

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

Hugo Mendes Tavares Neto

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL PARA MONITORAMENTO E
IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA DE CULTURAS DE TOMATES EM
HORTAS VERTICAIS

Belém

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

Hugo Mendes Tavares Neto

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL PARA MONITORAMENTO E
IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA DE CULTURAS DE TOMATES EM
HORTAS VERTICAIS

Trabalho de Curso na modalidade Monografia, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia da Computação do Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA, sob orientação do Professor MSc. Elton Rafael Alves.

Belém

2017

Hugo Mendes Tavares Neto

**AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL PARA MONITORAMENTO E
IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA DE CULTURAS DE TOMATES EM
HORTAS VERTICAIS**

Trabalho de Curso na modalidade Monografia apresentado como requisito parcial
para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia da Computação do Centro
Universitário do Estado do Pará – CESUPA.

Data da Defesa: 16/05/2017

Banca Examinadora:

Prof. Orientador MSc. Elton Rafael Alves - CESUPA

Prof. Esp. Itamar Brito - CESUPA

Prof. MSc. Johnny Rocha - CESUPA

Belém

2017

Aos meus pais, por todo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por sempre me guiar pelos melhores caminhos frente às dificuldades e oportunidades diárias.

Agradeço ao meus pais, Guilherme e Marlete, por todo amor, carinho e dedicação que me moldaram como ser humano.

Agradeço ao meu irmão, Lucas, por ser meu melhor amigo e maior exemplo.

Agradeço à minha avó e madrinha, Marcina, pela inspiração de buscar sempre ser uma pessoa melhor.

Agradeço à minha namorada, Marcela, pelo amor, apoio e grande contribuição que tornaram esse trabalho possível.

Agradeço aos meus familiares, Magno e Tavares, pela convivência e aprendizado compartilhado.

Agradeço aos meus amigos pelos momentos de descontração essenciais para que a vida valha a pena.

Agradeço aos professores do Cesupa, especialmente aos professores Itamar, Johnny, Polyana e Elton, por todos os ensinamentos técnicos e de vida ao longo da graduação.

“Não importa o quão ruim a vida possa ser, há sempre alguma coisa que você pode fazer e ter sucesso. Enquanto há vida, há esperança”.

(Stephen Hawking)

RESUMO

Diante da redução das zonas verdes nos centros urbanos em função do processo de urbanização, novos estudos surgiram com foco em sustentabilidade, onde destaca-se o conceito de jardins verticais. As hortas verticais apresentam plantações com boa adaptação ao meio urbano devido não necessitarem de grandes áreas para desenvolvimento. Assim, dentre as principais espécies escolhidas para o cultivo em tal técnica, o tomate é uma das hortaliças que melhor se adapta, visto que a mesma possui crescimento significativo em pequenos espaços físicos e faz parte da culinária de muitos países. Dessa forma, com o objetivo de gerir a irrigação da hortaliça citada anteriormente, visto os desperdícios de água na agricultura diante da crise hídrica mundial, tem-se a tecnologia como tendência para automação e monitoramento ambiental. Portanto, esse trabalho realizou um estudo com a plataforma de computação embarcada Arduino integrada com sensores, atuadores e interface homem-máquina para o controle de processos de irrigação e supervisão de cultivos de tomates. Dessa maneira, pôde-se otimizar o desenvolvimento da cultura e reduzir perdas de água em regas manuais, fatores que fundamentaram a influência do bom manejo de irrigação no florescimento do plantio e a eficiência de sistemas embarcados para a automação sustentável.

Palavras-chave: Hortas Verticais. Tomate. Irrigação. Arduino. Automação.

ABSTRACT

Since the urbanization process has led to the enlargement of cities and, consequently, diminishment of green zones inside towns, researches have been made in order to find sustainable methods to restore nature into city's environment, where stands out the concept of vertical gardens. It was found to be a suitable solution for it, because of its proposal to grow fruits and vegetables in reduced spaces. A main example of fruit that can successfully develop in reduced environments is the tomato, which is also part of almost every human diet in the world. Meanwhile, aiming to manage these vertical gardens irrigation and regarding the waste of water in agriculture along with the ongoing hydric crisis, there is automation and ambient monitoring technology as a tendency to be implemented. Therefore, this paper is a research using the Arduino embedded computer platform integrated with sensors, actuators and men-machine interface to control the processes of irrigation and supervision of tomato cultures. Thus, the planting development was optimized and the waste of water seen in the manual irrigation system reduced, these factors established the influence of good irrigation management on the growing of the culture and the efficiency in the use of embedded systems to sustainable automation.

Keywords: Vertical Gardens. Tomato. Irrigation. Arduino. Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Campo termal Teresina nos dias 14/08/1989 (a) e 09/11/2009 (b)	19
Figura 2 - Arquitetura do sistema SCADA.....	22
Figura 3 - E-Commerce	23
Figura 4 - Sistema de detecção e alarme de incêndio	24
Figura 5 - Diagrama de Blocos do hardware	25
Figura 6 - Mercado global de Automação Residencial	26
Figura 7 - Arquitetura Centralizada	28
Figura 8 - Arquitetura Distribuída	29
Figura 9 - Especificações Atmel AVR UC3 de 32 bits	33
Figura 10 - Diagrama de pinos PIC16F627A/628A/648A.....	34
Figura 11 - Modelos Uno, Leonardo, Robot e Esplora da plataforma Arduino	35
Figura 12 - Umidade relativa do ar em janeiro de 2017	37
Figura 13 - Chuva acumulada em janeiro de 2017.....	37
Figura 14 - Plantação de tomate	39
Figura 15 - Revestimento verde em edificações	40
Figura 16 - Cortina verde revestindo janelas envidraçadas	41
Figura 17 - Arduino Uno	43
Figura 18 - Bomba Submersa	44
Figura 19 - Módulo Relé.....	45
Figura 20 - Sensor de umidade do solo higrômetro	46
Figura 21 - Sensor de umidade relativa do ar e temperatura	47
Figura 22 - Módulo Bluetooth HC-06.....	48
Figura 23 - Software de monitoramento	49
Figura 24 - Esquema eletrônico	50
Figura 25 - Diagrama de blocos do funcionamento do sistema.....	51
Figura 26 - Separação das sementes	52
Figura 27 - Vasos iguais para plantação	53
Figura 28 - Plantação de sementes e aplicação de adubo.....	53
Figura 29 - Estrutura do protótipo.....	55
Figura 30 - Componentes do sistema de automação.....	55
Figura 31 - Acompanhamento do surgimento de mudas.....	56

Figura 32 - Comparativo de plantações ao fim da fase 1	57
Figura 33 - Comparação da altura média das plantações ao fim do experimento.....	57
Figura 34 - Comparação das plantações ao fim do experimento	58
Figura 35 - Comparação do volume hídrico utilizado para irrigação	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações Arduino Uno	42
Tabela 2 - Amostras parciais armazenadas no banco de dados.....	66

LISTA DE SIGLAS

ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
BBC	<i>British Broadcasting Corporation</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DRAM	<i>Dynamic Random Access Memory</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-only Memory</i>
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GFSK	<i>Gaussian Frequency Shift Keying</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PLC	<i>Power Line Communication</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ROM	<i>Read-only Memory</i>
RS485	<i>Recommended Standards 485</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SEAB	Secretaria da Agricultura e do Abastecimento
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
TIA	<i>Telecommunication Industry Association</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω *Ohm*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo geral	18
1.1.2 Objetivos específicos	18
1.2 JUSTIFICATIVA	19
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 AUTOMAÇÃO	21
2.1.1 Industrial	22
2.1.2 Comercial	23
2.1.3 Predial	23
2.1.4 Agrícola	24
2.2 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL	25
2.2.1 Vantagens	26
2.2.2 Desvantagens	27
2.2.3 Tipos de Automação Residencial	27
2.2.4 Arquitetura	28
2.2.5 Protocolos	29
2.2.5.1 Protocolo X10	29
2.2.6 Redes de Comunicação	30
2.2.6.1 Serial	30
2.2.6.2 Paralela	31
2.2.6.3 Bluetooth	31
2.2.7 Componentes	31
2.2.7.1 Microncontroladores	31

2.2.7.1.1 Microncontrolador Atmel	32
2.2.7.1.2 Microncontrolador PIC.....	33
2.2.7.1.3 Microcontrolador Arduino	34
2.2.7.2 Sensores	35
2.2.7.3 Atuadores	36
2.3 IRRIGAÇÃO.....	36
2.3.1 Sistemas tecnológicos aplicados no processo de irrigação	38
2.4 TOMATE	38
2.5 JARDINS VERTICAIS.....	40
3 ESPECIFICAÇÃO DE HARDWARE E SOFTWARE.....	42
3.1 MICROCONTROLADOR	42
3.2 BOMBA SUBMERSA.....	43
3.3 RELÉ.....	44
3.4 SENSOR DE UMIDADE DO SOLO	45
3.5 SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE DO AR.....	46
3.6 RESISTOR.....	47
3.7 MÓDULO BLUETOOTH	47
3.8 SOFTWARE DE MONITORAMENTO.....	48
3.9 ESQUEMA ELETRÔNICO	50
3.9.1 Funcionamento	51
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
7 REFERÊNCIAS.....	61
8 APÊNDICE.....	66

1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU), em 2015, denotou que aproximadamente 70% da água potável disponível no mundo é destinada ao setor agrícola dado que a prática de irrigação é fator essencial na produção alimentícia para a sobrevivência humana, a qual influencia diretamente no florescimento e evolução da planta. Em contrapartida, com crescimento populacional e o processo de urbanização, tem-se um cenário de escassez de recursos hídricos e maior demanda por alimentos, fazendo com que novas estratégias sejam buscadas a fim de aliar a otimização do desenvolvimento de culturas com o mínimo consumo de energia e técnicas de irrigação sem desperdícios (FERREIRA et al., 2016).

Além disso, a redução da área verde nas grandes cidades teve como consequência a geração de um ambiente inóspito para o ser humano, fazendo com que a sustentabilidade se tornasse um forte objeto de discussão na sociedade moderna. Dessa forma, iniciaram-se o desenvolvimento de estudos e a implementação de projetos com o propósito de promover a recuperação da flora local, surgindo, assim, conceitos como o de hortas verticais (TOLEDO; REIS, 2015).

O jardim vertical é uma técnica de paisagismo que compreende o cultivo de vegetações em paredes ou muros com crescimento perpendicular ao solo, adaptando-se ao cenário urbano, onde as construções são caracterizadas pela verticalização. Além das hortas verticais promoverem a reconstrução vegetal, há, também, o incentivo à reciclagem, ação que reutiliza materiais para fins ecologicamente corretos (TOLEDO; REIS, 2015).

Com isso, o tomate, originado na Itália, é uma das principais opções para cultivo em jardins suspensos, pois essa hortaliça possui crescimento significativo em espaços reduzidos e é um alimento muito presente na dieta de diversos países. Historicamente, o tomateiro tinha função apenas decorativa devido à coloração forte remeter à presença de veneno no fruto, porém, no século XIX, esse mito foi derrubado e o tomate passou a ser consumido no mundo todo (BOITEUX, 2013).

Pensando em gerir a irrigação de hortaliças, como o tomate, e tendo em vista a fácil aquisição de componentes eletrônicos promovida pelo avanço tecnológico, é possível aplicar sistemas de automação de baixo custo para tal controle, suprimindo a demanda hídrica da planta e evitando o desperdício de água. Além do que, com a irrigação automatizada, a presença do operador humano é reduzida em grande

parte do processo, que facilita, por exemplo, a manutenção das hortas em períodos secos – quando as plantações se encontram em estado crítico – possibilitando regas contínuas no tempo e quantidade necessários (INÁCIO, 2012).

Seguindo essa linha de raciocínio, realizou-se uma revisão de literatura com o objetivo de explicitar atuais sistemas tecnológicos que gerenciam diretamente produções agrícolas, evidenciando-se o estado da arte nos seguintes projetos:

1. Almeida (2008) desenvolveu um sistema de anteparo de microaspersor, ou seja, um dispositivo temporizado para realizar a função de irrigar, apresentando resultados positivos como boa uniformidade de distribuição de água e adaptação a técnicas agrícolas.
2. Inácio (2012) elaborou um circuito eletrônico de controle específico para irrigação de pequenas hortas, o qual simula o ambiente real por meio de software e, através de um microcontrolador, aciona válvulas solenoides para realizar a irrigação.
3. Ludwig et al. (2013) construíram um software em linguagem de programação Pascal, baseado nas equações de Hooghoudt e de Ernest, com o intuito de dimensionar drenos de acordo com as características do solo, cultura e critérios de drenagem, simplificando e gerando com rapidez e precisão o espaçamento dos drenos.
4. Toledo e Reis (2015) formulou um sistema eletrônico com o microcontrolador Arduino para monitorar umidade do solo, temperatura e luminosidade, promovendo a irrigação por gotejamento. Com isso, foi alcançada a irrigação desejável e suficiente para suprir as necessidades do plantio.
5. Brito Neto et al. (2015) desenvolveu um sistema de automação com microcontrolador para gerenciar e monitorar de forma autônoma as principais variáveis de um cultivo hidropônico, obtendo-se como resultado a redução da interferência humana na coleta de dados e no manejo da plantação, diminuindo, assim, os erros frequentes devido ao estresse por esforços repetitivos.
6. Ferreira et al. (2016) criou um projeto de irrigação inteligente para residências a partir do microcontrolador Arduino integrado com sensores e atuadores, promovendo o monitoramento e o auxílio hídrico da cultura. Dessa forma, com a aplicação do sistema proposto,

comprovou-se a viabilidade e eficácia da automação em tal setor, irrigando somente no momento adequado, aliando produtividade e economia.

