Relé	31
Figura 13 - Componentes do Irrigas artesanal	31

<u>Figura 14 - Irrigas Industrial</u>	32
<u>Figura 15 - Distribuição das tecnologias por canteiro</u>	33
<u>Figura 16 - Calibração dos sensores de resistividade do solo</u>	35
<u>Figura 17 - Calibração em campo</u>	36
<u>Figura 18 - Arduino instalado em campo</u>	37
<u>Figura 19 - Arduino em campo</u>	39
<u>Figura 20 - Colheita do pepino</u>	40
<u>Figura 21 - Número de frutos de pepino por planta</u>	41
<u>Figura 22 - Peso total de frutos de pepino</u>	42
<u>Figura 23 - Altura das plantas de pepino</u>	42
<u>Figura 24 - Produtividade de pepino</u>	43
<u>Figura 25 – Marcha de colheita dos frutos</u>	44

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 1 - Especificações do Arduino Mega</u>	22
<u>Tabela 2 - Análise físico-hídrica do solo</u>	28
<u>Tabela 3 - Lista de materiais do controlador com Arduino</u>	37
<u>Tabela 4 - Lista de materiais do Irrigas artesanal</u>	38
<u>Tabela 5 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura, número de frutos, peso colhido e produtividade</u>	40

SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

Cc - Capacidade de Campo
CV - Coeficientes de Variação (%)
DMS - Diferença Máxima Significativa
ETo – Evapotranspiração de referência (mm/dia)
GL - Graus de Liberdade
GPS - Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
ha - Hectare
LCD - Liquid-Crystal display (Display de Cristal Líquido)
Pm - Ponto de Murcha
Qo - Radiação Solar em Equivalente de Evaporação (mm/dia)
RTC - Real Time Clock (Relógio em Tempo Real)
Tm - Temperatura Média (°C)
TR - Turno de Rega (dias)

• INTRODUÇÃO

Os desafios da agricultura mundial têm sido exaustivamente analisados e estabeleceu-se a necessidade de melhorias sustentáveis na produção agrícola. Mundialmente 15% das áreas utilizadas para agricultura são irrigadas, mas correspondem a 42% de toda a produção. São utilizados por ano 7100m³ de água para esta irrigação e estima-se que até 2050 este uso de água precise crescer em mais 2100m³ anuais (SADRAS *et al.*, 2015).

A irrigação é provavelmente a prática que permite o maior aumento na produtividade na agricultura. Esta prática consome cerca de 70% de toda a água derivada de mananciais no Brasil. Porém somente metade desta captação é de fato utilizado pelas plantas (SOUSA *et al.*, 2011). O uso inadequado de irrigação em áreas sensíveis pode acelerar o processo de salinização e a expansão de áreas com problemas de trocas de sódio. Isso tende a gerar o abandono da terra e, consequentemente, problemas de ordem econômica e social (TAVARES FILHO, BARROS, ROLIM *et al.*, 2012).

A possibilidade de manejo de irrigação com sensores que garantem água em quantidades corretas pode aumentar a produtividade por hectare em propriedades onde hoje isto é feito de forma artesanal ou mesmo sequer é feita. Aliado a isso, um manejo automatizado pode reduzir a demanda de mão de obra na propriedade, permitindo ao produtor ter menor custo ou mesmo aumentar a área produtiva. A economia de água também é um fator essencial. Mesmo onde ela é abundante, pode-se economizar com o custo da energia elétrica utilizada para bombear a água da irrigação.

Falando-se especificamente de hortaliças, a grande maioria dos agricultores deste tipo de cultura é de formação familiar e estão associados a baixos níveis de sofisticação. São produtos perecíveis e normalmente produzidos próximos aos centros de consumo. A sazonalidade do clima tem forte impacto nas hortaliças, especialmente pelo baixo nível de sofisticação já citado. A área nestas propriedades tem média de 26 ha, contra uma média de 433 ha dos patronais (MACHADO e SILVA, 2011).

O censo agropecuário mostra que poucos agricultores de base familiar têm acesso ao crédito rural oficial. Os produtores de hortaliças normalmente contam com financiamento por parte dos agentes intermediários, comumente chamados de atravessadores. Desta forma boa parte do ganho com a produção não fica com o

produtor (BELIK e CUNHA, 2015).

Percebe-se, portanto, que os produtores de base familiar têm baixa capacidade de investimento para modernizar sua produção. Quaisquer melhorias tecnológicas devem aliar o baixo preço e a facilidade de implementação para conquistar este mercado que é carente de boas soluções tecnológicas voltadas à sua produção.

A pesquisa foi conduzida com hortaliças pois, além de serem um produto importante para a agricultura de base familiar, são produtos de ciclo curto e cujo período de testes foi inferior a 120 dias. No caso, a escolha do pepino deu-se pela familiaridade do produtor rural onde foi feito o experimento e a importância do mesmo para a comunidade local.

• **Objetivo Geral**

Testar os manejos de irrigação com Arduino, sensor Irrigas artesanal e o manejo local tradicional.

• **Objetivos específicos**

- Produzir um sistema de irrigação automática com Arduino;
- Construir um sensor Irrigas artesanal para manejo de irrigação;
- Capacitar o produtor no uso de tecnologias de manejo de irrigação;
- Produzir uma cartilha de manejo de irrigação para o produtor irrigante.

• **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

• **Irrigação**

A irrigação e a fertirrigação é a prática que permite o maior aumento de produtividade na agricultura e o Brasil é o país com maior disponibilidade de água doce do planeta. Entretanto a distribuição regional e temporal muito desigual. A irrigação utiliza cerca de 70% de toda a água retirada de mananciais no país, com uma perda estimada de 50% dessa água captada. Além da perda de água, o excesso do uso da mesma acarreta perda de nutrientes, maior incidência de pragas e impactos ambientais. Essa perda é causada principalmente pelo uso de sistemas de irrigação com baixa eficiência. Com a expansão da área irrigada na América Latina é essencial o uso racional da água. Este uso depende não só de um sistema de irrigação eficiente, mas também de uma estratégia adequada de irrigação. Deve reduzir a perda por escoamento superficial, percolação profunda e por evaporação (SOUSA *et al.*, 2011).

A irrigação é um método de manejo que traz aumento na produtividade. Mas o maior ganho é quando a irrigação é na quantidade e nos momentos adequados. A irrigação plena ao longo do ano inclusive chega a atrasar a florada do café (Fernandes et al, 2016). Logo, a irrigação em excesso traz não só aumento do custo, mas também redução na receita. O fornecimento de água deve atender somente a demanda de água da cultura repondo as perdas e por evapotranspiração.

Deve-se entender a irrigação como uma técnica que permita a um cultivar que expresse todo o seu potencial produtivo. A irrigação localizada é importante para o melhor uso dos recursos hídricos, reduzindo o consumo de água e energia. A irrigação e fertirrigação precisam de uma boa uniformidade para serem consideradas eficientes, sendo o sistema por gotejamento um com alta uniformidade de irrigação (CUNHA *et al.*, 2019).

O custo de implantação de um sistema de irrigação é alto, e nem sempre a maior produtividade física corresponde à maior receita líquida devido à complexidade da resposta da cultura à irrigação, variabilidade climática e flutuações das condições econômicas (LIMA JUNIOR *et al.*, 2012).

Vieira *et al.* (2011) instalaram diversos tipos de sistemas de irrigação em um total de 16 projetos com tamanhos de 3 a 50 ha. Verificaram o custo de instalação e de operação de cada um. O sistema de gotejamento chega a ter um custo operacional mais de 50% menor que sistemas de irrigação tradicionais. Isso se traduz em menor custo operacional para o produtor.

Vários produtos de sensoriamento remoto foram desenvolvidos para manejo de irrigação com intuito de reduzir custos operacionais. Os sensores são utilizados para obter balanço de radiação, taxa de variabilidade da evapotranspiração, produção de biomassa e uso da água, entre outros (Bezerra *et al.* 2017).

Em Parauapebas (PA) há grande quantidade de propriedades familiares rurais que vivem do cultivo de hortaliças. Lopes Filho (2011) escreve que, no âmbito do plantio de hortaliças, um dos aspectos mais importantes é o correto manejo da água a ser fornecida às plantas, o que significa não aplicar aos cultivos água insuficiente ou em excesso, pois em ambos os casos poderá haver perdas na produção e redução dos ganhos econômicos.

- **Método de irrigação localizada**

A disponibilidade de água para irrigação está declinando na maior parte do

mundo. Para continuar ou aumentar a produção é necessário utilizar formas mais eficientes quanto ao uso da água. A irrigação localizada é a mais eficiente para uso na agricultura. Neste tipo de irrigação a água é fornecida diretamente ao solo na região radicular em quantidades menores e em frequências maiores. Assim o solo é mantido próximo da capacidade de campo, reduzindo o esforço necessário para a planta retirar a água e nutrientes do solo. Este fornecimento é feito por meio de tubos perfurados, gotejadores ou microaspersores. O uso moderno da irrigação localizada é feito desde 1860 na Alemanha. Israel, desde a década de 1960 tem impulsionado o desenvolvimento desta tecnologia. Atualmente vários países adotam para diferentes tipos de cultivares, especialmente onde a disponibilidade de água é limitada. (GOYAL, 2015; SOUSA *et al.*, 2011).

Capacidade de campo (C_c) representa a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso é drenado livremente pela ação da gravidade. Representa o solo com 100% de água disponível para a planta sem excesso. Valores de umidade na capacidade de campo geralmente têm tensões matriciais da ordem de 5 a 10kPa. Os valores são usualmente determinados em laboratório (SOUSA *et al.*, 2011).

Ponto de murchamento (PMP) é a umidade do solo cuja força de adesão da água às partículas do solo é maior que a força osmótica das raízes. Nestas condições a planta não consegue mais retirar água do solo e entra em processo de murchamento. Mesmo fornecimento de água não consegue reverter a morte da planta (Penteado, 2019).

- **Irrigação por Gotejamento**

O sistema principal a ser avaliado é o de irrigação por gotejamento. Aqui a água é liberada por meio de gotejadores, e ação do gotejador nesse sistema é de dissipar a pressão da água, descarregando no ambiente uma vazão pequena e uniforme, tipicamente da ordem de 2 a 20L por hora (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009).

Difundiu-se no Brasil a partir da década de 1980, o sistema de gotejamento é particularmente utilizado em hortaliças. É muito sensível a entupimentos e, portanto, demanda filtragem da água utilizada. Por outro lado tem a menor demanda energética. (SOUSA *et al.*, 2011).

Um aspecto que pode refletir negativamente na produtividade é a baixa uniformidade na distribuição. Um sistema bem dimensionado mas que tenha baixa uniformidade irá irrigar em excesso em alguns lugares e de forma insuficiente em

outras. Além de um sistema não adaptado à condição da cultura, manutenção inadequada gera problemas de uniformidade. Os sistemas por gotejamento apresentam bons índices de uniformidade e eficiência, desde que recebam a manutenção necessária (Souza *et al.*, 2017).

- **Irrigação por Microaspersão**

Como método alternativo, tem-se o sistema por microaspersão, que é uma alternativa ao gotejamento com eficiência próxima. Neste sistema microaspersores distribuem a água por uma pequena área de interesse. Por jogarem água em uma área relativamente pequena, podem ser utilizados apenas em áreas de interesse, reduzindo o desperdício de água. Os microaspersores são peças de tamanho reduzido que distribuem a água sobre a superfície do solo na área de interesse. São mais eficientes que os sistemas por gotejamento se a área de raízes for maior. Também têm vazão tipicamente maior que a de gotejamento (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009).

