

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS

CÉSAR RENNÓ GONÇALVES

UNIDADE DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO PARA GESTÃO
DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
UTILIZANDO ENERGIA SOLAR E REDES IEEE 802.11

CAMPINAS

2016

CÉSAR RENNÓ GONÇALVES

UNIDADE DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO PARA GESTÃO
DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
UTILIZANDO ENERGIA SOLAR E REDES IEEE 802.11

Dissertação de Mestrado apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientadora: Professora Dra. Lia Toledo Moreira Mota

PUC-CAMPINAS

2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação – SBI – PUC Campinas

t621.3845 Gonçalves, César Rennó.
G635u Unidade de controle e automação para gestão de sistemas de irrigação utilizando energia solar e Redes IEEE 802.11 / César Rennó Gonçalves. - Campinas: PUC-Campinas, 2016.
80p.

Orientadora: Lia Toledo Moreira Mota.
Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações.
Inclui bibliografia.

1. Sistemas de comunicação sem fio. 2. Engenharia de irrigação. 3. Geração de energia fotovoltaica. 4. Recursos hídricos - Desenvolvimento. I. Mota, Lia Toledo Moreira. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações. III. Título.

22.ed. CDD – t621.3845

CÉSAR RENNÓ GONÇALVES

**UNIDADE DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO PARA
GESTÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO UTILIZANDO
ENERGIA SOLAR E REDES IEEE 802.11**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica.
Orientador: Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota

Dissertação defendida e aprovada em 16 de dezembro de 2016 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Admilson Írio Ribeiro
Universidade Estadual Paulista

Aos meus pais, Iran Lima Gonçalves e Suzana Carneiro Rennó Lima, exemplo de vida profissional e pessoal. Eles que sempre estiveram ao meu lado me apoiando em todos os momentos de minha vida e foram responsáveis por tornar meus sonhos em realidade. Por não medirem esforços para minha formação acadêmica e profissional.

AGRADECIMENTOS

A Prof. Dra. Lia Mota, orientadora e incentivadora, guia e mestra sempre atenta e aplicada na minha formação profissional e amiga sincera em todos os momentos. Como o professor Alexandre, sempre esteve ao meu lado em minhas conquistas começando pela iniciação científica, passando pelo trabalho de conclusão de cursos de engenharia elétrica e agora como orientadora do mestrado profissional em gestão de redes de telecomunicações.

Ao Prof. Dr. Alexandre Mota, orientador e incentivador dos meus trabalhos de graduação e pós-graduação na Faculdade de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, pelo apoio, atenção e amizade durante todos os anos de trabalho.

Aos Srs. José Ricardo Alves e Daniel Braga Barros, pelo apoio e colaboração técnica.

Ao Sr. Leandro Filiagi Machado, pelo apoio no trabalho desenvolvido.

“A melhor maneira de prever o futuro é inventando-o”

Alan Curtis Kay

(1940)

RESUMO

Gonçalves. César Rennó. UNIDADE DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO PARA GESTÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR E REDES IEEE 802.11. Trabalho de Conclusão do Mestrado Profissional de Gestão de Redes de Telecomunicações – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Campinas, 2016.

O Brasil é um dos países com maior extensão territorial do mundo. Não somente por esta característica, mas também em função do clima propício, desenvolve-se em grande parte do país a agricultura. É de suma importância que essa atividade seja conduzida de forma sustentável e com menores desperdícios possíveis, otimizando a utilização dos recursos hídricos. Em vista desse cenário, o objetivo desse trabalho foi desenvolver uma unidade de controle e automação para aplicação em sistemas de irrigação interligado a uma rede de sensores sem fio com o intuito de minimizar o desperdício de recursos hídricos e de energia elétrica. Nesse contexto, também foi proposta a utilização de energia solar como fonte de alimentação do sistema proposto. Com isso foi construído uma unidade de controle com dois diferenciais, utilização da energia provida pelo sol como fonte de alimentação e economia de água em função de cada cultura à ser irrigada. O protótipo utiliza painéis solares para a geração de energia elétrica que por sua vez é armazenada em uma bateria alimentando uma bomba d'água quando necessário. O acionamento do sistema é controlado por uma plataforma “*open source*” acoplada a sensores de umidade de terra, umidade do ar, temperatura e tensão da bateria. Todos esses dados coletados pela rede de sensores são disponibilizados via *Wi-Fi* em tempo real e também em uma base de dados retroativa. Com essa base foi possível observar tendências meteorológicas e checar se o sistema está funcionando de maneira correta como foi estipulado na instalação, além de mensurar a vida útil da bateria. A motivação do trabalho veio da necessidade de economia de recursos hídricos que foi minimizada com a utilização de um sensor de umidade de terra, indicando assim quando o sistema será ligado ou desligado. Outro ponto muito importante do trabalho é a exploração da energia solar como fonte de alimentação.