Tendo em vista a utilização de dispositivos tecnológicos como tendência para gerenciar cenários agrícolas, este trabalho demonstra o estudo e aplicação de um sistema de automação residencial de baixo custo para monitorar e irrigar de forma automática pequena plantação de tomate em hortas verticais. Para a realização do protótipo, utilizou-se o microcontrolador Arduino integrado com sensor de umidade do solo a fim supervisionar o volume de água médio presente na área do plantio para, assim, acionar, se necessário, uma bomba de água com o intuito de suprir a demanda hídrica para a germinação e crescimento da cultura. São monitoradas, também, temperatura e umidade relativa do ar com o propósito de correlacionar tais variáveis com a umidade do solo.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa são divididos em geral e específicos, de acordo com os tópicos abaixo.

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de automação residencial de baixo custo com a plataforma de computação embarcada Arduino para monitoramento e irrigação automática de cultivo de tomates em jardins verticais.

1.1.2 Objetivos específicos

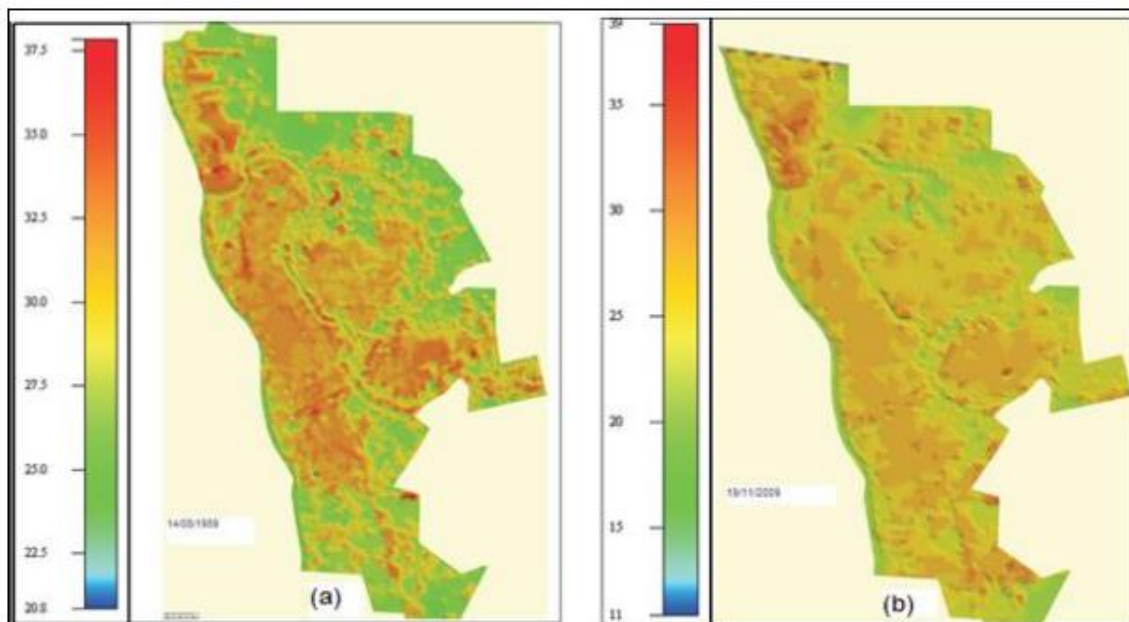
- ✓ Compreender o processo de desenvolvimento do tomate;
- ✓ Programar microcontrolador Arduino integrado com sensores e atuadores para supervisão e processo de irrigação automática;
- ✓ Desenvolver aplicativo a partir da plataforma *App Inventor 2* com comunicação Bluetooth para monitoramento do plantio;

- ✓ Analisar quantitativamente o desenvolvimento das plantações de tomates ao longo de 30 dias.

1.2 JUSTIFICATIVA

Feitosa et al. (2011) realizou um estudo na cidade de Teresinha, no Piauí, com a utilização de sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens do satélite *Landsat 5* nos dias 14/08/1989 e 09/11/2009 para analisar os impactos causados pelo crescimento excessivo de edificações durante 20 anos, constatando-se intenso desmatamento e consequente elevação da temperatura média, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Campo termal Teresina nos dias 14/08/1989 (a) e 09/11/2009 (b)



Fonte: Feitosa et al. (2011, p. 69)

Outro contexto preocupante é o consumo excessivo de água na agricultura dado o cenário mundial de escassez de recursos hídricos. Em matéria publicada pela *British Broadcasting Corporation* Brasil (BBC), em 2015, a Fundação SOS Mata Atlântica destaca a má administração e falta de consciência dos agricultores, fazendo com que os desperdícios em processos de irrigação na agricultura possam chegar a 70%. Além disso, cinco especialistas no ramo agrônomo foram consultados e houve unanimidade no pensamento de que o setor agrícola pode otimizar o uso hídrico, aprimorando técnicas de irrigação para evitar perdas (IDOETA, 2015).

Diante do contexto exposto, observa-se as consequências causadas pelos constantes desmatamentos e inconsciente utilização de recursos naturais, efeitos que impactam diretamente o ser humano, colocando em risco a população local. Dessa forma, a motivação deste trabalho é a necessidade de replantar a área verde nos grandes centros urbanos e melhor gerir o uso de recursos hídricos na irrigação, iniciando, assim, o processo de reconstrução ambiental. Para a realização de tais medidas sustentáveis, utilizam-se sistemas computacionais no auxílio da irrigação de hortas verticais, promovendo o crescimento da plantação com o mínimo volume de água necessário.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além dos capítulos introdutórios citados anteriormente, o trabalho é organizado da seguinte maneira:

- ✓ Capítulo 2 – trata do referencial teórico, o qual detalha os principais temas abordados pelo estudo proposto, com ênfase em automação residencial, processos de irrigação, culturas de tomates e jardins verticais;
- ✓ Capítulo 3 – descreve os componentes de hardware do sistema de automação de acordo com as especificações de cada fabricante, o processo de desenvolvimento e funcionamento do software de monitoramento e o esquema eletrônico de montagem;
- ✓ Capítulo 4 – detalha os procedimentos metodológicos do trabalho, os quais são divididos em levantamento bibliográfico, plantação da hortaliça do estudo de caso e aplicação do sistema de automação para irrigação autônoma e monitoramento ambiental;
- ✓ Capítulo 5 – apresenta os resultados obtidos ao longo do experimento e discute quantitativamente o desenvolvimento do plantio com o auxílio do sistema de automação da cultura irrigada de forma empírica;
- ✓ Capítulo 6 – reserva as conclusões sobre esta pesquisa, apresentando as dificuldades encontradas e propostas para futuros trabalho com o tema relacionado.
- ✓ Capítulo 7 – apresenta as referências bibliográficas utilizadas para o estudo técnico das principais vertentes dessa pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AUTOMAÇÃO

A automação consiste na substituição do esforço humano por máquinas para realização de tarefas sensoriais ou braçais desgastantes. O funcionamento se dá pela programação de comandos lógicos em dispositivos eletrônicos processados, que funcionam como instruções para que os controladores se adequem ao cenário de específica atividade, podendo realizar, por exemplo, aferições de temperatura por meio de sensores ou/e o acionamento de motores, relés ou lâmpadas. Dessa forma, obtém-se regularidade nas funções, visto que não há mais o cansaço pelo estresse físico e mental, elevando a produtividade e reduzindo os custos de mão-de-obra (LAMB, 2015).

A automação teve início em 1940 com a implantação de novas técnicas de produção por um engenheiro da *Ford Motor Company* que trouxeram para as indústrias sistemas automáticos, os quais eram caracterizados pela utilização de dispositivos de controle eletromecânicos para substituir a mão-de-obra humana em determinadas estações de trabalho, fator que revolucionou o ramo automobilístico. Os principais componentes eram relés e temporizadores que realizavam de forma simples o acionamento lógico de ligar ou desligar motores e demais atuadores, promovendo a redução da intervenção humana para apenas pontos de tomada de decisão (LAMB, 2015).

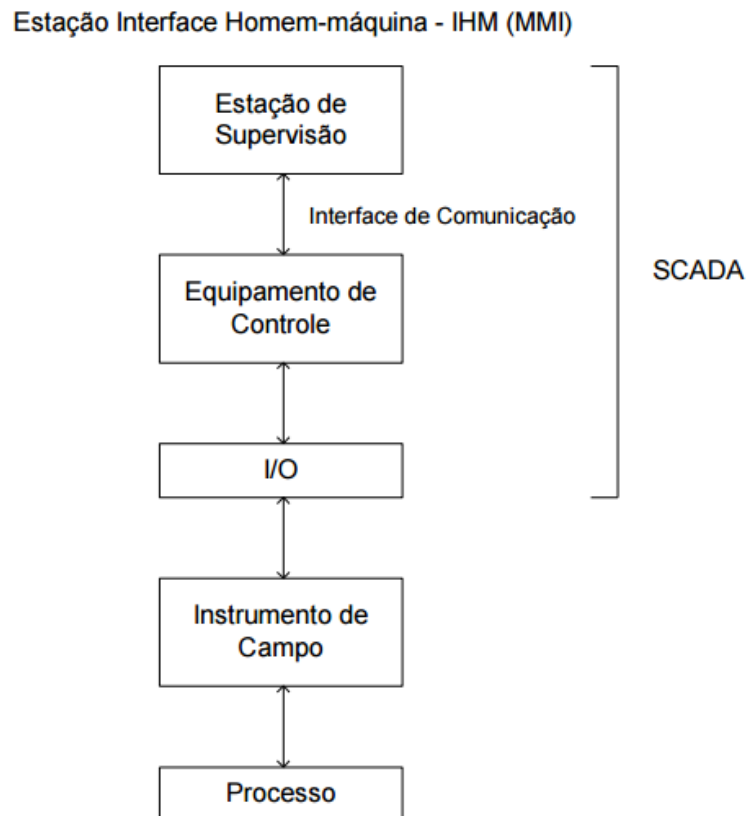
Na final da década de 70, com o advento do circuito integrado e novos dispositivos de hardware, tornou-se possível elevar consideravelmente o processamento de computadores e reduzir os custos de manutenção, que fez com que o ambiente tecnológico começasse a se popularizar. Dessa forma, fabricantes de equipamentos de automação cresceram e tornaram-se relevantes economicamente, estabelecendo o ramo tecnológico como mercado com grande potencial (LAMB, 2015). Atualmente, a automação encontra-se fortemente aplicada em diversos setores da economia, com uma gama diversificada de dispositivos computadorizados para controle, como exemplificado nos tópicos a seguir.

2.1.1 Industrial

Uma das vertentes da automação industrial é voltada para o desenvolvimento de softwares que permitem a troca de informações entre a sala de controle geral com o nível operacional, realizando, assim, o monitoramento e supervisão do chão de fábrica. A comunicação configura-se pela utilização de ferramentas padronizadas com interface homem-máquina de redes industriais, as quais possibilitam a manutenção de diferentes cenários fabris, efetuando, por exemplo, controle, calibração e acionamento remoto (ROSÁRIO, 2009).

Um dos sistemas supervisórios mais utilizados por indústrias é o SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), software que, além de realizar a comunicação entre a estação de supervisão com dispositivos de campo, como mostrado na Figura 2, proporciona a criação de ambientes virtuais baseados na linha de produção real, os quais possibilitam simulações e testes de hipóteses para se otimizar a produtividade (ROSÁRIO, 2009).

Figura 2 - Arquitetura do sistema SCADA



Fonte: Paes e Souza (2011, p. 20)

2.1.2 Comercial

No ramo comercial a automação trouxe a praticidade de utilizar *Smartphones* para a aquisição de produtos sem a espera de longas filas ou a necessidade de sair de casa, fatores que conquistaram grande parcela de consumidores, popularizando o conceito de *E-Commerce*. O comércio eletrônico consiste na utilização de tecnologias da informação a fim de disponibilizar a página virtual do estabelecimento para dispositivos móveis, que trouxeram benefícios, como rapidez no atendimento e possibilidade de transações financeiras ágeis, que são evidenciadas na Figura 3. Dessa forma, a Mobilidade Corporativa se mostra fator essencial para o sucesso de um negócio com o aumento da competitividade e visibilidade no mercado (FINCOTTO; SANTOS, 2014).

Figura 3 - E-Commerce



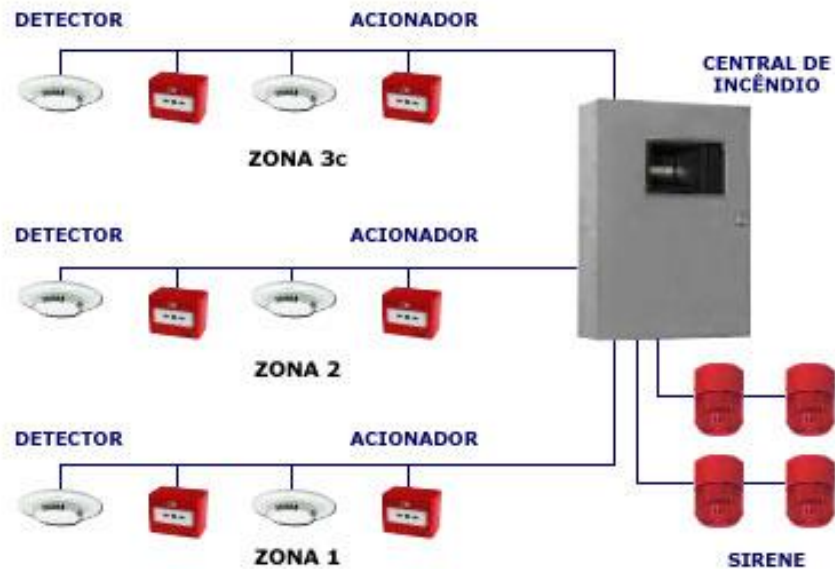
Fonte: Agência E-Plus – E-Commerce e Marketing (2016, online)

2.1.3 Predial

Com foco na área de segurança para edificações, a automação predial desenvolveu um sistema de detecção e combate a incêndios composto por uma central de comando e periféricos integrados, de acordo com o esquema visualizado na Figura 4. O processo inicia com a coleta de dados do ambiente através dos sensores, os quais são divididos em dois tipos: detecção de fumaça – captando

partículas ou fuligens no ar - e análise da temperatura, sensíveis a variações térmicas, que enviam sinais para controlador geral, o qual faz o tratamento dos valores monitorados e, de acordo com a lógica do programa, realiza a tomada de decisão (BRAGA, 2007).