Surgiu no Brasil na década de 1970, portanto antes do sistema de gotejamento. Neste tipo de irrigação recomenda-se molhar uma área equivalente entre 20 e 30% da área sombreada, sempre próximo à planta. É um pouco menos sensível ao entupimento que o gotejamento. (SOUSA *et al.*, 2011).

- **Manejo de Irrigação**

O manejo de irrigação inicia-se na definição do momento de irrigar e na quantidade de água a ser aplicada. Ele deve fornecer água em quantidade suficiente para prevenir o estresse hídrico sem desperdício, irrigando o suficiente para que a água seja armazenada no solo, onde fica não somente o reservatório de água, mas também os nutrientes e microrganismos que interagem com a planta, na camada da zona radicular e em intervalos para atender à demanda de água das plantas. A variação da umidade do solo deve ser mantida em uma faixa que favoreça a absorção de água e dos nutrientes e também a atividade microbiana. (SOUSA *et al.*, 2011).

A Evapotranspiração, ETo é um valor que mede a quantidade de água perdida pelas plantas em um determinado período para o cálculo da quantidade de água a ser fornecida por irrigação. Um dos métodos mais aceitos é o de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO e, portanto, com aceitação mundial. Rodrigues, Nery e Albuquerque (2013) avaliaram três métodos para a região de Castanhal-PA e identificou o método de Camargo (equação 1) como o mais adequado.

$$ET_o = Q_o.T_m.K \quad ()$$

Em que:

Q_o = Radiação Solar em Equivalente de Evaporação (mm dia^{-1})

T_m = Temperatura Média ($^{\circ}\text{C}$)

K = Fator de ajuste em função da T_m anual ($^{\circ}\text{C}$).

Neste caso, a lâmina de irrigação para o período desejado é o valor perdido por evapotranspiração para o intervalo entre duas irrigações. Este intervalo é denominado Turno de Rega (TR).

O intervalo entre duas irrigações no mesmo local, denominado turno de rega pode ser calculado em função das perdas de água por parte da planta, chamada de ET_c (Evapotranspiração da cultura), conforme a equação 2 (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009).

()

Onde:

TR: Turno de Rega;

C_c : Capacidade de campo;

P_m : Ponto de Murcha;

D_a : Densidade aparente do solo (g cm^{-3});

Z = Profundidade Efetiva do Sistema Radicular (cm);

f = fator de disponibilidade hídrica (decimal, 0,2 0,8).

Outra forma de planejar a irrigação é com a chamada irrigação sob demanda. Segundo Reddy (2010), irrigação sob demanda dá flexibilidade ao produtor pois a água é fornecida somente quando necessário e somente na quantidade adequada. Para isto vários parâmetros ambientais devem ser levados em consideração, tais como condições climáticas, condições socioeconômicas do produtor, tipo e posição da fonte de água, entre outros.

Um dos parâmetros é o de saturação do solo. Esta condição ocorre quando todos os poros são preenchidos por água. Quando parte dessa água é drenada ou absorvida pela planta, os espaços são então preenchidos por ar. O solo agrícola tem disponibilidade de água e também poros preenchidos por ar (LIBARDI, 2012).

Com turnos de rega mais curtos e a irrigação deixando a disponibilidade de água sempre próxima à capacidade de campo, evita-se que a cultura esteja com o solo próximo ao Ponto de Murcha (P_m). Nesta condição a planta não tem capacidade de

retirar água do solo (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009, p. 57).

O manejo racional da irrigação tem como fundamento a conservação das qualidades do solo e o uso adequado da água. A lâmina de irrigação é suficiente para evitar o estresse hídrico mas sem excesso, que desperdiça água e recursos necessários para leva-la ao local, tal como energia ou combustível para o bombeamento, além da irrigação nos momentos adequados. Ressalta-se que há vários problemas ocasionados por excesso de água (PENTEADO, 2019).

Calzadilla, Rehdanz e Tol (2011) simularam diferentes níveis de eficiência para os sistemas de irrigação e verificaram potencial redução de preços com o aumento da mesma para os países em desenvolvimento. Ou seja, a qualidade de vida melhora ao reduzir o desperdício de água agricultura. Além disso, em locais com disponibilidade limitada de água, novos produtores podem ter acesso a este recurso.

Verde e Fernandes, (2010) estudaram os rios que atendem à cidade de Paracatu-MG e verificaram a redução na vazão da água dos rios e o aumento na quantidade de poluentes devido às atividades mineradora e agropecuária, incluindo elementos bastante tóxicos, como o Arsênio. Neste caso várias cidades rio abaixo ficaram com restrições para captação de água dos rios prejudicando populações inteiras. Um sistema de manejo adequado reduzirá o desperdício de água, aumentando a disponibilidade para as comunidades que competem no uso deste recurso com os produtores agrícolas.

Nos Estados Unidos foi desenvolvido uma técnica de irrigação onde os turnos de rega são definidos com base em dados meteorológicos chamada de Arkansas Irrigation Scheduler (AIS, em tradução para o português Agendador de Irrigação do Arkansas). Este método foi desenvolvido entre as décadas de 1970 e 1980 e tem sido largamente utilizado desde então. Ele utiliza dados meteorológicos para calcular a entrada de água por meio de precipitação e irrigação e as perdas por evapotranspiração, drenagem superficial e percolação. Com esses dados calcula-se a demanda de irrigação para a cultura (SUI & VORIES, 2018).

Uma técnica mais moderna desenvolvida também nos Estados Unidos é irrigation scheduling supervisory control and data acquisition (ISSCADA, em tradução para o português, controle supervisorio e aquisição de dados para agendamento de irrigação) que é composto de um sistema eletrônico com programa desenvolvido para controlar a irrigação. Em testes para várias condições climáticas, o ISSCADA teve desempenho similar ou superior ao AIS para eficiência no uso de água. O teste foi realizado em Florence, SC; Portageville, MO, ambas com clima subtropical úmido, e

em Bushland, TX, que tem clima semi-árido (O'SHAUGHNESSY *et al.*, 2018).

- **Sensores para manejo de irrigação**

Os tensiômetros são sensores práticos que medem a pressão necessária para retirar água do solo. É construído com um tubo de PVC, uma ponta com material poroso e um medidor de pressão. Eles operam em temperaturas acima do ponto de congelamento da água, sendo, portanto, ideais para a maior parte do Brasil. (KANDELOUS, MORADI e HOPMANS, 2015; PARDOSSI *et al.*, 2009).

Sensores de resistência elétrica são sensores onde eletrodos são inseridos no solo para medir a resistência elétrica. Ao serem inseridos no solo, estes tendem a atingir equilíbrio com a água do solo e a medição de resistência elétrica pode ser convertida em medição de umidade do solo. Quanto maior a resistência, mais seco está o solo. Estes sensores são muito baratos, não necessitam de manutenção e têm faixa de operação muito ampla. Entretanto eles têm um tempo de reação muito lento e não funcionam bem em todos os tipos de solo. Solos arenosos são especialmente ruins para este tipo de sensor. Outro problema comum é a alteração na salinidade do solo que reduz a resistência para uma mesma umidade (PARDOSSI *et al.*, 2009).

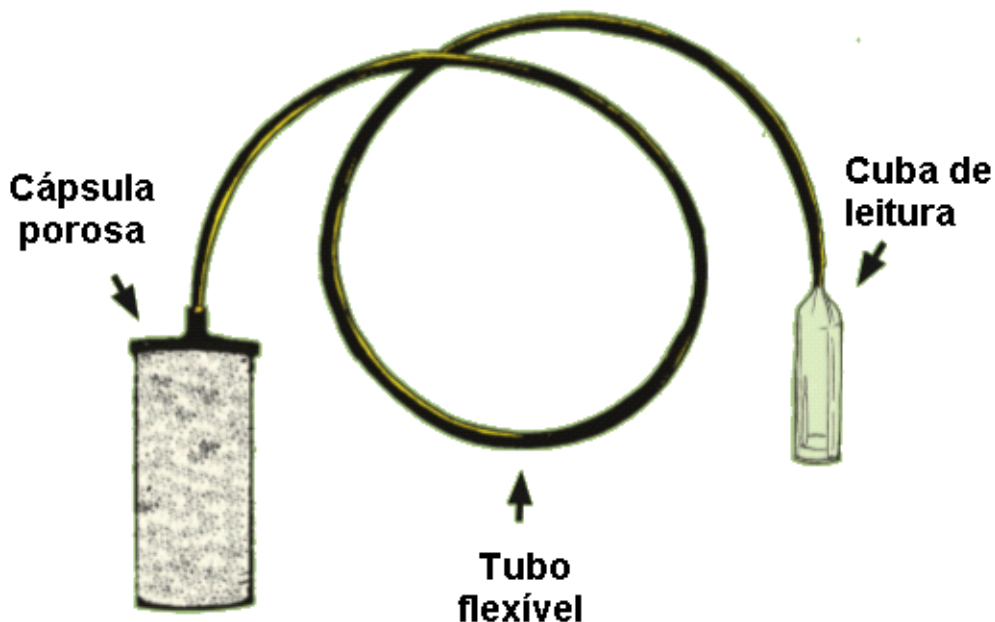
Sensores dielétricos induzem corrente alternada no solo. Ao medir as tensões e correntes elétricas um valor de impedância complexa pode ser medido e assim convertido a umidade do solo. Vários tipos de sensores dielétricos estão disponíveis e o programa pode utilizar diferentes técnicas para fazer a leitura do solo. Normalmente faz-se uma leitura da permissividade elétrica do solo para produzir um valor de umidade relativa. Além de serem mais caros e mais complexos de se implementar que os sensores de resistência elétrica, os sensores dielétricos são ruins para solos heterogêneos ou com teor de rochas. Por outro lado, alguns têm grande repetitividade e são menos sensíveis às variações de salinidade do solo (PARDOSSI *et al.*, 2009).

- **Manejo com uso do equipamento IRRIGAS**

O Irrigas é um equipamento simples desenvolvido pela EMBRAPA para auxiliar o agricultor a avaliar se o solo está seco ou úmido de forma a irrigar na quantidade adequada, evitando que a cultura fique com baixa disponibilidade de água ou que a irrigação seja feita em excesso. Este sensor (Figura 1) é disponível com três tipos de cápsulas porosas, para 10 kPa (= 0,10 bar), para 25 kPa (= 0,25 bar) e outro para 40 kPa (= 0,40 bar). Sensores para menor pressão são mais adequados para solos arenosos

(retém menos água) e/ou culturas com baixa tolerância à falta de água no solo. Os sensores para maior pressão são mais adequados a solos mais argilosos (retém mais água) e/ou culturas que toleram solo com menor umidade (MAROUELLI *et al.*, 2015).

Figura - Sistema Irrigas



Fonte: MAROUELLI *et al.*, (2015)

De posse do sensor adequado, instala-se um próximo ao sistema radicular da planta e outro abaixo do sistema radicular. Pode-se começar a medir se o solo tem umidade adequada algumas horas após a instalação (tempo necessário para se estabelecer o equilíbrio hidrológico). O sensor de cima indica o momento em que é necessário fazer a irrigação, quando este estiver poroso e indicar que a quantidade de água no solo é insuficiente. O momento de parar a irrigação é avaliado com o sensor de baixo, quando este indicar que a pressão voltou ao ponto adequado significa que todo o solo acima dele está com a umidade adequada e qualquer quantidade a mais será perdida para as camadas inferiores. (MAROUELLI *et al.*, 2015).