Figura 4 - Sistema de detecção e alarme de incêndio

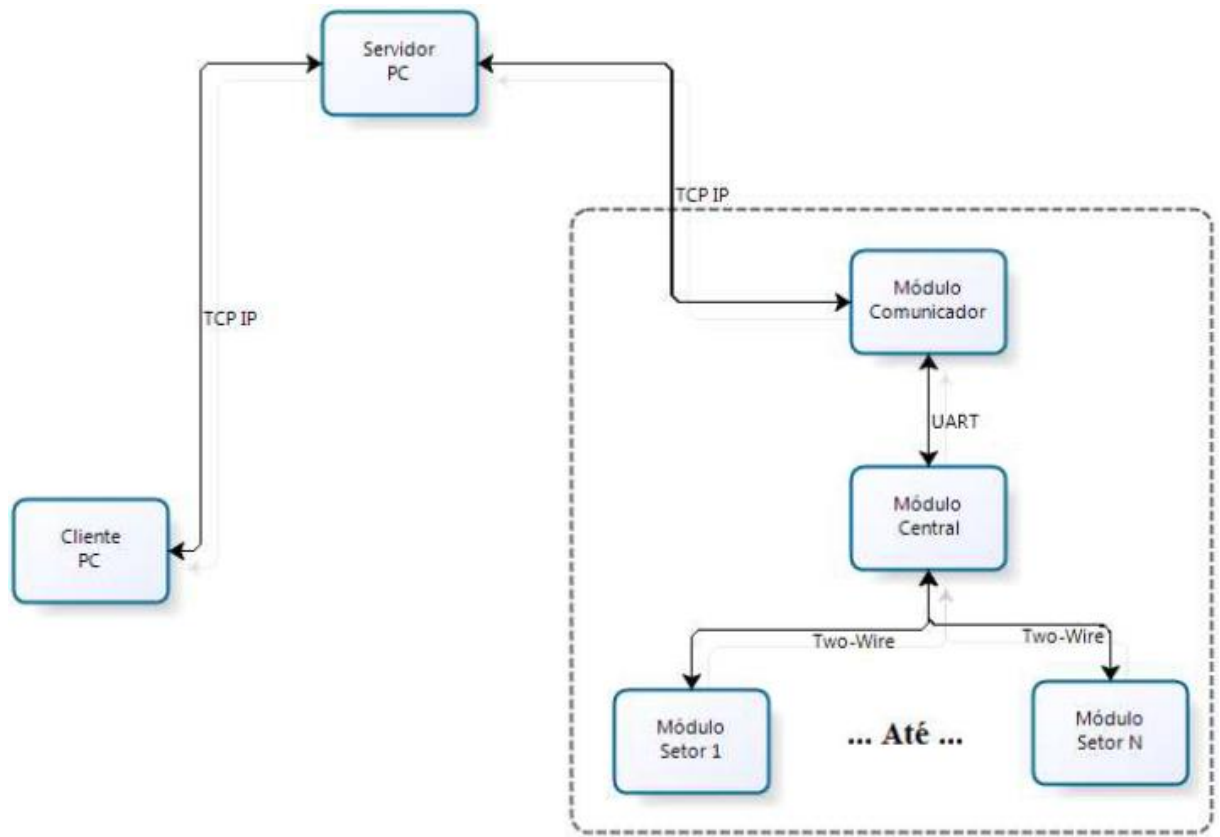


Fonte: Global System (2017, online)

2.1.4 Agrícola

O ambiente agrícola também se beneficiou com a implantação de sistemas automatizados, conseguindo, assim, elevar a produção alimentícia. Para exemplificar, tem-se o projeto de automação apresentado para melhor gerenciar a irrigação no ambiente rural, no qual sistemas computacionais, com baixo investimento, são aplicados para monitorar e automatizar a irrigação especializada de culturas, segundo o digrama de funcionamento mostrado na Figura 5. O sistema faz a integração de *hardware* e *software*, que possibilita o acionamento remoto de válvulas e administração do plantio através de um ambiente virtual (GUIMARÃES, 2011).

Figura 5 - Diagrama de Blocos do hardware



Fonte: Guimarães (2011, p. 13)

2.2 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

A automação residencial ou domótica consiste na utilização de sistemas tecnológicos integrados para o gerenciamento local ou remoto de atividades domiciliares cotidianas, os quais oferecem diversas aplicações nas áreas de comunicação, segurança e gestão de energia (LINS; MOURA, 2009).

Para exemplificar o emprego de processos automatizados em residências, a empresa Salt Engenharia (2017), de Belém (PA), especializada em automação domiciliar, desenvolveu um sistema para controle de iluminação que possibilita o gerenciamento de luzes através de um software destinado a dispositivos móveis, abrangendo diversificadas funções, como, acionamento remoto, controle de luminosidade, programação de rotinas e administração de consumo. Dessa forma, a ação humana é reduzida em diversas atividades repetitivas, fazendo com que o usuário tenha maior comodidade.

Em relação à economia do setor tecnológico, observa-se, de acordo com o relatório disponibilizado pelos analistas da *Transparency Market Research* (2017), estimativa crescimento de 491% para o mercado global de automação residencial no período de 2013 à 2020, como mostra a Figura 6, estatística que se justifica pelo barateamento de equipamentos eletrônicos e utilização de novos protocolos de comunicação, tornando ambientes domésticos inteligentes mais flexíveis e, conseqüentemente, realidade para os consumidores.

Figura 6 - Mercado global de Automação Residencial



Fonte: *Transparency Market Research* (2017, online)

2.2.1 Vantagens

A emergência do mercado mundial de automação residencial e a popularização de casas inteligentes também se justifica à grandes benefícios proporcionados aos usuários, em que, segundo Ferreira (2010), destacam-se as principais vantagens:

- ✓ Comodidade: gerenciamento de várias tarefas pelo mesmo dispositivo;

- ✓ Segurança: alarmes informativos de qualquer situação incomum no ambiente monitorado;
- ✓ Economia: gestão energética na utilização de equipamentos elétricos/eletrônicos;
- ✓ Valorização do imóvel: a tecnologia se mostra fator diferencial na revenda de residências.

2.2.2 Desvantagens

Para adquirir um sistema inteligente voltado para determinada área, contudo, é necessário tomar conhecimento de alguns fatores que podem vir a ser obstáculos para tal implantação, dessa maneira, de acordo com Botega (2007), os pré-requisitos para introdução da automação são:

- ✓ Investimento: mesmo com o barateamento dos equipamentos eletrônicos é necessário mão-de-obra qualificada para o dimensionamento de projetos que atendam todas as necessidades do cliente;
- ✓ Manutenção: é de grande importância para o bom funcionamento e segurança manutenções preventivas e/ou corretivas regularmente.

2.2.3 Tipos de Automação Residencial

Para o dimensionamento de projetos de automação residencial, é necessário a coleta de requisitos do cliente para a definição da abrangência do sistema e complexidade das funções. Desse modo, a automação residencial, segundo Oliveira e Petrek (2014), é dividida em três classes que determinam o grau de integração de uma residência:

- ✓ Sistemas Autônomos: são caracterizados por controles independentes, sem integração entre dispositivos do sistema, e funcionalidades limitadas, como ligar e desligar atuadores;
- ✓ Sistemas Integrados: consistem no gerenciamento e integração de vários subsistemas por um controlador central, que permite a

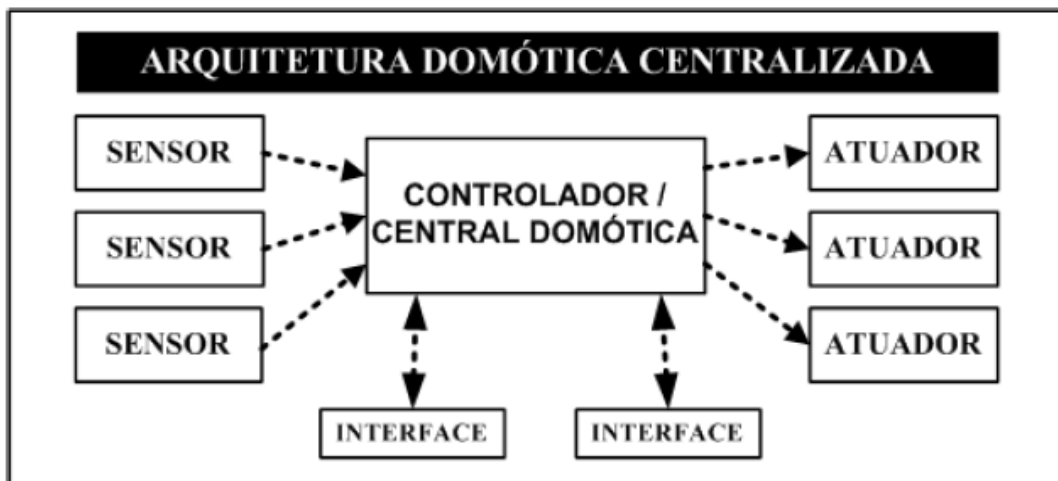
comunicação entre os equipamentos em rede e abrange maior campo de atuação;

- ✓ Sistemas complexos: considerado o mais alto grau da automação residencial, em que tais sistemas englobam o conceito de Internet das Coisas (Iot), possibilitando o acesso a todos os sistemas tecnológicos residenciais por apenas um dispositivo móvel com acesso à internet.

2.2.4 Arquitetura

A arquitetura de um sistema de automação define como os componentes do conjunto são interligados, sendo dividida em duas classificações: centralizada e distribuída. O primeiro grupo é caracterizado pela presença de apenas um controlador central, explicitado na Figura 7, gerindo todos os periféricos, o qual possui grande capacidade de processamento para o tratamento de dados recebidos dos sensores e envio de comandos lógicos para os atuadores (OLIVEIRA; PETREK, 2014).

Figura 7 - Arquitetura Centralizada

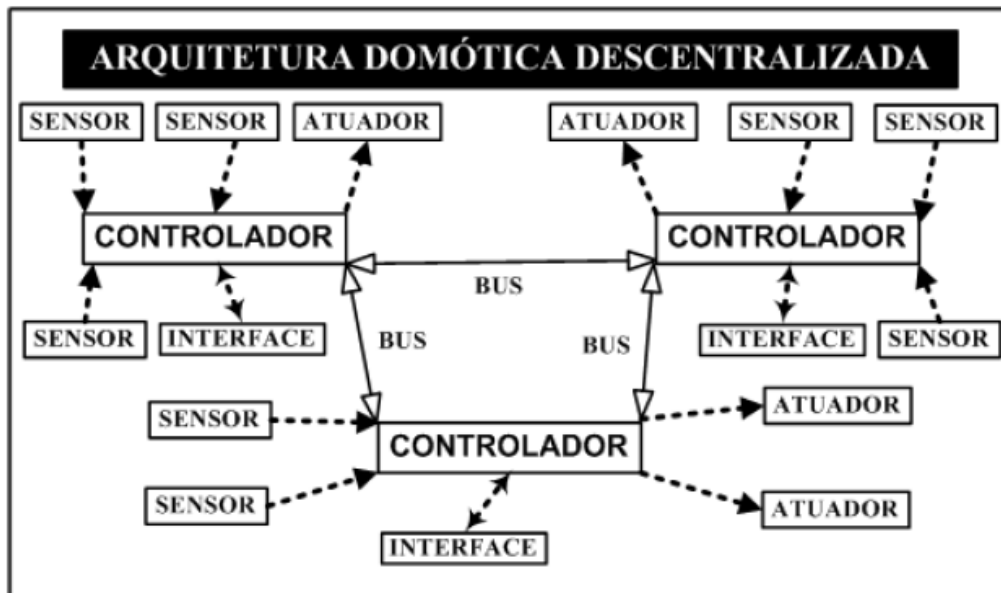


Fonte: Alievi (2008, p. 17)

A segunda classificação consiste na conexão de múltiplos controladores, que gerenciam e compartilham informações de diferentes sensores e interfaces por meio do protocolo de comunicação *bus*, como demonstra a Figura 8. Tal arquitetura é

frequentemente empregada para o monitoramento de cenários mais complexos (ALIEVI, 2008).

Figura 8 - Arquitetura Distribuída



Fonte: Alievi (2008, p. 18)

2.2.5 Protocolos

Os protocolos de comunicação especificam e padronizam normas para a troca de dados entre dispositivos de uma rede de automação, fazendo com que as informações não se percam na malha de transferência e possam ser processadas corretamente por equipamentos de diferentes fabricantes (LAMB, 2015). Como exemplo, tem-se o X10, protocolo bastante popularizado na automação residencial, como destacado no tópico a seguir.

2.2.5.1 Protocolo X10

A tecnologia X-10 *Power Line Carrier* (PLC) é o padrão mais antigo e utilizado na automação residencial, a qual foi desenvolvida para aliar baixo custo com sistemas automatizados. O protocolo descreve a comunicação remota bidirecional entre transmissores e receptores que utilizam como meio de transmissão a rede elétrica tradicional (*powerline*), onde é realizado o envio de pacotes com a

identificação do comando, seguido pelo endereçamento do receptor a ser acionado, o qual consiste em um adaptador conectado à tomada. Visto tais características, pode-se constatar que o desempenho do protocolo é limitado por causa do excesso de ruído na rede elétrica e à arquitetura centralizada, com velocidade e processamento reduzidos, o que o torna mais aplicado em sistemas com poucas exigências (OLIVEIRA; PETREK, 2014).

2.2.6 Redes de Comunicação

As redes de comunicação são aplicadas ao controlador do sistema para realizar o envio e recebimento de grande quantidade de dados, que podem ser de origem analógica ou digital, a partir da topologia de rede (LAMB, 2015). Sendo assim, os principais métodos de comunicação são descritos abaixo

2.2.6.1 Serial

A comunicação serial utiliza protocolos baseados no código da *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII) para o envio e recebimento de sequências digitais de uns e zeros através de cabeamento simples ou composto. Na aplicação em sistemas computacionais, a principal tecnologia utilizada para transmissão é o *recommended standards 485* (RS485), padrão regulamentado pela *Telecommunication Industry Association* (TIA) que utiliza um par de fios trançados com configuração multiponto ou cascata para transportar de forma unidirecional ou bidirecional *bits*, os quais alcançam grandes distâncias com elevada velocidade devido à baixa tensão necessária (LAMB, 2015).

Segundo Silva e Carvalho (2011, p. 17):

As informações digitais que são transmitidas em um canal de comunicação, na maioria das vezes são compostas de vários *bits*. Os blocos de *bits* de uma mensagem são quebrados em blocos menores e transmitidos sequencialmente, ou seja, são enviados um de cada vez. Esta transmissão é chamada de bit-serial e cada *bit* representa uma parte da mensagem. Os *bits* individuais são rearranjados no receptor para compor a mensagem original. A transmissão bit-serial normalmente é chamada de comunicação serial ou transmissão serial e é a comunicação mais usada em periféricos de microcomputadores e outros equipamentos eletrônicos.

2.2.6.2 Paralela

A comunicação paralela permite o envio de múltiplos dígitos através de cabeamento composto, aumentando a taxa de transferência e, conseqüentemente, o custo com infraestrutura. Dessa forma, a tecnologia é utilizada para curtas distâncias, como transmissão de dados entre os chips da Central Processing Unit (CPU) e registradores no processamento de uma placa controladora (LAMB, 2015).

2.2.6.3 Bluetooth

Segundo Oliveira e Petrek (2014, p. 34):

O *Bluetooth* é composto por um rádio, controlador digital, gerente de enlace, interface de controle e uma biblioteca de programas de aplicação. O rádio opera na faixa de 2.4GHz com uma potência entre 1 mW a 100 mW. A transmissão de dados é feita através de pacotes em espalhamento espectral de 79 canais, separados de 1MHz, começando em 2.402 GHz e terminando em 2.480 GHz. Na camada de Banda Base, o controlador digital é responsável por construir e decodificar os pacotes de dados, tratar a correção de erros e cuidar da criptografia. O gerente de acesso cria os links entre as conexões e os monitora. O L2CAP gerencia aspectos de alto nível como a lista de conexões e dispositivos e também opera como uma interface convertendo os dados para a comunicação das camadas mais baixas com a de aplicação, a API.

2.2.7 Componentes

Nesse tópico serão abordados os principais componentes de um sistema de automação residencial, destacando os fabricantes mais difundidos no setor tecnológico e suas especificações.

2.2.7.1 Microncontroladores

A tecnologia embarcada está presente no cotidiano de grande parcela da sociedade para o auxílio ou realização de diversas tarefas em diferentes áreas. Sendo assim, o conceito de microcontrolador é definido como sistemas eletrônicos microprocessados que realizam função específica, os quais são caracterizados pelo reduzido tamanho físico e, cada vez mais, baixo custo de aquisição. Desse modo, os microcontroladores são compostos, segundo Silva e Carvalho (2011), pelas seguintes estruturas de hardware:

- ✓ Microprocessador: também denominado CPU, é o centro de processamento do sistema embarcado, o qual executa o programa gravado previamente na memória da placa para o gerenciamento de periféricos e tomada de decisão;
- ✓ Memória volátil (RAM, SRAM, DRAM): são memórias que realizam operações de leitura e escrita capazes de armazenar dados a curto prazo, visto que ao desligar o equipamento, as informações contidas são descartadas.
- ✓ Memória não-volátil (ROM, EPROM, EEPROM): são memórias destinadas ao armazenamento do programa e do *firmware* do microcontrolador, as quais mantêm os dados mesmo sem o equipamento energizado;
- ✓ Entradas e saídas (I/O): são portas de origem digital ou analógica destinadas à integração de periféricos, como sensores e atuadores, que realizam a comunicação do microcontrolador com o ambiente externo.

2.2.7.1.1 Microcontrolador Atmel

A *Atmel Corporation*, fundada em 1984, é uma das principais fabricantes de componentes eletrônicos que se destaca no setor tecnológico pela produção de microcontroladores com arquitetura própria, designada *Atmel AVR*. Segundo a *Atmel* (2017), os modelos *Atmel AVR 8-bit* e *Atmel AVR 32-bit* são programados em linguagem C ou *assembly*, os quais oferecem melhor performance, redução de consumo energético e alto nível de integração, tornando-os bastante eficientes em projetos de automação industrial e residencial. Na Figura 9, explicitam-se as especificações dos dispositivos da família AVR UC3 de 32 *bits*.

Figura 9 - Especificações Atmel AVR UC3 de 32 bits

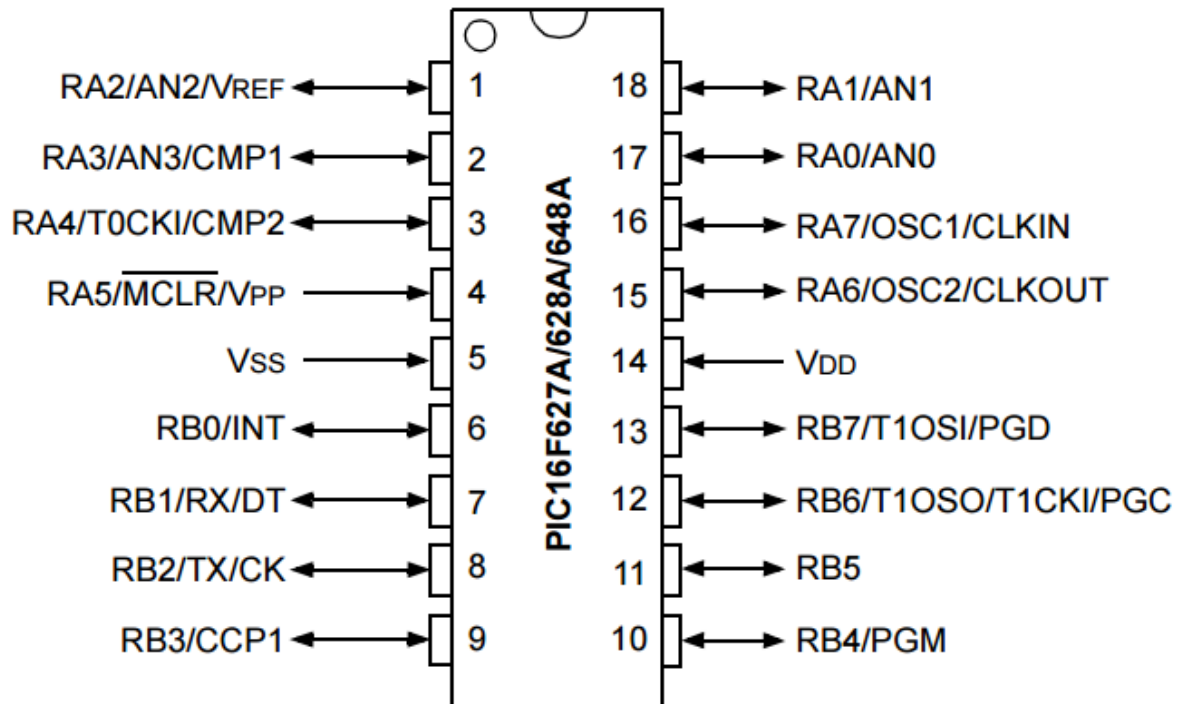
Família de dispositivos	Benefícios resumidos	Aplicações	Tecnologias	Principais parâmetros
<u>AVR UC3 de 32 bits</u>	O MCU de 32 bits mais eficiente do mundo	Aplicação geral	picoPower SleepWalking FlashVault DMA Sistema de Eventos Autoprogramação	16-512kB Flash 48-144 pinos Até 66MHz 1,5MIPS/MHz

Fonte: *Atmel* (2017, online)

2.2.7.1.2 Microncontrolador PIC

A *Microchip Technology* é outra grande empresa no fornecimento de microcontroladores e semicondutores analógicos que desenvolve dispositivos de baixo custo para diversificados perfis de clientes no mundo. Os modelos mais popularizados são da família PIC, caracterizados pelo processamento de até 32 *bits* e programação nas linguagens C, *assembly*, *basic* e *ladder*. Além disso, os microcontroladores possuem diversos periféricos internos, como controladores de comunicação e detectores na falha de alimentação, que ampliam as funcionalidades e elevam a performance (SILVA; CARVALHO, 2011). Na Figura 10, destaca-se a configuração de portas digitais e analógicas dos modelos PIC16F627A/628A/648A.

Figura 10 - Diagrama de pinos PIC16F627A/628A/648A



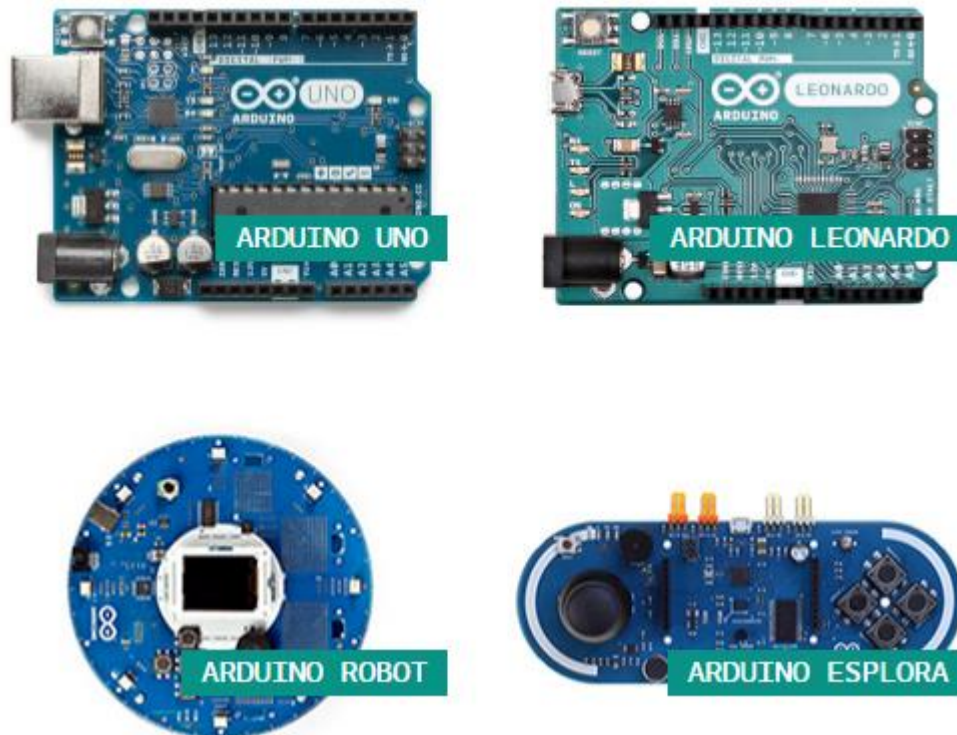
Fonte: Microchip (2007, p. 2)

2.2.7.1.3 Microcontrolador Arduino

O Arduino é uma plataforma de computação embarcada programada em linguagem baseada em C que utiliza microcontroladores da ATMEL, especificamente ATmega128 e ATmega328, para projetos de controle e automação. Assim, pode-se realizar, por exemplo, o acionamento remoto de lâmpadas ou o monitoramento da temperatura de um ambiente (MCROBERTS, 2015).

O microcontrolador também possui Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) *open source*, o qual pode ser obtido na página oficial do fabricante de forma gratuita e dispõem de extensa comunidade de desenvolvedores que disponibilizam grande acervo de códigos de programação para o estudo e implementações em novos projetos. Além disso, o Arduino possui a capacidade de expandir suas funções através da utilização de componentes eletrônicos denominados *Shields*, que agregam novas funcionalidades, como controle de motores ou acesso à internet, ampliando a usabilidade do sistema embutido (SILVA; CARVALHO, 2011). Na Figura 11, destacam-se 4 modelos da plataforma embarcada.

Figura 11 - Modelos Uno, Leonardo, Robot e Esplora da plataforma Arduino



Fonte: Arduino (2017, online)

2.2.7.2 Sensores

Os sensores são periféricos de monitoramento que são divididos em dois tipos quanto ao fornecimento de informações para o controlador central de um sistema de automação: discretos, os quais indicam apenas os valores 0 ou 1 – desligado ou ligado – representando, por exemplo, a posição de um atuador, e analógicos, descrevendo numericamente grandezas contínuas, como, pressão, temperatura ou umidade (LAMB, 2015).

As principais grandezas monitoradas em um sistema supervisório são: temperatura, que se destacam os tipos termopares devido ao baixo custo e larga faixa de operação, umidade, com larga utilização de dispositivos capacitivos e resistivos para medir o volume de água em forma de vapor, e fotoelétricos, os quais apresentam menor *delay* do que sensores mecânicos na captação de dados e são frequentemente empregados no controle inteligente de iluminação (OLIVEIRA; PETREK, 2014).

2.2.7.3 Atuadores

Os atuadores são dispositivos eletrônicos que tem a capacidade de modificar o meio em que estão aplicados a partir de instruções do controlador do sistema. Para exemplificar, tem-se a utilização de válvulas solenoides para o controle do fluxo de injetores em automóveis, e, também, o movimento linear de motores que controla válvulas mecânicas e promove o contato elétrico em relés para o acionamento da bomba do sistema de combustível (Gouvêa et al., 2014).