- **Manejo com uso do Arduino**

Arduino

Segundo Melo (2012), Arduino é uma plataforma de computação física (são sistemas digitais ligados a sensores e atuadores, que permitem construir sistemas que percebam a realidade e respondem com ações físicas), baseada em uma simples placa de Entrada/Saída microcontrolada e desenvolvida sobre uma biblioteca que simplifica a escrita da programação em C/C++. O Arduino pode ser usado para desenvolver artefatos

interativos stand-alone ou conectados ao computador através de Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data ou SuperCollider. . Na Figura 2 tem-se a foto do Arduino Mega. Suas especificações podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela - Especificações do Arduino Mega

Microcontrolador	ATmega2560
Tensão de operação	5V
Tensão de entrada recomendada	7-12V
Tensão limite de entrada	6-20V
Pinos de entrada/saída digitais	54 (15 com saída PWM)
Pinos de entrada analógica	16
Corrente CC por pino E/S	20 mA
Corrente CC para 3,3V	50 mA
Memória flash	256 KB sendo 8 KB usada pelo bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock	16 MHz
Pino do led interno	13
Comprimento	101.52 mm
Largura	53.3 mm
Peso	37 g

Fonte: Arduino (2019)

Figura - Arduino Mega

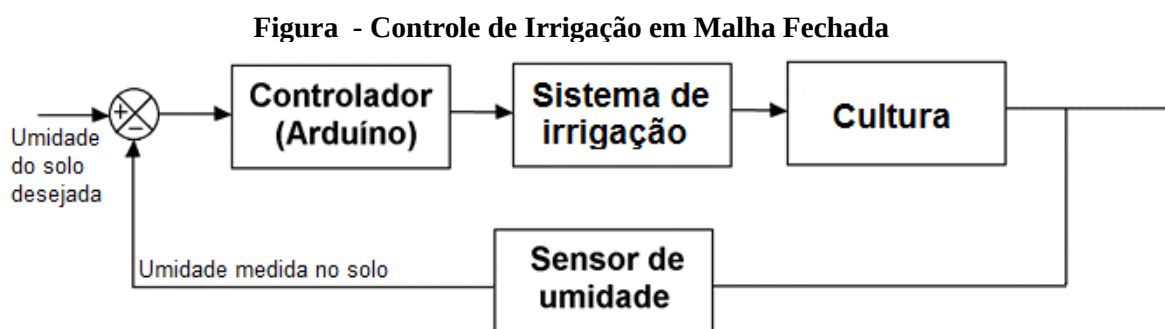
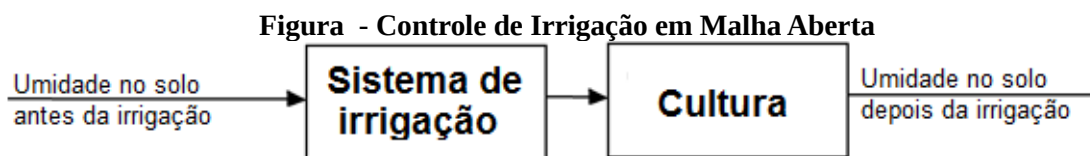


Fonte: Arduino (2019)

Esta versão do Arduino tem maior quantidade de pinos e é ideal para quem precisa utilizar muitos periféricos, tais como visor de LCD ou Display de 7 segmentos e vários sensores e atuadores já que as versões mais básicas têm quantidade muito menor de pinos para uso. Para projetos mais simples as versões mais baratas podem realizar o trabalho.

Os sistemas habituais de controle de irrigação são do tipo malha aberta, conforme Figura 3, onde a irrigação é feita a partir de valores estimados de entrada e saída de água. Segundo Ogata (2011), são sistemas que funcionam muito bem há muitos anos quando bem dimensionados e planejados corretamente, porém, sem retroalimentação, perturbações nos mesmos tendem a afetar o desempenho.

Por outro lado, há anos setores da indústria adotam sistemas de controle em malha fechada (Figura 4), que segundo Ogata (2011), utilizam sensores para se determinar quanto e/ou quando o atuador irá atuar no sistema a ser controlado. Este tipo de controle normalmente oferece maior produtividade e menor custo de operação em relação ao malha aberta, embora o custo de implantação seja superior.



O uso de sistemas de controle em malha fechada obteve resultados positivos de produtividade e eficiência no uso da água comparado com sistemas baseados em informações atmosféricas. O ISSCADA foi adaptado para cada cultivar e condição climática do local instalado obtendo produtividade e eficiência no uso de água iguais ou superiores ao AIS. (O'SHAUGHNESSY *et al.*, 2018).

• Cultura do Pepino

A produção de hortaliças sem uso de produtos químicos sintéticos é uma atividade em crescimento no mundo. E ela é bem adaptada a propriedades de gestão familiar, com mão-de-obra própria. O crescimento do consumo de alimentos sem estes produtos químicos é um incentivo para as propriedades de tamanho reduzido que podem fazê-lo com uma diversidade maior de cultivares (NETTO, 2019).

O pepino (*Cucumis sativus* L.), uma hortaliça da família *Cucurbitaceae* com vários cultivares e híbridos de vários tamanhos e formatos, tem preferência por climas quentes e se adapta bem a produção em ambientes protegidos. As variedades híbridas funcionam bem e têm grande produtividade mesmo na ausência de insetos polinizadores

(SEDIYAMA *et al.*, 2012a).

O Pepino é uma hortaliça de grande importância para o setor produtivo no Brasil. De grande importância alimentar, econômica e social a cadeia desta cultura gera muitos empregos, desde a produção até a comercialização. A região norte, entretanto, é responsável por apenas 3,59% da produção nacional de 215 mil toneladas por ano. Os autores continuam destacando que 95% da composição do fruto comercializado é de água. A planta se adapta bem a temperaturas altas, tipicamente entre 20 °C e 30 °C. A implantação da cultura pode ser feita de forma rasteira ou tutorada, aceitando tanto plantio direto como transplante de mudas. Os autores sugerem o cultivo tutorado com linhas espaçadas em 1,0m e espaçamento entre covas de 0,3 a 0,4m para uso industrial ou rasteiro com espaçamento de 1,5x1,0m para o pepino consumido in natura. Dado que é uma cultura muito suscetível ao déficit hídrico, recomenda-se um bom manejo de irrigação. Neste caso a recomendação é de um sistema de gotejamento para reduzir a incidência de doenças foliares (CARVALHO *et al.*, 2013).

O manejo do pepino japonês com crescimento livre, sem a retirada de brotações laterais, que é a condução mais utilizada em produção de pepino para ambiente protegido, apresentou o melhor desempenho para o número de frutos totais e comerciais, em relação a outros tratamentos com poda (SANTI *et al.*, 2013).

O pepino é um cultivar muito dependente de um bom manejo de água. No cultivo no solo a definição do turno de rega é essencial para que não haja estresse hídrico. O solo com umidade adequada em fases críticas para a planta otimiza os processos metabólicos e aumenta a efetividade da adubação. O manejo de irrigação para pepino com tensiômetros obteve produtividade e qualidade dos frutos semelhantes ao cultivo hidropônico (Donato Buttaró *et al.*, 2015).

• **Tecnologias na agricultura familiar**

A agricultura familiar é muito importante na produção de alimentos consumidos no Brasil, entretanto há uma grande diferença tecnológica entre setores produtivos diferentes. O produtor familiar, que geralmente tem propriedades de tamanho reduzido e baixo poder aquisitivo, raramente tem acesso a tecnologias modernas por serem de maior custo aquisitivo. Comumente o manejo de irrigação é manual e desperdiça água. Este desperdício, além de aumentar o custo de produção por aumentar o custo de captação da água, causa perda de fertilizantes, doenças nas raízes das plantas e

salinização do solo. Os sistemas de irrigação automatizada atuais são fechados e difíceis de adaptar a situações mais específicas. Enquanto grandes produtores têm acesso a dispositivos que incluem monitoramento remoto, as soluções voltadas a propriedades de menor tamanho são limitadas e controlam poucas variáveis (Guimarães, 2011).

A EMBRAPA tem uma unidade de pesquisa chamada Embrapa Informática Agropecuária que viabiliza soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação em Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para agricultura. Em particular, a organização desenvolveu um documento chamado “Visão 2014–2034: O Futuro do Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Brasileira” que classifica a agricultura familiar e a produção orgânica e agroecológica foram classificados como temas transversais, e citando a importância da agricultura familiar na produção para os próximos anos (Massruhá e Leite, 2016).

A inserção de tecnologia na agricultura familiar precisa mensurar várias situações, como solo, clima, recursos hídricos, entre outros, o que acaba criando custos altos para a baixa escala da produção. Com isso o mais comum é que a produção neste tipo de propriedade seja manual, com má distribuição de recursos hídricos causando perda na produtividade. Por outro lado sistemas embarcados têm ficado cada vez mais baratos e mais simples de implementar. O Arduino auxiliará o pequeno produtor mensurar todos os parâmetros de uma irrigação adequadamente e com valores precisos, consequentemente o desperdício de água, energia e produção serão evitados (Cunha e Rocha, 2015).

- **METODOLOGIA**

- **Caracterização da área**

Procedimentos Técnicos da Pesquisa

O experimento foi realizado na propriedade do produtor rural Francisco Mendes, localizado na área rural de Parauapebas, com coordenadas GPS -6,012469, -49,911637. Na revisão de Peel, Finlayson e McMahon (2007), da classificação de Köppen & Geiger, o clima é classificado como Aw, ou seja, tropical com chuvas de verão. Já a precipitação anual média é de 1837mm (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010). Na Figura 5 pode-se ver em vermelho a área do plantio. O solo da área é do tipo Latossolo Vermelho, argiloso (CORRÊA *et al.*, 2016).

Figura - Área do plantio



Antes de se iniciar o plantio, foi construída uma casa de vegetação para o experimento, já que o período era de chuvas e desejava-se o mínimo de interferência o possível nos tratamentos cujo objetivo foi comparar diferentes manejos de irrigação. Além da limpeza da área, foi erguida a casa de vegetação e a preparação dos canteiros onde foi feito o experimento (Figura 6 a Figura 8).

O manejo utilizado foi o de crescimento livre, sem poda e sem tutoramento, pois é o adotado pelo produtor onde a pesquisa foi feita, além de ser o método de melhor produtividade para cultivo protegido de pepino, segundo Sedyama et al. (2012a).

Figura - Área sendo preparada para construir a casa de vegetação



Figura - Casa de vegetação construída



Figura - Canteiros preparados



- **Atributos físico-hídricos do solo**

Após a preparação dos canteiros foi feita a adubação orgânica com húmus de minhoca a 2 kg por m² (1 kg para a primeira tentativa de plantio e mais 1 kg para a segunda tentativa). Após a adubação, quatro amostras do solo foram coletadas para análise em laboratório. Os valores obtidos são vistos na Tabela 2.

Tabela - Análise físico-hídrica do solo

Amostra	Ug T60 cm (g g ⁻¹)	Uv T60cm (cm ³ cm ⁻³)	Ug Saturada (g g ⁻¹)	Uv Saturada (cm ³ cm ⁻³)	ds (g cm ⁻³)
1	0,35	0,35	0,66	0,66	1,00
2	0,36	0,37	0,64	0,66	1,02
3	0,34	0,36	0,61	0,65	1,07
4	0,35	0,36	0,64	0,66	1,03
Média	0,35	0,36	0,64	0,66	1,03
Granulometria (textura)					

Argila (g Kg ⁻¹)	Areia Grossa (g Kg ⁻¹)	Areia Fina (g Kg ⁻¹)	Areia Total (g Kg ⁻¹)	Silte (g Kg ⁻¹)	Classe textural
548,5	95,0	155,0	250	201,5	Argilosa

Fonte: Laboratório de solos do colégio técnico de Teresina. **Métodos:** mesa de tensão (umidade), método do densímetro (densidade) e método da pipeta (textura) (EMBRAPA, 2017)

Retenção hídrica do solo

A capacidade de campo (Cc) foi determinada pelo método da mesa de tensão cuja umidade foi determinada pelo método padrão da estufa. Conforme tabela 2, trata-se de um solo argiloso com densidade (ds) de 1,03 g cm⁻³ e Cc) de 0,36 cm³ cm⁻³. O valor da Cc foi correlacionado com o sensor de resistividade do Arduino em que encontrou-se 71% na sua escala de condutividade, representando assim a Cc.

Também foi feita a relação da resistividade com o solo seco em estufa, de modo que encontrou-se 48 % na escala de condutividade, respectivamente. Assim adotou-se o valor intermediário, 60% na escala, como o ponto de murchamento.

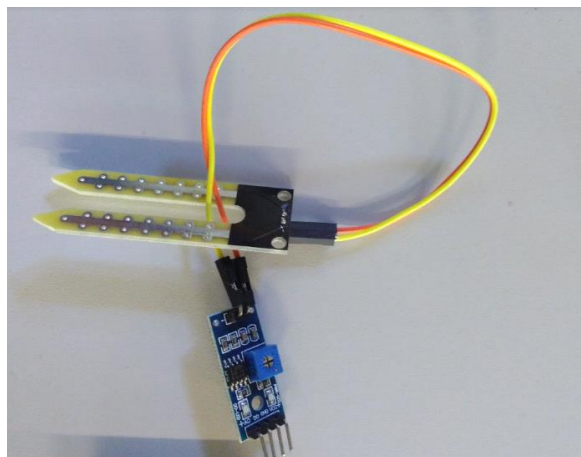
Por medida de segurança, caso houvesse falta de água ou energia durante os períodos de irrigação, ambos os controladores receberam uma rotina extra para irrigar em quaisquer condições caso o sensor registrasse valores inferiores a 66% de sua escala, ou seja, 50% da diferença entre Cc e Pm. Caso o valor de umidade, por qualquer motivo, atingisse este valor crítico o controlador iria fornecer água e evitar estresse hídrico da cultura. Esta condição não foi verificada em campo não tendo os Arduinos acionado os sistemas de irrigação nenhuma vez fora dos horários programados.

- **Materiais utilizados**

- **Sensores de resistividade elétrica do solo**

Foram utilizados dois tipos de sensores para o experimento. O Irrigas construído em casa com vela de filtro, mangueiras plásticas e copo com água. O sensor de umidade do solo do tipo resistivo (Figura 9). Cabe ressaltar que ele mede, como diz o nome, a resistência do solo à passagem de corrente elétrica. Quanto maior a umidade, maior a corrente e, portanto, menor a resistência.

Figura - Sensor de umidade do solo tipo resistivo

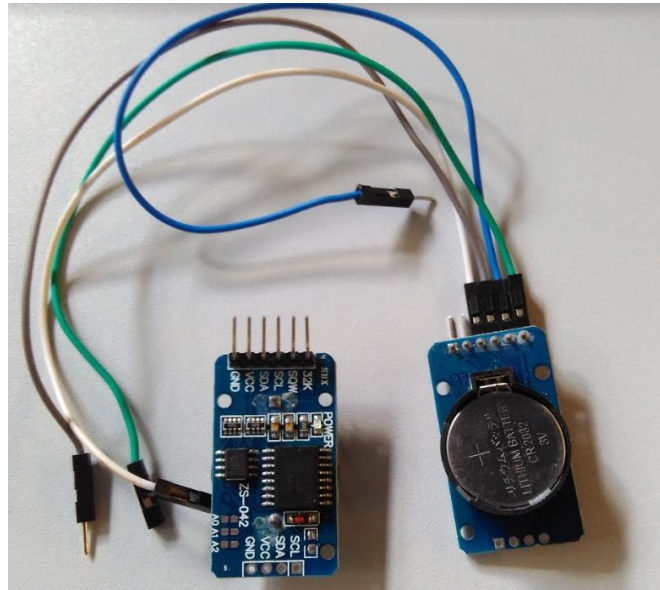


Para calibrar o sensor de umidade do solo foi feito um experimento para determinar os valores de funcionamento no programa. O solo foi saturado e deixado coberto com plástico por período de 24h, quando foi feita a leitura do sensor encontrando o valor de 71% para Cc. Posteriormente deixou-se a mesma em estufa por 72h para determinar a leitura do sensor para solo seco, encontrando o valor de 48%. Com base nestes valores e nos dados obtidos em ensaio de laboratório foi possível determinar os pontos ideais para irrigação, no caso 71% da escala do sensor para a máxima umidade do solo após irrigação e 60% da escala como o mínimo de umidade aceitável para o solo.

- **Relógio em tempo real**

Para a irrigação em determinados horários foi utilizado um módulo chamado Real Time Clock (RTC), em tradução livre, Relógio em tempo real (Figura 10). Este módulo possui um componente com um relógio que, quando falta energia elétrica, é alimentado por uma bateria. Os dados são armazenados em uma memória não volátil (que não apaga quando falta energia). Com os dados deste módulo o microcontrolador pode ler o horário e atuar somente quando foi programado para fazê-lo. Para cada controlador foi acoplado um destes módulos.

Figura - Relógio em Tempo Real (RTC)



- **Válvula de controle**

O controle da irrigação pelo microcontrolador foi feito com a ajuda de válvulas de água (Figura 11) controladas eletricamente que são abertas ao receberem a tensão elétrica de 127V. O fabricante fornece com conexões em $\frac{3}{4}$ " ou $\frac{1}{2}$ ", sendo a última a utilizada neste experimento. A saída de rosca permitiu encontrar facilmente no mercado local as conexões necessárias para o uso das mangueiras de irrigação.

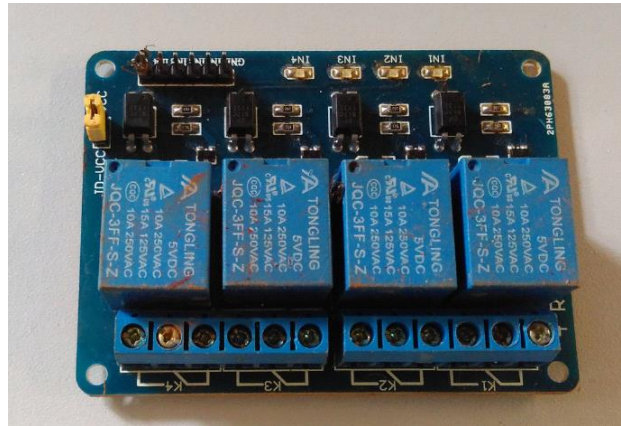
Figura - Válvula de controle



- **Módulo Relé**

Como o microcontrolador utiliza tensão de 3,3 a 5V e correntes baixas, conforme já visto, utilizou-se um módulo relé que permite ao Arduino ligar as válvulas elétricas que funcionam com 127V. O modelo utilizado no experimento pode controlar até quatro dispositivos simultaneamente, mas há versões para um, dois ou oito (Figura 12).

Figura - Módulo Relé



- **Sensor Irrigas artesanal**

Para o experimento foi construído um sensor Irrigas (Figura 13) com materiais comprados no comércio local. Neste caso uma vela de filtro com porosidade de 15 a 30 μ m, uma mangueira com 15 mm de diâmetro e uma seringa. A montagem é feita dentro da água e, para conexão tanto na extremidade da vela quanto da seringa, utilizou-se silicone para garantir a vedação.

Figura - Componentes do Irrigas artesanal



O sensor é vendido de forma industrial também. O preço em sites na internet para junho de 2019 era de cerca de R\$ 75,00 mais o frete de cerca de R\$ 55,00 (AGROCLIQUE, 2019). Em lojas de Parauapebas não foi encontrado a venda. Ele é disponível já em valores de pressão, no caso 15, 25 ou 40 kPa. Além de ser mais robusto e confiável, o Irrigas industrial vem com uma pequena esfera dentro do cilindro que facilita a leitura. A Figura 14 ilustra um exemplo deste sensor.

Figura - Irrigas Industrial



Fonte: Agroclique (2019)

- **Instalação das Tecnologias e Delineamento Experimental**

Foi feita uma adubação orgânica com húmus de minhoca na proporção de $1,0 \text{ kg m}^{-2}$ no dia 28 de janeiro de 2019 para a primeira tentativa de cultivo. Com a falha desta primeira tentativa, nova adubação foi realizada em 14 de fevereiro com mais $1,0 \text{ kg m}^{-2}$ para o plantio do pepino.

O plantio foi feito no dia 27 de fevereiro de 2019. Por se tratar do período chuvoso na região, construiu-se uma casa de vegetação com $6\text{m} \times 15\text{m}$, onde foram feitos os canteiros para plantio do pepino.

As covas foram feitas com 2cm de profundidade e em cada uma foi colocado um total de 3 sementes da variedade “Pepino Híbrido Lafayette F1”. Aos 14 dias após o plantio-DAP, nas covas onde haviam 3 plantas, foi realizado o desbaste de modo a deixar todas as covas com 2 plantas. Em cada canteiro foi plantado um par extra de plantas, assim as plantas parcelares sempre ficaram em pares (as covas com somente uma planta ficaram nas bordas).

A retirada das plantas espontâneas foi feita duas vezes por semana de forma manual. Não houve uso de adubo químico ou de herbicidas ou pesticidas químicos. As únicas intervenções foram duas aplicações de uma receita de detergente neutro com leite (proporção de 1,0 L de detergente para cada 2,0 L de leite) aos 17 DAP e 36 DAP, além de nova adubação com $0,5 \text{ kg m}^{-2}$ realizada aos 31 DAP.

Foi feita irrigação manualmente até os 21 DAP, com a lâmina de 5mm por dia para todos os tratamentos. A diferenciação foi feita somente após esta data. A partir daí foram instalados os controladores de irrigação, os sensores do Irrigas e as mangueiras de irrigação por gotejamento. Na Figura 15 consta a casualização dos tratamentos bem como as plantas parcelares e de bordadura.

Figura - Distribuição das tecnologias por canteiro

Manual	Irrigas	Arduino 1	Arduino 2	
B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	1 m
1m	1m	1m	1m	

Arduino 1	Manual	Arduino 2	Irrigas	
B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	1 m
1m	1m	1m	1m	

Irrigas	Arduino 2	Manual	Arduino 1	
B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	1 m
1m	1m	1m	1m	

Arduino 1	Manual	Arduino 2	Irrigas	
B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	1 m
1m	1m	1m	1m	

Arduino 2	Arduino 1	Irrigas	Manual	
B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	1 m
1m	1m	1m	1m	

Irrigas	Arduino 2	Arduino 1	Manual	
B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	B A B B A B	1 m
1m	1m	1m	1m	

Legenda:

A –Plantas parcelares

B – Plantas de bordadura

Manual – Irrigação manual

Irrigas – Manejo da irrigação feita com o sensor Irrigas

Arduino 1 – Manejo da irrigação automática controlada pelo Arduino feita 1x ao dia

Arduino 2 – Manejo da irrigação automática controlada pelo Arduino feita 2x ao dia

Foi adotado delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos (tecnologias) e 6 repetições, totalizando 24 parcelas. Segue a descrição das 4 tecnologias.