2.3 IRRIGAÇÃO

O processo de irrigação consiste em disponibilizar recursos hídricos às plantações com o intuito de suprir necessidades básicas para bom desenvolvimento. Para fornecimento de forma eficiente e sem desperdícios, é necessário o conhecimento das especificações agrônomas da cultura, como, por exemplo, saturação das raízes à água, frequência de exposição à raios solares e clima mais propício para o florescimento, para, assim, determinar estratégias de irrigação (LIMA et al., 2016).

Objetivando-se a economia de água em processos de irrigação, a região Norte, mais especificamente em Belém, no Pará, mostra-se como cenário propício para o alcance de tal meta, visto que, de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a umidade relativa do ar em janeiro de 2017 apresentou números extremamente altos comparados a outras regiões do Brasil, como mostra a Figura 12, e, somado a estes dados, tem-se o índice pluviométrico também elevado, com precipitações de chuva com frequência, de acordo com a Figura 13. Dessa forma, pode aplicar-se um controle de irrigação, uma vez que há possibilidade de fatores naturais suprirem boa parte do volume hídrico necessário.

Figura 12 - Umidade relativa do ar em janeiro de 2017



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2017, online)

Figura 13 - Chuva acumulada em janeiro de 2017



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2017, online)

Nesse contexto, sistemas computacionais vêm sendo empregados para automação e monitoramento ambiental, tendo destaque a plataforma de robótica Arduino, com a qual é possível integrar sensores e atuadores para a supervisão e fornecimento de regas específicas, que variam de acordo com o ambiente proposto. No cenário citado acima, por exemplo, a irrigação seria reduzida ao extremo em função das frequentes chuvas, entretanto, em regiões mais secas, o volume hídrico

irrigado seria contínuo com apenas o essencial para o florescimento da cultura, reduzindo as perdas (FERREIRA et al., 2016).

2.3.1 Sistemas tecnológicos aplicados no processo de irrigação

Seguindo essa linha de raciocínio, as ferramentas tecnológicas trouxeram grandes benefícios para a atividade produtiva agrícola a partir da utilização de sistemas de automação, seja na área residencial – pequena escala – ou rural, larga escala, que tiveram como resultados o aumento da produtividade dos vegetais e a redução de perdas de recursos hídricos (LIMA et al., 2016).

Baseado na aplicação tecnológica citada acima, os principais dispositivos encontrados em sistemas de automação na agricultura são: bombas hidráulicas, que transformam energia mecânica em hidráulica a fim de efetuar o deslocamento de líquidos por escoamento para processos de irrigação, sensores de umidade, para o monitoramento do solo com o intuito de melhorar a precisão de regas, e temporizadores eletrônicos, os quais possuem um contador para o controle do tempo de irrigação (LIMA et al., 2016).

2.4 TOMATE

O tomate (*Lycopersicon esculentum*) é um dos frutos mais consumidos e produzidos ao redor do mundo, seja na forma natural ou industrializada. De acordo com estatísticas publicadas pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), em 2008, a produção global de tomate foi de aproximadamente 127 milhões de toneladas, a qual apresenta um crescimento de 10% em relação ao ano de 2002. Contata-se, também, segundo Salvador (2016), dados da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB), o Brasil como 8º maior produtor de tomate no mundo.

A alta produção explica-se pela popularidade do fruto, sendo consumido por vários países com culturas bem distintas. Outro fator importante é a presença de substâncias antioxidantes na hortaliça, que classifica o tomate como alimento funcional, o qual traz benefícios metabólicos e fisiológicos à saúde, como, prevenção

de doenças crônicas não transmissíveis e redução de risco de específicos cânceres (BORGUINI; SILVA, 2005).

A introdução do tomate no Brasil ocorreu no final século XIX por imigrantes europeus e, em pouco tempo, o alimento popularizou-se e tornou-se de grande importância, sendo cultivado em vários estados do país. Os ambientes mais propícios para a cultura de tomates – Figura 14 – são regiões com clima tropical de altitude, como planaltos e áreas de serra (INÁCIO, 2012).

Além desses fatores, a irrigação tem forte influência, não só na produtividade, todavia, também, na qualidade dos frutos. Portanto, para o melhor rendimento da plantação, é necessário que as raízes das plântulas encontrem teor mínimo de aproximadamente 80% de água útil no solo durante as 4 etapas de desenvolvimento do tomate, divididas, de acordo com Inácio (2012), em:

- ✓ Inicial: da plantação das sementes até o aparecimento do embrião vegetal ou a germinação das mudas, com duração de 15 dias;
- ✓ Vegetativa: fase caracterizada pelo crescimento de 80% do vegetal, que é compreendida do 16º dia até o 45º;
- ✓ Produção: do término da 2ª fase até o início da maturação dos frutos, com aproximadamente 40 dias;
- ✓ Pré-colheita: a partir do 87º dia até a colheita dos frutos.

Figura 14 - Plantação de tomate



Fonte: Boiteux (2013, online)

2.5 JARDINS VERTICAIS

Tendo em vista o crescimento frenético dos centros urbanos e o esgotamento de áreas disponíveis para vegetação, os jardins verticais surgem como boa proposta para recuperação ambiental em razão da vegetação utilizar superfícies verticais dos edifícios para o desenvolvimento. Dessa forma, com a implantação de hortas verticais, a qualidade de vida nas grandes cidades é elevada, que tem como principal efeito a amenização do clima devido a proteção solar para as fachadas das edificações (GENGO; HENKES, 2013).

Os jardins verticais podem ser classificados em diversas tipologias de acordo com as particularidades das edificações e do paisagismo do projeto que apresentam diferentes potencialidades para o meio urbano. Dessa maneira, elucidam-se, abaixo, segundo Scherer e Fedrizzi (2014), os dois principais modelos de plantações verticais:

- ✓ Fachada verde tradicional: caracterizada pela plantação de espécies em que as raízes são auto aderentes e se fixam em substratos – bancos, muros, etc – formando um revestimento verde no edifício, demonstrado na Figura 15;

Figura 15 - Revestimento verde em edificações



Fonte: Leite (2015, online)

- ✓ Cortina verde: também chamada de dupla fachada verde (Figura 16), é classificada pela necessidade da instalação de suportes para o desenvolvimento da vegetação, como peças metálicas para jardinagem ou treliças, as quais são amplamente utilizadas em paredes envidraçadas realizando função de “escudo” solar no projeto arquitetônico.

Figura 16 - Cortina verde revestindo janelas envidraçadas



Fonte: Scherer e Fedrizzi (2014, p. 59)

3 ESPECIFICAÇÃO DE HARDWARE E SOFTWARE

Nesse capítulo será explicitado todo o hardware e software utilizado no projeto, destacando-se as especificações dos dispositivos e o esquema eletrônico do sistema.

3.1 MICROCONTROLADOR

Foi utilizada a plataforma Arduino, modelo Uno (Figura 17), para controle central e processamento do sistema de irrigação autônomo em razão da característica *open source* da plataforma, que disponibiliza grande literatura para o estudo das funcionalidades e limitações em projetos, e da variedade de periféricos no mercado, os quais possibilitam diversas aplicações no ramo da automação. Dessa maneira, a tabela 1 exibe as especificações técnicas do Arduino.

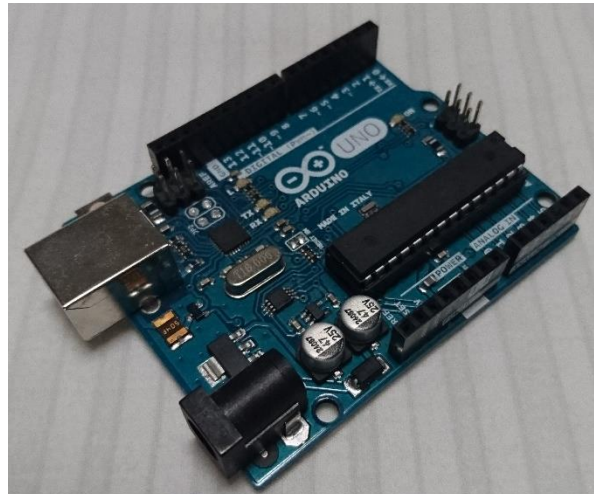
Tabela 1 - Especificações Arduino Uno

Microcontrolador	ATmega328P
Tensão de Operação	5V
Tensão de Entrada (recomendado)	7-12V
Tensão de Entrada (limite)	6-20V
Pinos Digitais I/O	14
Pinos Digitais PWM I/O	6
Pinos Analógicos de Entrada	6
Corrente DC p/ Pinos I/O	20 mA
Corrente DC p/ Pino 3.3V	50 mA
Memória Flash	32 KB (ATmega328P)
Memória SRAM	2 KB (ATmega328P)

Memória EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Frequência do Clock	16 MHz
Pino com LED Integrado	13
Comprimento	68.6 mm
Largura	53.4 mm
Peso	25 g

Fonte: Adaptado de Arduino (2017, online)

Figura 17 - Arduino Uno



Fonte: Autor (2017)

3.2 BOMBA SUBMERSA

A bomba submersa – Figura 18 – é o atuador responsável por transportar água do reservatório para a área do plantio, o qual simplifica a estrutura do projeto por dispensar torneiras ou tubulações próximas, visto que é necessário apenas um recipiente para o armazenamento do líquido, no qual o componente é submergido. Para realizar o controle do equipamento corretamente e com segurança, tem-se, abaixo, as especificações técnicas do dispositivo modelo FP-100, disponibilizadas pela fabricante Boyu (2017):

- ✓ Tensão de entrada: AC230/115V;

- ✓ Vazão máxima: 120L/h;
- ✓ Coluna d'água máxima: 0,3m;
- ✓ Potência: 1,5W;
- ✓ Conexão: 8mm;
- ✓ Dimensões: 40 x 36 x 42mm.

Figura 18 - Bomba Submersa



Fonte: Autor (2017)

3.3 RELÉ

O relé, representado na Figura 19, é um interruptor que permite o acionamento de grande parte dos equipamentos elétricos a partir do manejo da fiação em três terminais: normalmente fechado (NF), comum (C) e normalmente aberto (NA).

Os terminais C e NF estão, inicialmente, em contato até que uma tensão de 5V seja aplicada, a qual faz a corrente elétrica percorrer a bobina presente no interior do relé e, em seguida, gerar um campo magnético que modifica a posição da alavanca interna e comunica os contatos C e NA. Para auxiliar na instalação com o microcontrolador, devem ser seguidas as especificações técnicas do modelo V2.2: disponibilizadas pelo fabricante RoboCore (2017):

- ✓ Tipo: digital;
- ✓ Sinal de controle: nível TTL;

- ✓ Bobina: 5V DC, 75mA;
- ✓ Carga nominal: 12A 125V AC, 7A 250V AC;
- ✓ Tempo de acionamento de contato: 10ms.

Figura 19 - Módulo Relé



Fonte: Autor (2017)

3.4 SENSOR DE UMIDADE DO SOLO

O sensor de umidade do solo – Figura 20 – capta o volume hídrico na área do cultivo por meio da descarga de uma corrente de 35mA no terreno que verifica a condutividade elétrica do meio, a qual gera valores analógicos de 0 a 1023, sendo 0 o mais úmido e 1023 o mais seco. Para realizar essas aferições é feita a integração do sensor com o Arduino baseado nas especificações do modelo FC-28 disponibilizadas pelo fornecedor Ponto da Eletrônica (2017):

- ✓ Tensão de funcionamento: 3,3V-5V;
- ✓ Tamanho do sensor: 6x2cm;
- ✓ Tamanho do módulo de controle: 3x1,6cm.

Figura 20 - Sensor de umidade do solo higrômetro



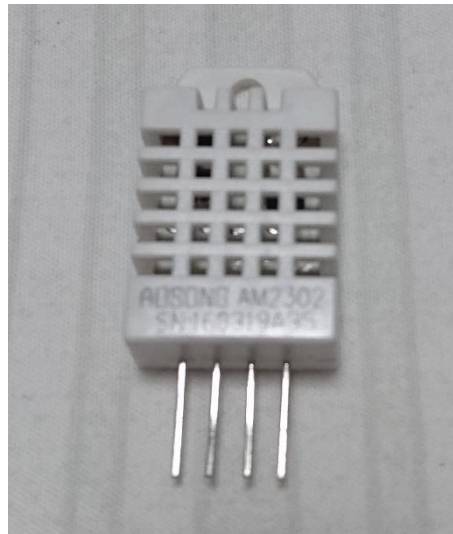
Fonte: Autor (2017)

3.5 SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE DO AR

O sensor DHT22 realiza aferições da temperatura ambiente e umidade relativa do ar através da sensibilidade da resistência e capacitância dos componentes internos. Para tal, o sensor, demonstrado na Figura 21, é integrado com o Arduino seguindo as seguintes configurações do modelo AM2302 disponibilizadas pelo fornecedor FilipeFlop (2017):

- ✓ Tensão de operação: 3V-5V DC;
- ✓ Faixa de medição de umidade: 0 a 100% UR;
- ✓ Faixa de medição de temperatura: -40°C a +80°C;
- ✓ Corrente: 2,5mA durante uso, em *stand by* de 100uA a 150uA;
- ✓ Precisão de medição de umidade: 2,0% para mais ou para menos;
- ✓ Precisão de medição de temperatura: 0,5°C para mais ou para menos;
- ✓ Tempo de resposta: 2s;
- ✓ Dimensões: 25 x 15 x 7 mm.

Figura 21 - Sensor de umidade relativa do ar e temperatura



Fonte: Autor (2017)

3.6 RESISTOR

O resistor é um componente que possui a função de limitar a corrente em circuitos, fazendo com a alimentação elétrica que chegue em equipamentos seja dentro da faixa de funcionamento dos mesmos (LAMB, 2015). Dessa maneira, de acordo com o desenho elétrico do projeto, um resistor de 10k Ω foi utilizado no terminal de dados do sensor DHT22 para que não haja danos originados pela fonte.