1 – Sistema tradicional local: Irrigação manual e diária com 5mm de água por dia, até a floração, a partir desta fase são fornecidos 10 mm por dia.

2 – Irrigas: O manejo da irrigação foi manual, sendo feita utilizando o equipamento Irrigas para a quantidade de irrigação.

3 – Arduino uma vez ao dia: Um controlador de irrigação foi programado para irrigar até a Cc do solo uma vez ao dia, às 5:00h da manhã.

4 – Arduino duas vezes ao dia: Um controlador de irrigação foi programado para irrigar até a Cc do solo duas vezes ao dia, às 5:00h da manhã e às 18:00.

No caso dos sensores do Arduino e do Irrigas, estes foram instalados no centro da parcela, a uma profundidade também de 10cm que representa a profundidade da maior parte do sistema radicular da cultura. Nesta condição, o sensor de resistividade do solo não era submetido diretamente à água do gotejador.

- **Variáveis avaliadas**

Foram consideradas as variáveis número total de frutos por planta, altura da planta, peso total de frutos colhidos por planta e período de produção das plantas. Com os valores obtidos estimaram-se o peso médio e a produtividade (kg/m²).

- **Produção da cartilha**

Após a conclusão da etapa de pesquisa, foi produzida uma cartilha com as orientações para que um produtor rural, mesmo sem o ensino médio concluído, possa implementar com pouca ou nenhuma ajuda as técnicas aqui testadas.

A cartilha ilustrada contém as etapas e informações mais importantes (Anexo 4). Ao final do projeto ela deve ser disponibilizada para a prefeitura e/ou outros órgãos de apoio ao produtor rural para reprodução e distribuição gratuita.

- **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

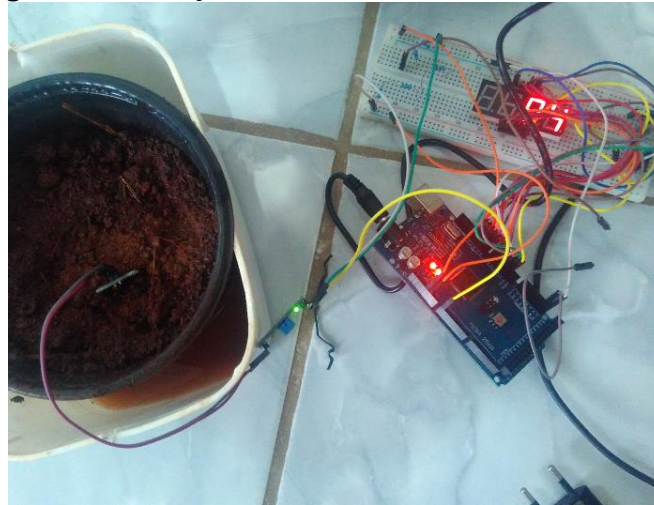
Dado o uso de uma casa de vegetação a precipitação atmosférica não teve interferência no experimento. Naturalmente o mesmo não pode ser dito para luminosidade e temperatura mas, como as condições foram iguais para todos os tratamentos isto não deve ter interferido no resultado final.

- **Desempenho do Arduino com sensores de resistividade do solo**

O manejo de irrigação por microcontrolador precisa de sensores confiáveis para que o funcionamento seja adequado. Um ponto importante foi diferença de medição entre unidades diferentes do mesmo modelo de sensor. Para as mesmas condições a

medição de cada um chegou a variar cerca de 5% o que tornou necessária a calibração de cada unidade individual antes do teste em campo (Figura 18).

Figura - Calibração dos sensores de resistividade do solo



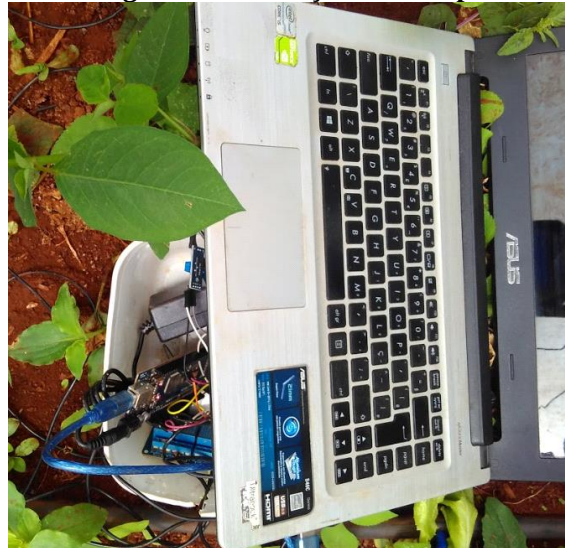
Além disso, ao longo do experimento, verificou-se que o ponto em que o controlador parava a irrigação começou a ser cada vez mais cedo, ficando os tratamentos controlados pelo Arduino com menos água. Como a água da região não tem problemas de salinidade e o experimento durou apenas 3 meses, a característica que deve ter influenciado no desempenho do sensor de umidade é a porosidade do solo, pois o solo foi revolvido, causando descompactação e, em cada ciclo de irrigação o solo se acomoda e as partículas do solo ficam mais próximas umas das outras, tornando a condução elétrica mais fácil. Com isso o sensor lia valores de resistividade do solo cada vez menores levando o controlador a ler um valor de umidade maior que o real no solo. Em ciclos mais longos o efeito pode ser consideravelmente negativo, assim recomenda-se irrigar o solo previamente por algum tempo de modo a criar essa acomodação do solo antes de calibrar o sensor para evitar este efeito.

Este sensor, portanto, deve ser utilizado com várias ressalvas para projetos que demandam qualidade e precisão no uso. Para projetos de baixo custo ou projetos onde pequenas variações na medição não são críticas, entretanto, ele é viável por seu baixo custo, facilidade de aquisição e implementação, além do uso reduzido de água evitando desperdício de água e, consequentemente, dinheiro gasto com o bombeamento da mesma e ainda dos efeitos negativos do excesso de irrigação.

Cada sensor a ser utilizado foi submetido ao teste de C_c do solo para avaliar o valor medido para esta condição do solo. Após esta etapa houve nova avaliação *in loco*

antes de iniciar o sistema de irrigação automático. Na Figura 19 pode-se ver o processo de avaliação e calibração do sensor em campo e na Figura 20 pode-se ver a o sensor instalado em campo numa caixa com os componentes.

Figura - Calibração em campo



Conforme visto, o custo total do sistema Arduino, incluindo mangueiras e conexões hidráulicas foi de R\$ 459,00 para o controlador mais caro, que é o Arduino Mega. O detalhamento pode ser visto na Tabela 3. A instalação foi feita em uma caixa de PVC resistente às condições de altas temperatura, incidência de luz solar e umidade.

A grande vantagem do sistema controlado pelo Arduino é a não necessidade de uso da mão de obra do produtor para a irrigação.

Figura - Arduino instalado em campo



Tabela 3 - Lista de materiais do controlador com Arduino

Item	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo (R\$)
Arduino Mega	1	60,00	60,00
Módulo Relé	1	20,00	20,00
Fonte 9V	1	20,00	20,00
Protoboard+jumpers	1	40,00	40,00
Sensor de resistividade do solo	2	12,00	24,00
Válvula	1	50,00	50,00
RTC	1	20,00	20,00
Conexões hidráulicas	1	25,00	25,00
Mangueira de 100 m	1	2,00	200,00
Total			459,00

- **Desempenho do irrigas**

O Irrigas artesanal construído para o projeto, por outro lado, se mostrou confiável e eficiente. Por se tratar de um sistema de baixo custo, mesmo o irrigas comercial pode ser obtido por menos de R\$ 200,00 para dois sensores e o frete (é a configuração recomendável) sendo, portanto, acessível a muitos produtores de baixa renda. Em sua versão artesanal o custo total dos materiais para produzi-lo ficou abaixo de R\$ 60,00. Na Tabela 4 consta a lista de material adquirido e os respectivos custos.

Como a irrigação utilizando o Irrigas ainda é manual, foi contabilizado o tempo para este tratamento. No caso, cada canteiro com 1,0m² levou cerca de 3 minutos utilizando um regador. Como cada tratamento tinha seis repetições de 1,5m², o tempo médio gasto em irrigação para este foi de 27 minutos. Importante lembrar que esse tempo é médio já que o fornecimento de água não foi igual em períodos diferentes.

Tabela 4 - Lista de materiais do Irrigas artesanal

Item	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo (R\$)
Vela de Filtro	2	5,00	10,00
Mangueira de nível	2	10,00	20,00
Seringa	2	3,00	6,00
Silicone Acético	1	20,00	20,00
Total			56,00

- **Desempenho do sistema tradicional**

O sistema tradicional foi irrigado diariamente com regador de 5 L onde cada canteiro recebeu 5,0 L de água por m² (5,0mm) até a floração, após esta data passou a ser fornecido 10,0 L por m² (10,0mm). O tempo médio de irrigação para cada canteiro foi de 2 minutos até a floração e 4 minutos após este período. A produtividade por área este tratamento foi a base de comparação com as demais deste trabalho.

- **Algumas ocorrências durante o experimento**

Ao todo foram utilizadas 3 unidades do Arduino Mega, as quais funcionaram ininterruptamente desde os 22 DAP, (dia 20 de março de 2019) até a data de encerramento do experimento, aos 66 DAP. Antes do experimento ser colocado em prática, esta mesma configuração foi testada em ambiente não protegido ficando submetido a temperaturas ambiente elevadas e, inclusive, dias de precipitação atmosférica acima de 10 mm, sem qualquer interrupção no funcionamento (Figura 21).

Durante este teste a porteira do local foi danificada e bovinos entraram na área, causando considerável estrago, danificando sensores, fios de alimentação elétrica, a fonte de alimentação e as mangueiras expondo os componentes eletrônicos ao sol e chuva. A placa do Arduino, a válvula e o Módulo Relé, entretanto, foram limpos e utilizados posteriormente no experimento sem qualquer problema. A válvula e o sensor de umidade eram os únicos a não ficarem protegidos dentro da caixa utilizada e, portanto, ficando expostas às variadas condições climáticas.

Durante o experimento, uma válvula, a do evento anteriormente citado, apresentou problema de vedação e precisou ser substituída. Todas as demais, entretanto, funcionaram adequadamente, permitindo a passagem de água sempre que eram acionadas e vedando adequadamente quando não solicitadas. Nesta etapa, já que o experimento foi feito dentro de uma casa de vegetação, as válvulas não ficaram expostas à chuva.

Figura - Arduino em campo



Por fim cabe informar que as repetições 4 e 5 de todos os tratamentos sofreram em maior grau com formigas e insetos que reduziram a área foliar e, conseqüentemente, o crescimento e desenvolvimento das plantas. Isso verifica-se pois a altura média dos tratamentos 4 e 5 foi menor que a metade da altura média dos demais tratamentos.

- **Análise estatística dos dados**

Os dados obtidos no experimento foram compilados em uma planilha eletrônica e esses valores foram organizados para posterior análise através do programa ASSISTAT a nível de 5% de probabilidade

Com exceção da altura das plantas, o restante dos testes foi positivo para o teste de normalidade para os principais testes, a citar, Kolmogorov-Smirnov, Cramér-von Mises, Anderson-Darling, Kuiper, Watson e Lilliefors, todos para alfa igual a 5%. Nenhuma das transformações padrão surtiu efeito nos dados da altura.

As principais variáveis para os produtores de pepino são a quantidade e peso dos frutos avaliadas no projeto. Além disso foram avaliados também a altura e a produtividade (kg/m^2). Na Tabela 5 está apresentado o resumo da variância para estas variáveis bem como os respectivos coeficientes de variação (CM). Os CV ficaram todos acima de 49%, sendo considerados bastante altos. Isto ocorreu porque as repetições 4 e 5 de todos os tratamentos tiveram impacto maior de pragas, no caso formigas e vaquinhas (*Diabrotica* spp.) e, portanto, foram sempre os menores valores de produção.

Para maior confiabilidade dos dados, os frutos colhidos foram colocados em sacos plásticos e identificados (Figura 22). Também foi feita a pesagem dos frutos das

áreas não parcelares embora não tenha sido utilizada para este trabalho.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura, número de frutos, peso colhido e produtividade.

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio (Variância)			
		Altura	Nº frutos	Peso colhido (kg)	Produtividade (kg m ⁻²)
Tratamento	3	0,041667 ^{ns}	11,263889 ^{ns}	0,299250 ^{ns}	1,21667 ^{ns}
Resíduo	20	0,241667	18,808333	0,579142	2,32217
CV(%)	--	69,40	49,33	55,79	50,09

NS = efeito não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

Figura - Colheita do pepino



Os dados deste experimento foram comparados aos de Sediya et al. (2012b) e com Azevedo & Oliveira (2005) que testaram a produtividade do pepino irrigado com efluente de tratamento de esgoto. Este trabalho adotou fertilização com húmus de minhoca, enquanto Sediya et al. (2012b) compararam este mesmo tipo de fertilizante contra esterco bovino, obtendo resultados melhores com o segundo. Já Azevedo & Oliveira (2005) utilizaram o efluente como fonte de nutrientes. Nos três experimentos o espaçamento entre plantas teve valores próximos, entre 0,5 e 0,55 m para o mesmo canteiro e espaçamento de 1m entre canteiros. Somente este trabalho não adotou tutoria e somente Sediya et al. (2012b) adotaram a poda, sendo este trabalho mais próximo da realidade regional e com menor demanda de mão-de-obra por área plantada, portanto.

- **Número de frutos**

Para os dados relativos ao número de frutos (Figura 23), a maior diferença entre as médias dos tratamentos foi de 3,333 frutos. Considerando a DMS 7,011, não houve

significância entre as médias dos tratamentos.

Conforme a Figura 23, o número de frutos por planta variou entre 7 e 10, porém sem haver diferença significativa. Ao comparar com Sediya et al. (2012b), onde os tratamentos ficaram entre 5 e 10 frutos por planta, o atual experimento obteve valores similares, o que é um dado positivo para os tratamentos aqui adotados, especialmente dado o menor emprego de mão-de-obra no experimento deste trabalho.

Figura - Número de frutos de pepino por planta

Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

- **Peso total de frutos**

Para o peso colhido em cada tratamento, a maior diferença verificada foi entre o tratamento com Irriga e o tratamento Arduino 1, que foi de 545 g. A DMS para os valores obtidos foi de 1,23 kg. Neste caso, também verificou-se que não houve diferença significativa segundo o teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Os valores médios podem ser vistos na Figura 24, onde se percebe que as plantas produziram entre 1,0 e 1,7 kg.

Ao comparar com Sediya et al. (2012b) cujos valores de produção em g pl^{-1} (peso total dos frutos em gramas por planta) ficaram entre 820 e 2.100 para esterco bovino e 700 e 1400 para húmus de minhoca, todos os tratamentos mais uma vez ficaram dentro da mesma faixa. Os valores deste trabalho ficaram próximos dos valores de Sediya et al. (2019b) que utilizou o mesmo tipo de fertilizante, húmus de minhoca. Já Azevedo & Oliveira (2005) fizeram experimento com o pepino japonês e obtiveram 1.968 g pl^{-1} para o tratamento testemunha, irrigado com água potável e 2.769 g pl^{-1} para o tratamento irrigado com efluentes. O tratamento deste trabalho teve produtividade semelhante ao tratamento testemunha porém inferior ao que recebeu fertilização de água de efluente de tratamento de esgoto. Isto mostra que, em relação ao peso total produzido, este trabalho não apresentou estresse hídrico mas pode ter sofrido com baixa disponibilidade de nutrientes. Vale ressaltar que o objeto deste trabalho era avaliar os diferentes manejos de irrigação.

Figura - Peso total de frutos de pepino

Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

- **Altura da planta**

Para a altura da planta a DMS foi de 0,542m, com a maior diferença encontrada sendo de 0,072 m, indicando plantas muito uniformes (Figura 25). A altura de plantas variou, em média, entre 0,79 m (no tratamento Arduino 2) a 0,87 m (no tratamento tradicional ou controle)

Figura - Altura das plantas de pepino

Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

Sediyama et al. (2012b) verificaram alturas da planta sempre próximas 0,8 m para a primeira colheita e próximos de 1,6m ao final. Os valores obtidos no presente trabalho foram próximos aos valores da primeira colheita, porém muito inferiores aos valores no final do experimento. Como outras variáveis não indicaram influência negativa, talvez o comprimento da planta tenha sido negativamente influenciado pela ausência de poda. O trabalho de Sediyama et al. (2012a) já havia mostrado que a poda não influencia positivamente no peso produzido por planta, mostrando um descolamento entre o comprimento da planta e a produtividade.

- **Produtividade**

Quanto à produtividade, o peso colhido por m^2 oscilou de 2,167 kg no tratamento Arduino 1 até 3,267 kg no tratamento com Irrigas. A diferença máxima foi, portanto, de 1,10 $kg\ m^{-2}$. Considerando a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey 2,464, os tratamentos não apresentaram diferença estatisticamente significativa (Figura 26).

Como os dados de produtividade são relacionados diretamente às variáveis analisadas anteriormente, espera-se que a produtividade, portanto, seja próxima dos tratamentos destes autores, indicando que não houve estresse hídrico porém com produtividade abaixo do tratamento com efluente de tratamento de esgoto, ou seja, a menor produtividade pode ser atribuída à ausência de adubação mineral.

Figura - Produtividade de pepino

Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

- **Evolução da colheita dos tratamentos**

Uma comparação interessante entre os tratamentos é a colheita de cada tratamento por dia. A Figura 27 mostra a evolução da colheita em cada tratamento a partir da data da primeira colheita, no caso aos 50 DAP.

Tanto a germinação quanto a floração ocorreram sempre com diferenças pequenas, no máximo três dias entre os tratamentos.

Em todas as colheitas houve frutos colhidos em todos os tratamentos, ou seja, o início da produção para todos os tratamentos foi em datas próximas, de modo que o ciclo finalizou aos 66 DAP em todos os tratamentos.

Figura – Marcha de colheita dos frutos

O tratamento com duas irrigações diárias controladas por Arduino 2 atingiu o pico de colheita aos 55 DAP (18 frutos colhidos), e o manual aos 57 DAP (17 frutos colhidos). O tratamento Irrigas teve o máximo de frutos constante em três dias de colheita (14 frutos). A partir do 4º dia de colheita, 60 DAP, todos os tratamentos começaram a reduzir gradativamente de forma semelhante. Deduz-se que o pico da colheita ocorre antes dos 60 dias. Todos os tratamentos tiveram a última colheita 66 DAP. Os frutos após esta data já não eram comerciais e não foram considerados para esta pesquisa. Isso mostra que houve uniformidade do ciclo entre os tratamentos para este experimento.

Segundo Carvalho *et al.*, (2013), o pepino Lafayette deste experimento é tipo conserva, cuja colheita varia de 40 a 60 DAP, onde este trabalho realizou colheita entre 50 e 66 DAP, próximo da faixa sugerida por este autor. Dadas as características do mercado local, ainda segundo o mesmo autor, os frutos foram colhidos com tamanhos de 12 a 15 cm, ou seja, classe 10. A produtividade por hectare sugerida por este autor é na faixa de 36.000 kg, sendo que o trabalho aqui apresentado variou entre 21.670 kg e 32.670 kg, estando, portanto, abaixo da referência obtida pela EMATER-DF em 2011. Esta referência, entretanto, envolve uso mais intensivo de fertilização e controle químico de pragas. Como o trabalho atual fez uso mais moderado de fertilizante e o controle de pragas foi mais limitado, a diferença é compreensível.

Comparando ainda com os resultados de Sedyama et al. (2012b) e Azevedo & Oliveira (2005), esses dois trabalhos não apresentaram datas nem períodos precisos para comparar com este trabalho, entretanto os resultados de produtividade por planta foram similares.

Essa comparação com trabalhos semelhantes a este leva a deduzir que os

tratamentos aqui empregados não afetaram negativamente a produção do pepino, validando tanto o manejo com Irrigas quanto os dois manejos com Arduino. Entretanto, especialmente a diferença em relação ao trabalho irrigado com efluente do tratamento de esgoto mostra que para as condições experimentais a fertilização é a variável com maior potencial para aumento da produtividade, já que não houve ganho de produtividade em nenhum dos tratamentos.

• **CONCLUSÃO**

Os manejos de irrigação com Arduino e com o equipamento Irrigas não diferiram do manejo tradicional em que se aplicavam 5,0 mm até a floração e a partir desta fase, 10,0 mm.

O projeto com irrigas artesanal mostrou-se fácil e barato de construir e utilizar. O produtor não teve dificuldades em utilizar.

O projeto com Arduino ficou mais caro, porém reduziu a demanda de trabalho do produtor em cerca 1,0h de economia por canteiro de 30,0 m².

O sensor utilizado para o Arduino teve sua leitura variável ao longo do ciclo que pode exigir uma adaptação para culturas de ciclo mais longo.

• **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ao comparar os tratamentos entre si, nenhum teve diferença significativa do tratamento tradicional que irriga em quantidade determinada todos os dias. Não houve, portanto, nenhum déficit hídrico para a cultura no ambiente onde a única fonte de água para o cultivo foi a irrigação. Isso mostra que é possível um manejo de irrigação mais preciso com ferramentas de baixo custo que podem manter ou reduzir a demanda de mão de obra do produtor.

O projeto foi bem sucedido no sentido de validar um manejo de irrigação por microcontrolador e também o manejo com Irrigas para a cultura do pepino. A diferença entre os tratamentos não foi significativa e o manejo com Irrigas fica com custo de R\$ 56,00, com a ressalva que o agricultor ainda vai ser responsável pela atuação da irrigação. Quanto ao projeto com Arduino, o custo total para uma área com 100m lineares foi de R\$ 459,00 que é um custo relativamente baixo considerando que o tempo economizado de pelo menos 2 min por metro quadrado ao dia. Em um canteiro típico de

50 m com cerca de 30m² de área útil a economia é de pelo menos 1h por dia.