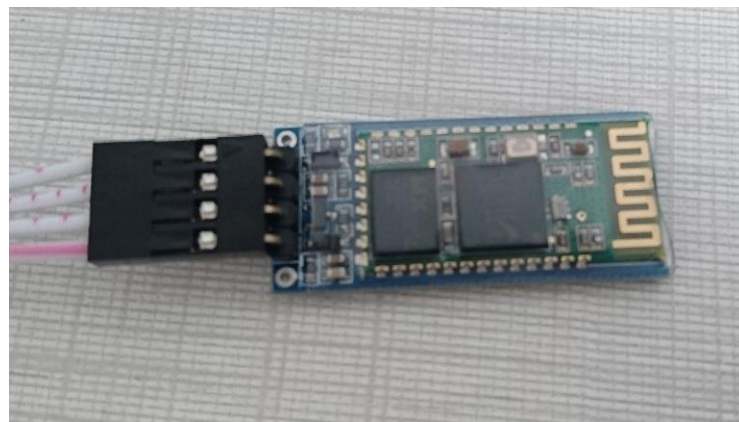
3.7 MÓDULO BLUETOOTH

O módulo Bluetooth (Figura 22) realiza a comunicação wireless da plataforma Arduino com o *Smartphone Android*, o qual envia os dados monitorados pelo sensor para a interface do usuário. O módulo opera com as seguintes configurações do modelo HC-06 disponibilizadas pelo fornecedor Baú da Eletrônica (2017):

- ✓ Tensão de alimentação: 3,6V-6V;
- ✓ Alcance do sinal: 10m;
- ✓ Frequência: banda de 2.4Ghz;
- ✓ Modulação: *Gaussian Frequency Shift Keying* (GFSK);
- ✓ Potência de transmissão: não mais do que 4dBm, classe 2;

- ✓ Sensibilidade: não superior a -84dBm 0,1% BER;
- ✓ Taxa de dados: assíncrono: 2.1Mbps (Max) / 160Kbps – síncrono: 1Mbps/1Mbps;
- ✓ Perfis suportados: *Bluetooth Serial Port (slave)*;
- ✓ Alimentação: 5V DC / 50mA;
- ✓ Taxa máxima de transmissão serial: 1382400bps;
- ✓ Configuração padrão: 9600bps/ senha: 1234;
- ✓ Dimensões: 4,3 x 1,6 x 0,7cm.

Figura 22 - Módulo Bluetooth HC-06



Fonte: Autor (2017)

3.8 SOFTWARE DE MONITORAMENTO

Com a utilização da plataforma *App Inventor 2*, disponibilizada pelo Instituto de Tecnologia de *Massachusetts* (MIT), foi desenvolvido o software de monitoramento do sistema de automação, o qual informa ao usuário a umidade do solo (US), temperatura (T) e umidade relativa do ar (URA), possibilitando a análise do ambiente em que será realizado o plantio e manutenções corretivas no projeto, de acordo com a Figura 23.

Figura 23 - Software de monitoramento

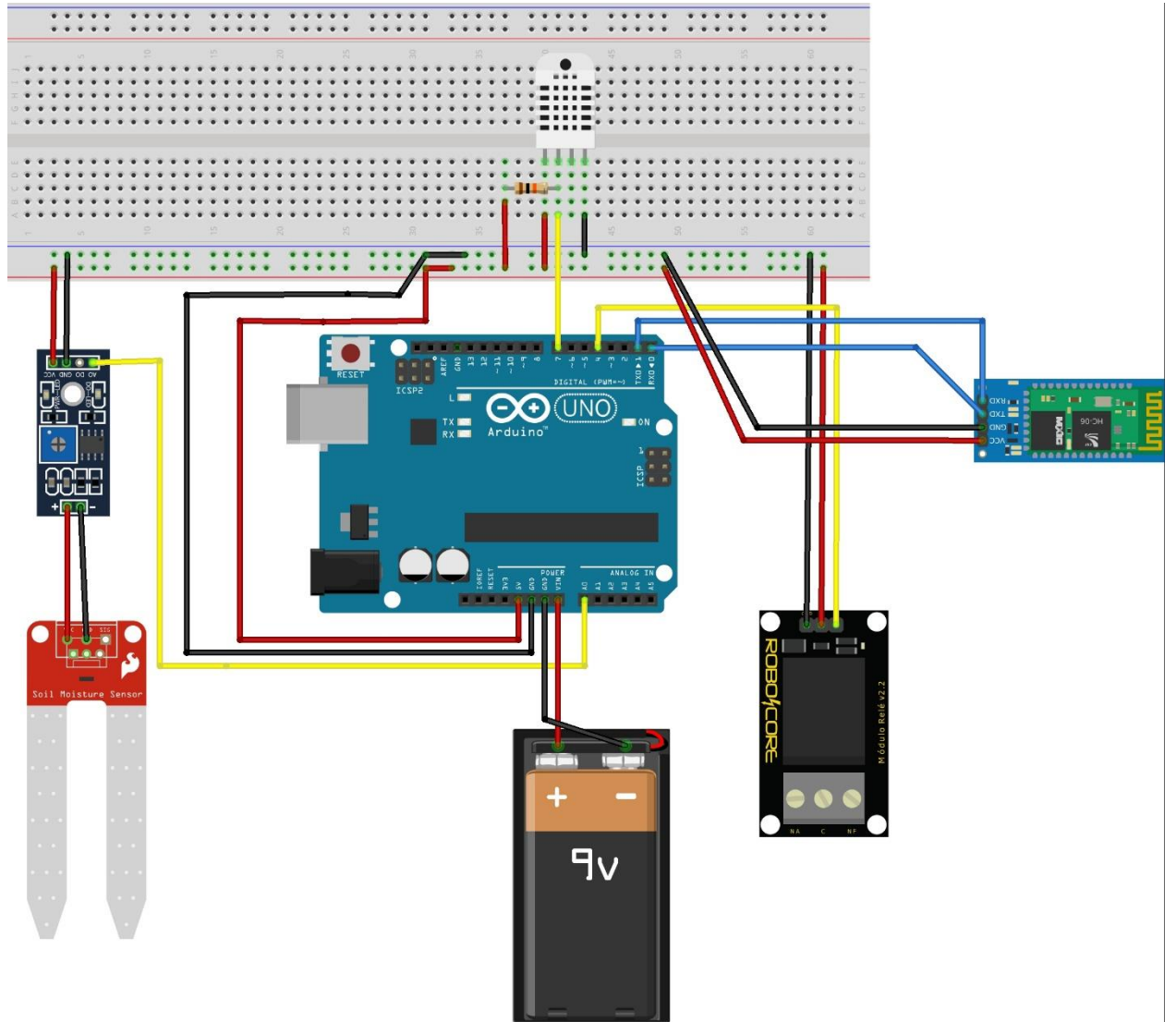


Fonte: Autor (2017)

3.9 ESQUEMA ELETRÔNICO

A Figura 24 representa as ligações eletrônicas do projeto e a disposição dos componentes do sistema.

Figura 24 - Esquema eletrônico



fritzing

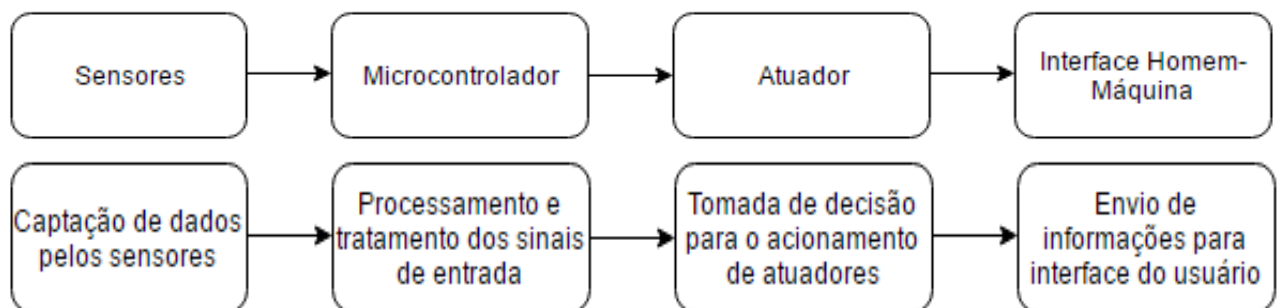
Fonte: Autor (2017)

3.9.1 Funcionamento

O funcionamento do sistema inicia com a coleta de dados em tempo real das variáveis monitoradas pelos sensores FC-28 e DHT22, que captam, respectivamente, nível de água útil no solo, umidade relativa do ar e temperatura ambiente. Em seguida, o microcontrolador efetua o processamento dos dados coletados e realiza operação aritmética comparativa para determinar se a umidade do solo está inferior ao parâmetro configurado, o qual corresponde a 85%, para verificar a necessidade do acionamento da bomba de água, que possibilita a irrigação. As variáveis umidade relativa do ar e temperatura não influenciam na tomada de decisão, visto que as mesmas são coletadas com o objetivo de avaliar a influência na umidade do solo. O fim do processo é marcado pelo envio das informações captadas para a interface do usuário disponível em um *smartphone Android*.

O diagrama de blocos abaixo representa o funcionamento do sistema de acordo com cada componente.

Figura 25 - Diagrama de blocos do funcionamento do sistema



Fonte: Autor (2017)

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos para a realização desse trabalho foram divididos em 3 etapas: pesquisa, que reuniu a seleção de referências bibliográficas para o estudo teórico, plantação, a qual consistiu no plantio de 2 vasos com 6 sementes de tomates em cada para o estudo de caso e, por fim, monitoramento, etapa que foi aplicado o sistema de automação para irrigação automática e coleta de dados para análise de resultados.

Na primeira etapa foi realizado um levantamento bibliográfico na base de dados do Google Acadêmico para o estudo e aprofundamento do tema proposto. A pesquisa foi dividida em dois grupos, nos quais o primeiro considerou artigos, monografias, projetos e teses de mestrado e doutorado com publicação entre os anos de 2002 e 2017 de temática relacionada à automação aplicada. O segundo conjunto agrupou as mesmas modalidades de trabalhos científicos, porém, com ênfase para a agronomia, com foco em irrigação e culturas de tomates.

Na segunda etapa do projeto, manipulou-se um tomate, da espécie *Lycopersicon esculentum*, do qual foram retiradas e isoladas 20 sementes, para plantação – Figura 26 – e adubos destinados ao enriquecimento do solo. A coleta de todo o material orgânico foi realizada a partir do mesmo fruto, evitando que grãos de origem diferentes influenciassem positiva ou negativamente em uma das plantações.

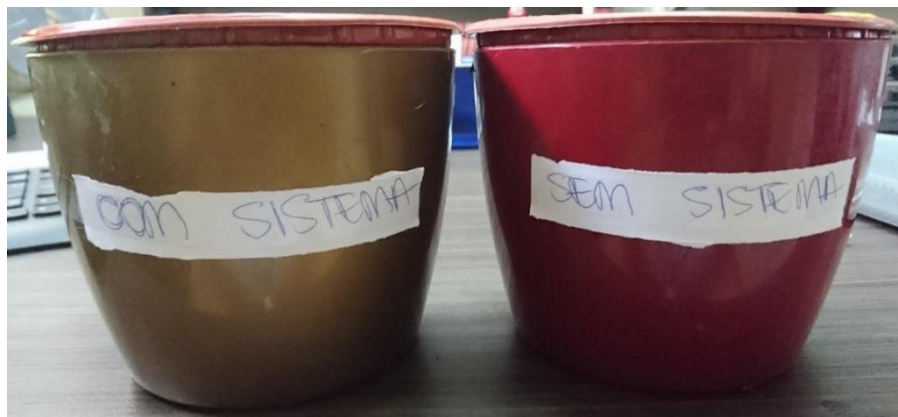
Figura 26 - Separação das sementes



Fonte: Autor (2017)

Posteriormente, foram separadas duas estruturas de jardinagem com as mesmas dimensões, as quais impossibilitaram, também, que uma plantaço se beneficiasse com mais área disponível para o desenvolvimento do que outra. Dessa forma, identificou-se cada vaso com etiquetas (Figura 27), diferenciando a cultura onde o sistema eletrônico de irrigação foi aplicado do plantio regado de forma empírica.

Figura 27 - Vasos iguais para plantaço



Fonte: Autor (2017)

Em seguida, foi feito o plantio de 6 sementes em cada recipiente, sendo as outras 8 extraídas do fruto descartadas por incompatibilidade espacial das estruturas utilizadas. Foi depositada terra, em quantidades iguais, proveniente do mesmo fornecedor de artigos de jardinagem, juntamente com a aplicação do adubo para o plantio das sementes, como mostrado na Figura 28. Então, as culturas foram postas no mesmo ambiente, no qual o único fator variável a que foram expostas foi o volume hídrico irrigado.

Figura 28 - Plantaço de sementes e aplicação de adubo



Fonte: Autor (2017)

Na terceira fase do projeto, foi utilizado o microcontrolador Arduino integrado com sensores de umidade do solo (FC-28), umidade relativa do ar e temperatura ambiente (DHT22) para o monitoramento da cultura. Após a coleta de dados, as informações eram armazenadas em um banco de dados e enviadas através da comunicação *bluetooth* para a interface do usuário disponível no aplicativo desenvolvido com auxílio da plataforma *App Inventor 2*, acessado pelo *smartphone* do pesquisador. Além disso, o sistema realizava o controle de um relé para o acionamento da bomba de água a fim de irrigar quando necessário o plantio, de acordo com os dados coletados pelo sensor de umidade do solo.

Para definir o volume ótimo de água a ser irrigado, a ideia inicial era manter a bomba de água ativa até que nova aferição em tempo real definisse a umidade do solo superior ao parâmetro informado. A água ao cair no solo, contudo, não penetra instantaneamente, o que leva o sensor, que se encontra a aproximadamente 5 centímetros da superfície, a não captar no mesmo momento a irrigação fornecida. Com isso, a bomba de água, que tem o acionamento baseado nos dados de entrada do sensor de umidade do solo, permanecia ativa por tempo mais longo do que o necessário, levando a inundações na plantação e desperdícios de recursos hídricos.