O uso do Irrigas é muito fácil e prático. Com pouco tempo os produtores rurais mesmo com baixo nível de instrução podem aprender a instalar e utilizar este tipo de sensor:-

Já o Arduino é mais técnico e deve ser instalado por alguém com algum conhecimento técnico na área, mas após isso a manutenção é muito próxima da manutenção de um sistema de irrigação por gotejamento operado manualmente, e o controlador em si não apresentou problemas de confiabilidade.

O sensor e o atuador, por outro lado, apresentaram problemas. O sensor teve variação na leitura ao longo do experimento. Isso foi observado nos 12 equipamentos instalados no experimento. Dado que a água utilizada na irrigação tem baixa salinidade e o período do experimento foi relativamente curto, a compactação do solo deve ser a responsável pela variação na leitura do sensor, já que, à medida em que o solo vai compactando, a condutividade do mesmo aumenta, isso influencia na leitura fazendo o controlador fornecer menos água com o passar dos dias. Para culturas de ciclo maior isso pode afetar significativamente o resultados. O sensor irrigas não foi afetado por este problema.

Quanto ao atuador, um deles apresentou baixa estanqueidade, desperdiçando água. Como tratou-se de apenas uma de todas as válvulas utilizadas e, mais especificamente, de uma que ficou exposta a um evento atípico, as chances são maiores de que seja um caso isolado. Vale a pena, entretanto, avaliar um experimento maior e de tempo mais longo para verificar se este tipo de atuador pode ser empregado de forma segura.

Comparando-se com outros trabalhos, observaram-se valores similares aos obtidos por Sediya et al. (2012b) e por Azevedo & Oliveira (2005), que fizeram experimentos em condições semelhantes mas com objetivos diferentes. Embora não possa ser feita uma comparação direta entre os três trabalhos, dadas as diferenças de clima e solo, os valores próximos indicam que a produtividade não foi inferior a outras pesquisas, uma com foco em irrigação com efluentes e outra em adubação enquanto este trabalho foca em diferentes formas manejo da irrigação. Comparando ainda estes dados, pode-se ver que as conclusões de Sediya et al. (2012a), que a poda não influencia significativamente a produtividade e, portanto, não vale o dispêndio de mão-de-obra para esta atividade na produção de pepinos. Por outro lado, a irrigação com efluente de tratamento esgoto obteve produtividade estatisticamente maior que alguns dos

tratamentos deste trabalho, portanto é viável uma pesquisa com diferentes técnicas de fertilização para as condições de solo de Parauapebas-PA, incluindo, possivelmente, fertirrigação.

• REFERÊNCIAS

AGROCLIQUE. **Sensor Irrigas Básico**. Agroclique, 2019. Disponível em: <<https://agroclique.com.br/produto/sensor-irrigas-basico-15-kpa-25-kpa-40-kpa/>>. Acesso em: 12 Junho 2019.

ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA JÚNIOR, J. A. Precipitação nas Mesorregiões do estado do Pará: Climatologia, variabilidade e tendência nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 6, p. 151-168, Junho 2010. ISSN: 1980-055x.

ARDUINO. **Arduino Mega 2560 Rev3**. Arduino, 2019. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>>. Acesso em: 06 Junho 2019.

AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratameto de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação superficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n., p. 253-263, janeiro 2005. ISSN: 1809-4430

BELIK, W.; CUNHA, A. R. A. A. Abastecimento no Brasil: o desafio de alimentar cidades e promover o Desenvolvimento Rural. In: GRISA, C.; SCHNEIDER, S. **Políticas Públicas de Desenvolvimento Rural no Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. Cap. 3, p. 217-239. ISBN 978-85-386-0262-0

BEZERRA, A. E.; OLIVEIRA, C. W.; MORAIS NETO, J. M.; SILVA, T. I.; MEIRELES, A. C. M.; SANTOS, H. R. Eficiência do uso da Água de Irrigação no Cultivo de Banana. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** Fortaleza v.11, nº.7, p. 1966 - 1974, 2017 ISSN 1982-7679

BERNARDO, S.; SOARES, A. S.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª ed. Viçosa, UFV. 2006. 625p. ISBN: 85-7269-242-8

BUTTARO, D.; SANTAMARIA, P.; CANTORE, A. S. V.; BOARI, F.; MONTESANO, F. F.; PARENTE, A. Irrigation Management of Greenhouse Tomato and Cucumber Using Tensiometer: Effects on Yield, Quality and Water Use. **Agriculture and Agricultural Science Procedia** 4 p. 440 – 444, 2015 .

BROWER, C. **Irrigation Water Management: Irrigation Methods**. 5. ed. Quebec: FAO, v. 9, 1998.

CALBO, A. G. **Sistema Irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos**. ISBN 85-86413-07-0. ed. Brasília: EMBRAPA, v. I, 2005. ISBN 85-86413-07-0

CALZADILLA, A.; REHDANZ, K.; TOL, R. S. J. Water scarcity and the impact of improved irrigation management: a computable general equilibrium analysis. **Agricultural Economics**, v. 42, n. 3, p. 305-323, Maio 2011. ISSN: 1574-0862.

CARVALHO, A. D. F. AMARO, G. B.; LOPES, J. F.; VILELA, N. J.; MICHEREFF FILHO, M.; ANDRADE, R. **A cultura do pepino**. Embrapa hortaliças. Brasília, p. 18. 2013. ISSN 1415-3033

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água**. Embrapa Bahia. Cruz das Almas. 2005. [ISSN 1414-2368](#)

CORRÊA, R. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; CORRÊA, G. F.; GILKES, R. J.; MENDONÇA, B. A. F.; NUNES, J. A.; PRAKONGKEP, N. Caracterização de solos derivados de rochas máficas na Serra de Carajás. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**. Belém, v. 11, n. 1, p. 33-47, jan.-abr. 2016.

CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; RODRIGUES, C. R.; MORAES, G. S.; SILVA, I. O. F.; ALVES, D. K. M. Uniformidade de irrigação por gotejamento sob fertirrigação com fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza v.12, nº.7, p. 3118 - 3128, 2019

CUNHA, K. C. B. da; ROCHA, R. V. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. **RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 1, n. 2, p. 62-74, jul./dec. 2015. ISSN: 2448-0452

DAGA, A. **Bootloader**. Engineers Garage, 2011. Disponível em: <<https://www.engineersgarage.com/tutorials/bootloader-how-to-program-use-bootloader>>. Acesso em: 06 Junho 2019.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF, Embrapa Solos 2017. 577p. ISBN 978-85-7035-771-7

FERNANDES, A. L. T.; TAVARES, T. O.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINATO, R. Viabilidade técnica e econômica da irrigação localizada do cafeeiro, nas condições climáticas do planalto de Araxá, MG. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 347 - 358, jul./set. 2016

GOYAL, M. R. **Principles of Micro Irrigation**. Toronto: Apple Academic Press, v. I, 2015. ISBN: 978-1-77188- 16-9 0

GUIMARÃES, V. G. **Automação e Monitoramento Remoto de Sistemas de Irrigação Visando Agricultura Familiar**. TCC 97p UNB. Brasília 2011.

GUIMARÃES, V. G.; BAUCHSPIESS, A. Automação e Monitoramento Remoto de Sistemas de Irrigação. **Proc. of XIX Congresso Brasileiro de Automática (CBA)**, Campina Grande, 2012. 97.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. São Paulo: USP, 2012. ISBN-13: 978-8531413841

LIMA JUNIOR, J. A.; PEREIRA, M. P.; GEISENHOF, L. O.; VILAS BOAS, R. C.; SILVA, W. G.; SILVA, A. L. P. Comportamento Produtivo e Econômico da alface americana em função de diferentes lâminas d'água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1161-1167, Setembro 2012. ISSN: 1807-1929

LOPES FILHO, R. P. **Controle da irrigação de hortaliças usando o tensiômetro com manômetro de vácuo**. 1. ed. Macapá: Embrapa Amapá, 2011. ISBN 978-85-61366-11-7

MACHADO, M. D.; SILVA, A. L. Distribuição de produtos provenientes da agricultura familiar: um

estudo exploratório da produção de hortaliças. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, UFLA, v. 6, n. 1, p. 67-80, Janeiro 2011. ISSN: 2238-6890.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 22. ed. Viçosa: UFV, 2009. ISBN: 978-85-7269-373-8

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A. Agricultura Digital. **RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 2, n. 1, p. 72-88, jan./jun. 2016. ISSN: 2448-0452

MARQUELLI, W. A. **Tensiômetro para o Controle de Irrigação em Hortaliças**. Embrapa Brasília. Brasília. 2008. ISSN 1415-3033

MELO, J. L. G. G. **Mini Curso de Arduino**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2012.

MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. **Importância da cadeia produtiva brasileira de hortaliças**. Abhorticultura, Recife, p. 1-11, 2007. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/downloads/cadeia_produtiva.pdf>. Acesso em: 05 Junho 2019.

NETTO, E. S. D. **Diagnóstico da Produção de Hortaliças Orgânicas das Associações da Agricultura Familiar do Sul de Minas Gerais**. UNIFENAS, Alfenas – MG, 2019.

O'SHAUGHNESSY, S. A.; ANDRADE, M. A.; STONE, K. C.; VORIES, E. D.; SUI, R. and EVETT, E. "Adapting a VRI Irrigation Scheduling System for Different Climates. **USDA** 2018.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5ª. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

PARDOSSI, A.; INCROCCI, L.; INCROCCI, G.; MALORGIO, F.; BATTISTA, P.; BACCI, L.; RAPI, B.; MARZIALETTI, P.; HEMMING, J.; BALENDOCK, J. Root Zone Sensors for Irrigation Management in Intensive Agriculture. **Sensors**, Basel, 21 Abril 2009. 27. ISSN: 2809–2835

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 11, n. 5, p. 1633–1644, Outubro 2007. ISSN: 1027-5606.

PENTEADO, S. R. **Manejo da água e irrigação**. Campinas. 4ª edição. Editora Via Orgânica. 2019. ISBN: 978-85-907882-6-3

REDDY, R. N. **Irrigation Engineering**. New Delhi: Gene-Tech Books, 2010. ISBN 81-89729-98-5

RODRIGUES, L. N.; NERY, A. R.; ALBUQUERQUE, F. S. Estimativas da Evapotranspiração de Referência para Castanhal, Estado do Pará. **XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - XVIII CBA**, Belém, 02 a 06 Setembro 2013. 1 - 5.

SADRAS, V. O.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P.; HALL, A. J.; BASTIAANSEN, W. G. M.; LABORTE, A. G.; MILNE, A. E.; SILESHI, G.; STEDUTO, P. **Yield gap analysis of field crops: Methods and case studies**. Rome, FAO. 2015.

SANTI, A.; SCARAMUZZA, W. L. P.; SOARES, D. M. J.; SCARAMUZZA, J. F.; DALLACORT, R.; KRAUSE, W.; TIEPPO, R. C. Desempenho e orientação do crescimento do pepino japonês em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 4, p. 649-653, Outubro 2013. ISSN: 0102-0536.

SEDIYAMA, M. A. N.; NASCIMENTO, J. L. M.; LOPES, I. P. C.; LIMA, P. C.; VIDIGAL, S. M.; ALMEIDA, C. H. S. Manejo da poda em plantas de pepino tipos Aodai, Japonês e Caipira. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 30, n. 2, p. 4041-4049. Julho 2012a. ISSN: 4041-S4049.

SEDIYAMA, M. A. N.; NASCIMENTO, J. L. M.; SANTOS, M. R.; VIDIGAL, S. M.; CARVALHO, I. P. L. Produção de Pepino tipo japonês em ambiente protegido em função de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)** Viçosa, v. 2, n. 2, p. 67-74. Dezembro 2012b. ISSN: 2236-9724.

SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e Fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, EMBRAPA, 2011.

SOUZA, M. H. C.; SANTOS, R. D. S.; BASSOI, L. H. Avaliação da uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento. **IV INOVAGRI International Meeting**, Fortaleza-CE 2017

SUI, R.; VORIES, E. Comparison of Sensor-Based Irrigation Scheduling Method and Arkansas Irrigation Scheduler. **2018 Irrigation Show & Education Conference**, Long Beach, California, US, December 3-7, 2018.

TAVARES FILHO, A. N.; BARROS, M. F. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F. F. Incorporação de gesso para correção de salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 247-252, 2012. ISSN: 1807-1929.

VERDE, R. B. R. V.; FERNANDES, F. R. C. **Impactos da mineração e da agroindústria em paracatu (Mg): ênfase em recursos hídricos**. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Rio de Janeiro, p. 7. 2010.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; MONTES, D. R. P.; CUNHA, F. F. Custo da Irrigação do Cafeeiro em diferentes tipos de equipamentos e tamanhos de área. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, p. 53-61, Janeiro 2011. ISSN: 2175-6813.

- **ANEXOS**

- **Anexo 1: Dados obtidos em campo**

-

Parcela	Tratamento	Altura (M)	Frutos	Peso (kg)	Peso Médio (g)	Produtividade (kg/m ²)
1	Tradicional	1,25	14	2,52	180,3	5,0
2	Tradicional	1,19	11	1,78	162,1	3,6

3	Tradicional	0,87	9	1,27	141,6	2,5
4	Tradicional	0,46	4	0,54	134,8	1,1
5	Tradicional	0,48	5	0,55	110,4	1,1
6	Tradicional	0,94	10	1,69	169,3	3,4
1	IRRIGAS	1,21	11	1,83	165,9	3,7
2	IRRIGAS	1,19	15	2,18	145,6	4,4
3	IRRIGAS	0,94	17	2,84	166,8	5,7
4	IRRIGAS	0,57	5	0,73	145,4	1,5
5	IRRIGAS	0,29	5	0,82	164,8	1,6
6	IRRIGAS	0,93	9	1,34	148,4	2,7
1	ARDUINO	1,13	9	1,61	179,3	3,2
2	ARDUINO	1,17	13	2,04	156,5	4,1
3	ARDUINO	0,94	6	0,74	123,0	1,5
4	ARDUINO	0,37	3	0,39	129,0	0,8
5	ARDUINO	0,42	3	0,40	134,0	0,8
6	ARDUINO	0,91	8	1,29	160,6	2,6
1	ARDUINO 2	1,12	10	1,47	146,6	2,9
2	ARDUINO 2	0,96	15	2,32	154,3	4,6
3	ARDUINO 2	0,95	13	2,18	167,7	4,4
4	ARDUINO 2	0,49	3	0,42	140,7	0,8
5	ARDUINO 2	0,38	5	0,75	150,4	1,5
6	ARDUINO 2	0,86	8	1,04	130,5	2,1

•

• **Anexo 2: Programa do Arduino para calibração do sensor**

```

int a=13;
int b=12;
int c=11;
int d=10;
int e=9;
int f=8;
int g=7;
int dp=6;
int d1=5;
int d2=4;
int d3=3;
int d4=2;

int leit;
int y;
int z;
int w;
void setup() {
  // configuração das saídas
  Serial.begin(9600);
  pinMode(a,OUTPUT);

```

```

pinMode(b,OUTPUT);
pinMode(c,OUTPUT);
pinMode(d,OUTPUT);
pinMode(e,OUTPUT);
pinMode(f,OUTPUT);
pinMode(g,OUTPUT);
pinMode(dp,OUTPUT);
pinMode(d1,OUTPUT);
pinMode(d2,OUTPUT);
pinMode(d3,OUTPUT);
pinMode(d4,OUTPUT);
digitalWrite(d1,1);
digitalWrite(d2,1);
digitalWrite(d3,1);
digitalWrite(d4,1);
}
//definindo os números para o display de 7 segmentos
void n0 () {
    digitalWrite(a,1);
    digitalWrite(b,1);
    digitalWrite(c,1);
    digitalWrite(d,1);
    digitalWrite(e,1);
    digitalWrite(f,1);
    digitalWrite(g,0);
    digitalWrite(dp,0);
}
void n1 () {
    digitalWrite(a,0);
    digitalWrite(b,1);
    digitalWrite(c,1);
    digitalWrite(d,0);
    digitalWrite(e,0);
    digitalWrite(f,0);
    digitalWrite(g,0);
    digitalWrite(dp,0);
}
void n2 () {
    digitalWrite(a,1);
    digitalWrite(b,1);
    digitalWrite(c,0);
    digitalWrite(d,1);
    digitalWrite(e,1);
    digitalWrite(f,0);
    digitalWrite(g,1);
    digitalWrite(dp,0);
}
void n3 () {
    digitalWrite(a,1);
    digitalWrite(b,1);

```

```
    digitalWrite(c,1);
    digitalWrite(d,1);
    digitalWrite(e,0);
    digitalWrite(f,0);
    digitalWrite(g,1);
    digitalWrite(dp,0);
}
void n4 () {
    digitalWrite(a,0);
    digitalWrite(b,1);
    digitalWrite(c,1);
    digitalWrite(d,0);
    digitalWrite(e,0);
    digitalWrite(f,1);
    digitalWrite(g,1);
    digitalWrite(dp,0);
}
void n5 () {
    digitalWrite(a,1);
    digitalWrite(b,0);
    digitalWrite(c,1);
    digitalWrite(d,1);
    digitalWrite(e,0);
    digitalWrite(f,1);
    digitalWrite(g,1);
    digitalWrite(dp,0);
}
void n6 () {
    digitalWrite(a,1);
    digitalWrite(b,0);
    digitalWrite(c,1);
    digitalWrite(d,1);
    digitalWrite(e,1);
    digitalWrite(f,1);
    digitalWrite(g,1);
    digitalWrite(dp,0);
}
void n7 () {
    digitalWrite(a,1);
    digitalWrite(b,1);
    digitalWrite(c,1);
    digitalWrite(d,0);
    digitalWrite(e,0);
    digitalWrite(f,0);
    digitalWrite(g,0);
    digitalWrite(dp,0);
}
void n8 () {
    digitalWrite(a,1);
    digitalWrite(b,1);
```

```

    digitalWrite(c,1);
    digitalWrite(d,1);
    digitalWrite(e,1);
    digitalWrite(f,1);
    digitalWrite(g,1);
    digitalWrite(dp,0);
}
void n9 () {
    digitalWrite(a,1);
    digitalWrite(b,1);
    digitalWrite(c,1);
    digitalWrite(d,1);
    digitalWrite(e,0);
    digitalWrite(f,1);
    digitalWrite(g,1);
    digitalWrite(dp,0);
}
void loop() {
    // leitura do sensor e transformando em escala de 0 a 100%

    leit=analogRead(A0);
    y=map(leit,1024,0,0,99);
    Serial.print(leit);
    Serial.print("\t");
    int kk;
    kk = 0;

    while (kk<20){
        //escrevendo a dezena
        z=y/10;
        digitalWrite (d3,0);
        switch (z){
            case 0:
                n0 ();
                break;
            case 1:
                n1 ();
                break;
            case 2:
                n2 ();
                break;
            case 3:
                n3 ();
                break;
            case 4:
                n4 ();
                break;
            case 5:
                n5 ();
                break;

```

```
case 6:
n6 ();
break;
case 7:
n7 ();
break;
case 8:
n8 ();
break;
case 9:
n9 ();
break;
}
delay(10);
digitalWrite (d3,1);
//escrevendo a unidade
w=y-(10*z);
digitalWrite (d4,0);
switch (w){
case 0:
n0 ();
break;
case 1:
n1 ();
break;
case 2:
n2 ();
break;
case 3:
n3 ();
break;
case 4:
n4 ();
break;
case 5:
n5 ();
break;
case 6:
n6 ();
break;
case 7:
n7 ();
break;
case 8:
n8 ();
break;
case 9:
n9 ();
break;
}
```

```

delay(10);
digitalWrite (d4,1);
kk++;
}
}

```

- **Anexo 3: Programa do Arduino para o controlador**

```

#include <RTCLib.h>

#include <Wire.h>
RTC_DS3231 rtc;
/*
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //adicionando e configurando o display
*/
// definindo variáveis globais
int potPin1 = A0;
int potPin2 = A1;
int c1;
int c2;
int y;
int z;
int hora;
int but1;
int but2;
int but3;
int loop1;
int loop2;
int valor;
int valor2;

void setup() {
/* trecho do display está inativo
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();*/
pinMode(10,OUTPUT);
Serial.begin(9600); //Inicialização da comunicação serial
delay(3000); // wait for console opening
rtc.begin(); //Inicialização do RTC DS3231
//rtc.adjust(DateTime(2019, 04, 04, 11, 22, 0));
Serial.println("ajustando data/hora ");
pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
pinMode(10,OUTPUT);
pinMode(11,OUTPUT);
}

void loop() {
  // Lendo a hora no RTC

```

```

    DateTime now = rtc.now();
    hora = now.hour();
    Serial.println(hora);
    //lendo os dois sensores
    c1=analogRead(A0);
    c2=analogRead(A1);
    y=map(c1,1023,0,0,99); // configurando a leitura do sensor para 0 a 99
    z=map(c2,1023,0,0,99);
    Serial.print(y);
    Serial.print("\t");
    Serial.print(z);
    Serial.print("\t");
    Serial.print("\t");
    Serial.print(hora);
    Serial.print("\t");
    Serial.print("\t");
    // irrigando no horário determinado, caso a umidade esteja abaixo do valor
desejado
    if (hora == 5 && y<70){
        digitalWrite (10,0);
    }
    if (hora == 5 && z<68){
        digitalWrite (11,0);
    }
    // irrigando em qualquer horário se umidade do solo estiver crítica
    if y<66){
        digitalWrite (10,0);
    }
    if (z<64){
        digitalWrite (11,0);
    }

    /*garantindo que as válvulas serão desligadas após o horário. Em caso de falha
do sensor evita desperdício de água*/
    if (hora>6 ){
        digitalWrite (11,1);
        digitalWrite (10,1);
    }
    delay(50);
    /* parte do LCD inativa
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Sensor");
    lcd.setCursor(1,1);
    lcd.print(analogRead(potPin1));

    loop1=digitalRead(7);
    loop2=digitalRead(6);
    but3=digitalRead(5);

```

```

while (loop1==1){
  lcd.clear();
  but1=digitalRead(7);
  but2=digitalRead(6);
  but3=digitalRead(5);
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("Valor");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print(valor);
  if(but1==1){
    valor++;
  }
  if (but2==1){
    valor--;
  }
  if(but3==1){
    loop1=0;
  }
  delay(50);
}
while (loop2==1){
  lcd.clear();
  but1=digitalRead(7);
  but2=digitalRead(6);
  but3=digitalRead(5);
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("Valor");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print(valor2);
  if(but1==1){
    valor2++;
  }
  if (but2==1){
    valor2--;
  }
  if(but3==1){
    loop2=0;
  }
  delay(50);
}
delay(50);*/
}

```

- **ANEXO 4: CARTILHA**