A solução para a dificuldade citada foi encontrada a partir de testes, nos quais, primeiramente, testou-se o tempo de 2000 milissegundos, ou seja, o atuador foi acionado por tal tempo e esperou-se o intervalo para a água penetrar totalmente o solo e, assim, realizou-se nova medição, na qual foi constatado que a umidade do solo ainda estava abaixo de parâmetro programado no microcontrolador. Então, testou-se o tempo de 3000 milissegundos com o mesmo processo citado anteriormente, e, na nova medição feita, a umidade estava superior ao valor mínimo, definindo-se, então, que o melhor tempo para a irrigação era 3000 milissegundos.

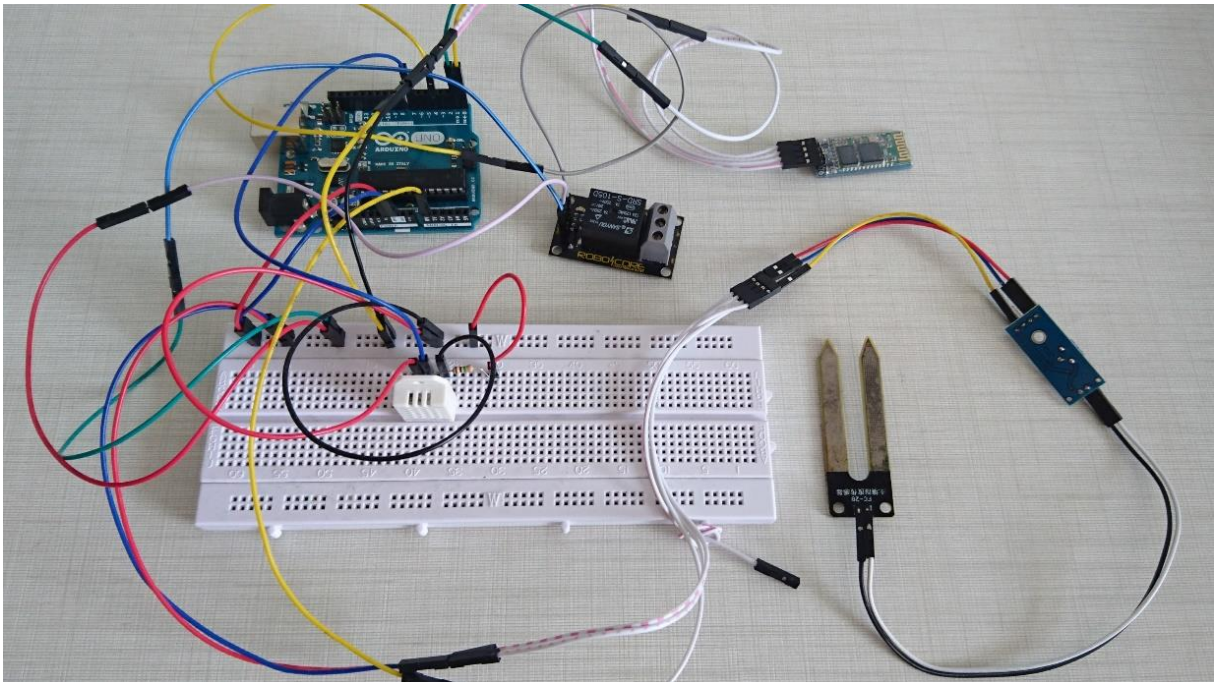
Assim, continuou-se realizando o monitoramento a partir do protótipo – Figura 29 – e componentes (Figura 30) de cada variável citada anteriormente durante 30 dias, aproximadamente metade da 2ª fase de crescimento do tomate, para analisar os resultados da aplicação de um sistema de automação para gerir processos de irrigação.

Figura 29 - Estrutura do protótipo



Fonte: Autor (2017)

Figura 30 - Componentes do sistema de automação

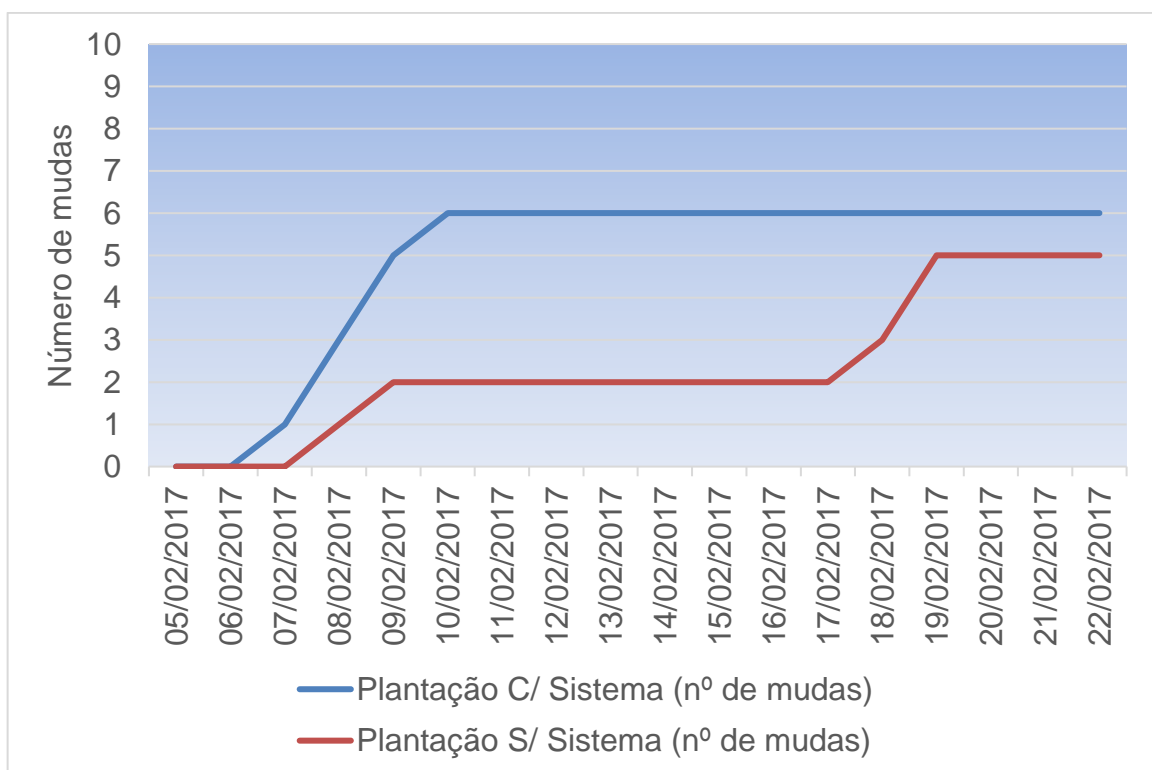


Fonte: Autor (2017)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer do experimento, observou-se ao terceiro dia o surgimento da primeira muda no plantio irrigado pelo sistema de automação, enquanto que, no plantio irrigado de forma empírica, o mesmo fato aconteceu um dia depois. Em 5 dias de monitoramento, a plantação sob influência da irrigação automática atingiu o número máximo de 6 mudas - total de sementes plantadas - ao passo que, na plantação irrigada sem o sistema, brotaram apenas 5 plântulas no período de 14 dias. Dessa forma, pode-se destacar o crescimento mais precoce e acelerado da cultura em que o sistema de automação foi aplicado, como demonstra a Figura 31. Ambas as plantações mantiveram o mesmo quantitativo de mudas até o final do experimento.

Figura 31 - Acompanhamento do surgimento de mudas



Fonte: Autor (2017)

Ao término do monitoramento da 1ª fase, a qual é caracterizada pelo aparecimento de mudas e possuir duração de aproximadamente 15 dias, foram realizados registros para comparar quantitativamente o número de plântulas e o

tamanho parcial das mesmas, que são demonstrados na Figura 32 abaixo, na qual à esquerda tem-se a plantação regada pelo sistema inteligente e à direita o plantio regado de forma empírica.

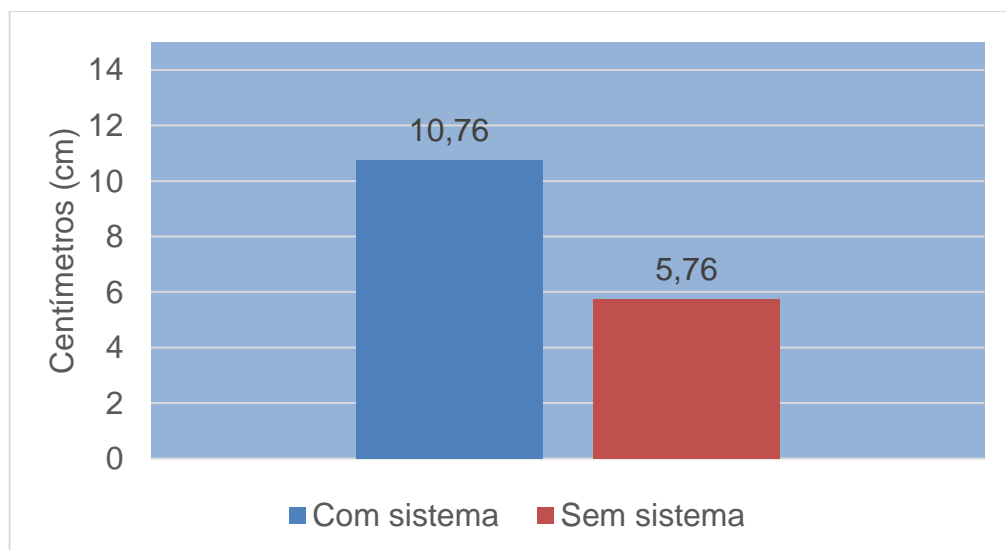
Figura 32 - Comparativo de plantações ao fim da fase 1



Fonte: Autor (2017)

Na 2ª fase de crescimento da cultura de tomate, a qual tem o aspecto do florescimento de 80% do plantio, constatou-se elevada diferença média entre a altura das mudas das plantações, na qual o plantio irrigado com o sistema de automação apresentou altura média de 10,76 centímetros, enquanto que o cultivo onde não foi aplicada a irrigação automática obteve o valor médio de 5,76 centímetros no 30º dia de supervisão, como demonstrado na Figura 33.

Figura 33 - Comparação da altura média das plantações ao fim do experimento



Fonte: Autor (2017)

Os registros finais mostrados na Figura 34 complementam os dados do gráfico anterior, os quais elucidam significativa diferença média no desenvolvimento das plantações, onde à esquerda encontra-se o plantio irrigado pelo sistema autônomo com crescimento médio superior à cultura irrigada empiricamente à direta.

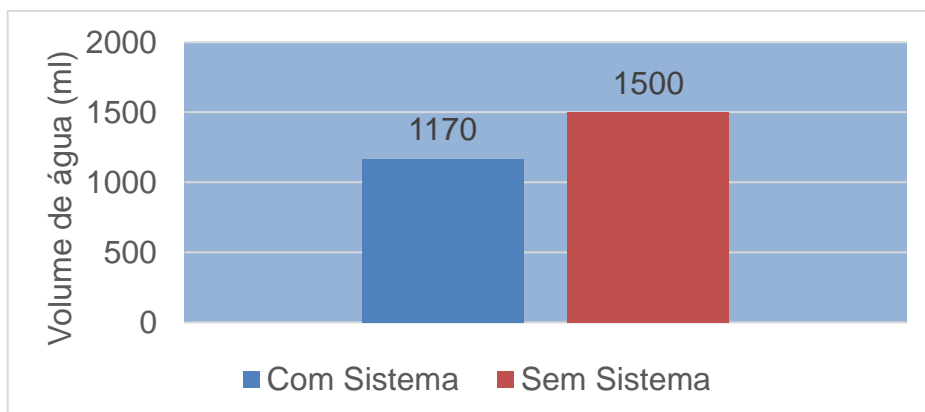
Figura 34 - Comparação das plantações ao fim do experimento



Fonte: Autor (2017)

Após a análise de crescimento das plantações, foi estudado o volume hídrico utilizado na irrigação de cada cultura, dado que uma das metas traçadas inicialmente era economia hídrica. Desta maneira, foi utilizado 1170 ml de água pelo sistema eletrônico para irrigação, enquanto que o plantio regado de forma empírica demandou 1500 ml ao longo do experimento, como mostra a Figura 35.

Figura 35 - Comparação do volume hídrico utilizado para irrigação



Fonte: Autor (2017)

Em relação às variáveis umidade relativa do ar e temperatura, foi realizado o estudo das informações armazenadas no banco de dados, como mostra a tabela 2 no apêndice, pelo sistema supervisor, no qual utilizou-se o software *Excel* para a análise da correlação de *Pearson* entre as variáveis citadas e a umidade do solo. Dessa maneira, ao analisar a influência da umidade relativa do ar no nível de água no solo, chegou-se ao valor de 0,36, o qual é interpretado como coeficiente de correlação fraco, havendo pouca relação entre as variantes. Ao avaliar a relação entre temperatura e umidade do solo, obteve-se a taxa de 0,33, que também corresponde a um coeficiente fraco. Portanto, a umidade relativa do ar e a temperatura em ambientes com plantações apresentam baixa influência no volume de água útil presente no solo.

Outro fator relevante no sistema de irrigação eletrônico é o custo, visto que uma das razões que dificultam a popularização da automação é o elevado investimento inicial. Com isso, o preço total dos componentes empregados no protótipo corresponde ao valor médio de 250 reais, o qual pode variar levemente de acordo com o fornecedor selecionado para a aquisição.

Dessa forma, como denotou Inácio (2012), destaca-se a influência do bom manejo da irrigação na hortaliça do estudo de caso, a qual apresentou melhor evolução nas etapas de aparecimento de mudas e florescimento do plantio, e, de acordo com Ferreira et al. (2016), ressalta-se a eficiência e aplicabilidade de sistemas tecnológicos aplicados à automação para o gerenciamento de processos de irrigação, onde há o destaque da plataforma de prototipagem Arduino.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados encontrados ao longo desse estudo, foi possível evidenciar a influência do bom gerenciamento de processos de irrigação em culturas de tomates, o qual impacta diretamente o desenvolvimento da plantaçoão ao longo do processo de cultivo, visto que a fase 1 de cultura da hortaliça apresentou maior precocidade no aparecimento das plântulas e a fase 2 caracterizou-se pela maior altura média das mudas, registrando a otimização da espécie do estudo de caso.

Outro fator de grande relevância ao longo da pesquisa foi a eficácia e viabilidade da aplicação da plataforma de computação embarcada Arduino para a automação de sistemas de irrigação, a qual supre com eficiência a demanda hídrica para o bom desenvolvimento de plantios e, principalmente, reduz desperdícios de água devido proporcionar a irrigação no tempo preciso e no volume necessário. Somado a isso, o aplicativo para monitoramento remoto foi eficiente quanto à supervisão, o qual monitorou em tempo real a situação na área onde foi cultivada a plantaçoão.

Além disso, durante o estudo e a realização do experimento, foram encontradas dificuldades quanto à qualidade do sensor de umidade do solo, visto que foram adquiridos 2 sensores de modelos diferentes e ambos apresentaram vida útil reduzida com oxidação elevada no período de 30 dias. Além desse componente, testou-se, antes da plataforma Arduino, outro sistema embarcado – ESP8266 NodeMCU - que apresentou grandes limitações de hardware, inviabilizando a utilização de tal ferramenta.

Como propostas para futuros trabalhos, propõem-se as seguintes sugestões:

- ✓ Adaptação do sistema de irrigação autônomo para produções agrícolas em larga escala no ambiente rural;
- ✓ Estudo de caso com outras espécies de hortaliças;
- ✓ Acréscimo de mais sensores para monitoramento de novas variáveis relacionadas ao solo;
- ✓ Aplicação de conceitos de inteligência artificial para melhor precisão no processo de irrigação.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA E-PLUS. **7 dicas para quem pretende abrir um e-commerce de moda.** Disponível em: <<http://www.agenciaeplus.com.br/7-dicas-para-quem-pretende-abrir-um-e-commerce-de-moda/>>. Acesso em: 08 fev. 2017.

AGOSTI, C.; PUERARI, R. F.; DALPONTE, O. **Automação residencial por comando de voz usando arduino e android.** SIEPE, p. 374, 2014. Disponível em: <https://editora.unoesc.edu.br/index.php/siepe/issue/view/145/showToc>

AIROLDI, R. P. S. **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento em irrigação com água residuária.** 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

ALIEVI, C. A. **Automação residencial com utilização de controlador lógico programável.** 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência de Computação, Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Centro Universitário Feevale, Novo Hamburgo, 2008.

ALMEIDA, A. C. S. **Desenvolvimento de um sistema de irrigação por microaspeção com microtubos para hortas agrícolas.** 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

ANDALÉCIO, A. M. L. **A disseminação do uso das novas tecnologias da informação e comunicação: efeitos na sociedade.** Comunicação e Informação, v. 8, n. 1, p 60 – 7, 2005.

ARAÚJO, I. B. Q. et al. **Desenvolvimento de um protótipo de automação predial/residencial utilizando a plataforma de prototipagem eletrônica arduino.** XL COBENGE. 2012.

ARDUINO. **Arduino UNO & Genuino UNO.** Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

ATMEL. **Microcontroladores Atmel AVR de 8 bits e 32 bits.** Disponível em: <<http://www.atmel.com/pt/br/products/microcontrollers/avr/default.aspx>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

BAÚ DA ELETRÔNICA. **Módulo Bluetooth HC-06.** Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/modulo-bluetooth-hc-06.html>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

BOITEUX, Leonardo Silva. **Como plantar tomate.** Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/como-plantar/noticia/2013/12/como-plantar-tomate.html>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

BOLZANI, C. A. M. **Análise de Arquiteturas e Desenvolvimento de um Plataforma para Residências Inteligentes.** 155 f. Tese (Doutorado) - Curso de

Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BOTEGA, J. V. L. et al. **Diagnóstico da automação na produção leiteira. Ciênc. agrotec.** v. 32, n. 2, p. 635-639, 2008.

BOURGUINI, R. C.; SILVA, M. V. **Características físico-químicas e sensorias do tomate (*Lycopersicon esculentum*) produzido por cultivo orgânico em comparação ao convencional.** Alm. Nutr. v. 16, n. 4, p. 355-361, 2005.

BOYU AQUARIUM. **Products.** Disponível em: <boyuaquarium.com>. Acesso: 27 fev. 2017.

BRAGA, L. C. **Estudo de aspectos de eficiência energética de edificações com uma abordagem de automação predial.** 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BRITO NETO, A. J. **Monitoramento de um cultivo hidropônico através de um circuito de automação e controle.** Ciências exatas e tecnológicas. v. 3, n.1, p. 105-116, 2015.

DIEESE, ESCRITÓRIO REGIONAL DE GOIÁS. **A Produção Mundial e Brasileira de Tomate.** 2010.

ESPÍNDOLA, M. B.; BECHARA, F. C.; BAZZO, M. S.; REIS, A. **Recuperação ambiental e contaminação biológica: aspectos ecológicos e legais.** Biotemas, v. 18, n. 1, p. 27 - 38, 2005.

FEITOSA, S. M. R. et al. **Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina – Piauí.** REVSBAU, v.6, n.2, p.58-75, 2011.

FERREIRA, B. O. et al. **Irrigação automatizada com plataforma arduino em casa de vegetação na universidade federal rural da Amazônia.** Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016.

FERREIRA, V. Z. G. **A domótica como instrumento para a melhoria da qualidade de vida dos portadores de deficiência.** 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Automação Industrial, Departamento de Ensino Superior, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2010.

FILIFELOP. **Sensor de Umidade e Temperatura AM2302 DHT22.** Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-137442-sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22.html>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

FINCOTTO, M. A.; SANTOS, M. T. P. **Automação Comercial utilizando aplicativos móveis - um foco na plataforma Android.** T.I.S. São Carlos, v. 3, n. 2, p. 1 51-1 61, 2014.

GENGO, R. C.; HENKES, J. A. **A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana.** R. gest. sust. ambient. v. 1, n. 2, p. 55 - 81, 2013.

GLOBAL SYSTEM. **Sistema de detecção e alarme de incêndio**. Disponível em: <http://www.globalsyst.com.br/sist_detec_alarme_incendio.php>. Acesso em: 13 fev. 2017.

GOMES, H. P.; MACENA, V. C.; MAIA, S. G. C. **Horta Vertical: estratégia para o destino de garrafas Pets e alimentação saudável**. Cadernos de Agroecologia. v. 7, n. 2, p. 1-3, 2012.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Ambiente Construído, v. 6, n. 4, p. 51-81, 2006.

GOUVÊA, A. L. F. et al. **Sistema de validação automático de sensores e atuadores**. Blucher Engineering Proceedings. V. 1, n. 2, 2014.

GUIMARÃES, V. G. **Automação e monitoramento remoto de sistema de irrigação na agricultura**. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

IDOETA, Paula Adamo. **A agricultura é vilã ou vítima na crise?**. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/03/150302_agua_agricultura_pai>. Acesso em: 10 fev. 2017.

INÁCIO, A. Á. N. **Controle de Irrigação de Hortaliças por Microcontrolador**. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Computação, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Gráficos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

LAMB, F. **Automação Industrial na Prática**. Porto Alegre: Amgh, 2015. 361 p. (Tekne).

LEITE, Isabela. **Primeiro jardim vertical do Minhocão fica pronto em setembro, diz Prefeitura**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2015/08/primeiro-jardim-vertical-do-minhocao-fica-pronto-em-setembro-diz-prefeitura.html>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

LIMA, L. P. F. **A física da irrigação**. 89 p. Produto (Mestrado) – Curso de Física, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2016.

LINS, V. MOURA, W. **Domótica: Automação Residencial**. Disponível em: <http://www.unibratc.edu.br/tecnologus/wp-content/uploads/2010/12/lins_moura.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2017.

LUDWIG, R. et al. **Dimensionamento de sistemas de drenagem através de software computacional**. Brazilian Journal of Biosystems Engineering. v. 7, n. 2, p. 70-6, 2013.

LUZ, J. M. Q.; SHINZATO, A. V.; SILVA, M. A. D. **Comparação dos sistemas de produção de tomate convencional e orgânico em cultivo protegido**. Biosci. J. v. 23, n. 2, p. 7-15, 2007.

MARTINS, A. F. et al. **Automação de um jardim vertical protótipo com arduino.** Gestão em Foco, v. 7, n. 7, p. 295-7, 2015.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico.** 2. ed. São Paulo: Novatec, 2015. 46 p.

MICROCHIP. **PIC16F627A/628A/648A Data Sheet: Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nano Watt Technology.** USA. 2007. 176 p.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. **Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio.** Pesq. agropec. bras. v.44, n.11, p.1513-9, 2009.

NICHELE, D. B. **Automação residencial: um grande auxílio para idosos e deficientes.** 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco, Itatiba, 2010.

OLIVEIRA, D. V. G; PETREK, F. J. **Sistema de automação residencial controlado via web.** 165 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PAES, L. G; SOUZA, M. C. G. **Projeto e implementação Scada para um sistema modular de produção didático.** 131 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos de Goytacazes, 2011.

PEREIRA, F. F. S. **Cobertura morta e umidade do solo na cultura de feijoeiro irrigado em sistema de plantio direto.** 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

PEREIRA, L. A. M. **Automação Residencial: rumo a um futuro pleno de novas soluções.**

POLICASTRO, C. A. **Arquitetura robótica inspirada em Análise do Comportamento.** 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências - Ciências de Computação e Matemática Computacional, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PONTO DA ELETRÔNICA. **Módulo sensor de umidade do solo higrômetro FC-28.** Disponível em:<<http://www.pontodaeletronica.com.br/Produto-PRODUTOS-Arduino-MODULO-SENSOR-DE-UMIDADE-DE-SOLO-HIGROMETRO-FC-28-versao-14943-14943.aspx>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

QUEIROZ, T. M.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. **Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central.** Eng. Agríc. v.28, n.1, p.44-54, 2008.

RAMOS, A. L. C; SANTOS, J. E. L. **Sistema integrado de automação residencial com comunicação sem fio.** 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

ROBOCORE. **Módulo Relé**. Disponível em: <<https://www.robocore.net/loja/produtos/modulo-rele.html>>. Acesso em: 09 abr. 2017.

ROSÁRIO, J. M. **Automação Industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009. 514 p.

SALT ENGENHARIA. **Nossos serviços**. Disponível em: <<http://www.saltengenharia.com.br/servicos>>. Acesso em 08 abr. 2017.

SALVADOR, C. A. **Olericultura – Análise da Conjuntura Agropecuária**. Departamento de Economia Rural, Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, Paraná, 2016.

SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. M. JARDINS VERTICAIS: **Potencialidades para o ambiente urbano**. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção. v. 2, n. 2, 2014.

SGARBI, J. A. **Domótica inteligente: automação residencial baseada em comportamento**. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário da Fei, São Bernardo do Campo, 2007.

SILEVIRA, L.; LIMA, W. Q. **Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes para automação industrial**. UFRN-PPgEE, 2003.

SILVA, I. V. F. CARVALHO, S. S. **Domótica: Uma abordagem sobre redes, protocolos e soluções microprocessadas de baixo custo**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXI, Nº 000006, 10/07/2013. Disponível em: <<http://semanaacademica.org.br/artigo/domotica-uma-abordagem-sobre-redes-protocolos-e-solucoes-microprocessadas-de-baixo-custo>>. Acesso em: 02 abril 2017.

SOUSA, R. V. **Robô agrícola móvel (RAM): uma arquitetura baseada em comportamentos hierárquicos e difusos para sistemas autônomos de guiagem e navegação**. 194 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

TOLEDO, P. D; REIS, C. L. O. **Automação de jardim vertical protótipo com Arduino**. Gestão em Foco, Edição nº: 07/Ano: 2015.

TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. **A crescente demanda pelo gerenciamento de energia impulsiona o mercado de Automação Residencial**. Disponível em: <<http://aureside.blogspot.com.br/2017/01/a-crescente-demanda-pelo-gerenciamento.html>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

VENSKE, C. et al. **Influência do grau de maturação nas características sensoriais de tomate seco envasado em óleo**. Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng. v. 10, n. 3, p. 33-40, 2004.

VICENZI, A. **Bustracker: sistema de rastreamento para transporte coletivo**. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência de Computação, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional Blumenau, Blumenau, 2015.

8 APÊNDICE

Na tabela 2, tem-se um conjunto de amostras parciais armazenadas no banco de dados para estudo de correlação de *Pearson*.

Tabela 2 - Amostras parciais armazenadas no banco de dados

Dia	Umidade solo (%)	Umidade ar (%)	Temperatura (°C)
05/02/2017	86%	77,80%	22,1
05/02/2017	87%	99,90%	26
05/02/2017	88%	99,90%	28
05/02/2017	88%	95,20%	28,9
05/02/2017	88%	88,10%	30
05/02/2017	87%	87,00%	30,2
05/02/2017	87%	65,40%	26,5
05/02/2017	87%	99,30%	27,7
05/02/2017	87%	94,90%	28,5
05/02/2017	87%	98,50%	28,7
05/02/2017	87%	97,70%	28,9
05/02/2017	87%	97,20%	28,9
05/02/2017	87%	97,80%	28,8
05/02/2017	87%	96,10%	28,7
05/02/2017	87%	87,70%	28,5
05/02/2017	86%	67,00%	26,5

Fonte: Autor (2017)