ABSTRACT

Brazil is one of the countries with the largest territorial extension in the world. Not only because of this characteristic, but also because of the favorable climate, agriculture is developed in much areas of the country. It is very important that this activity be conducted in a sustainable manner and with the least possible waste, optimizing the use of water resources. In view of this scenario, the objective of this work was to develop a control and automation unit for application in irrigation systems interconnected to a network of wireless sensors in order to minimize the waste of water resources and electric energy. In this context, it was also proposed the use of solar energy as the power supply of the proposed system. This led to the construction of a control unit with two differentials, using the energy provided by the sun as a source of power and water saving as a function of each crop to be irrigated. The prototype uses solar panels for the generation of electrical energy that is stored in a battery feeding a water pump when necessary. The system is controlled by an "open source" platform coupled to ground moisture sensors, air humidity, temperature and battery voltage. All this data collected by the sensor network is made available via Wi-Fi in real time and also in a retroactive database. With this base it was possible to observe weather trends and check if the system is functioning correctly as stipulated in the installation, besides measuring the battery life. The motivation of the work came from the need to save water resources that was minimized with the use of a soil moisture sensor, thus indicating when the system will be on or off. Another very important point of the work is the exploration of solar energy as a power source.

FIGURAS

Figura 1 – Efeito da variação de Intensidade luminosa.....	24
Figura 2 – Efeito da variação da temperatura	24
Figura 3 – Sistema fotovoltaico isolado.....	26
Figura 4 – Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	27
Figura 5 – Sistema Fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação	28
Figura 6 – Unidade de controle proposta	31
Figura 7 – Painel Solar.....	35
Figura 8 – Controlador de Carga.....	35
Figura 9 – Bateria Estacionaria	36
Figura 10 – Bomba d'água	36
Figura 11 – Relés.....	37
Figura 12 – Sensor de Umidade de Terra.....	38
Figura 13 – Sensor de Temperatura e Umidade	38
Figura 14 – Arduino.....	39
Figura 15 – Proxy IP	40
Figura 16 – Simulação no <i>Software Multsim</i>	42
Figura 17 – Simulação no <i>Software Eagle</i>	43
Figura 18 – Organização dos Componentes para Geração do Circuito Impresso	44
Figura 19 – Circuito no papel fotográfico e passado para a placa de fenolite	45
Figura 20 – Fonte principal de alimentação	45
Figura 21 – Fonte alternativa de alimentação, caso necessária	46
Figura 22 – Circuito gerenciador do sistema.....	47
Figura 23 – Circuitos de chaveamento.....	48
Figura 24 – <i>Setup</i> montado com o sistema completo.	49
Figura 25 – Circuito Impresso com os Componentes	50
Figura 26 – Circuito Impresso Integrado com Arduino	50
Figura 27 – Circuito Principal	51
Figura 28 – Circuito Finalizado.....	52

Figura 29 – Sistema completo em funcionamento	53
Figura 30 – Tela de monitoramento serial.....	54
Figura 31 – Fluxograma do Software Proposto.....	55
Figura 32 – Código para medir temperatura e umidade.....	56
Figura 33 – Código para medir umidade do solo	56
Figura 34 – Código para medir tensão.....	57
Figura 35 – Código para acionamento dos relés.....	58
Figura 36 – Unidade de controle completa e com o Proxy IP instalado	59
Figura 37 – <i>Set up</i> de testes para coleta de dados dos sensores.....	60
Figura 38 – <i>Set up</i> de teste finalizado e completo	61
Figura 39 – <i>Dashboard</i> gerencial no <i>notebook</i> e <i>smartphone</i> recebido via Wi-Fi.....	61
Figura 40 – Bomba desligada	62
Figura 41 – Bomba ligada sendo alimentada pela bateria	63
Figura 42 – Bomba ligada sendo alimentada pela rede elétrica.....	63
Figura 43 – Medição de umidade de solo	65
Figura 44 – Medição de temperatura do ar	65
Figura 45 – Medição de umidade do ar.....	66

TABELA

Tabela 1 – Padrão IEEE 802.11.....	29
------------------------------------	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	17
1.2	Organização do Trabalho.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Sistemas Automatizados de Irrigação.....	19
2.2	Geração Fotovoltaica	22
2.3	Redes IEEE 802.11	28
3	MATERIAL E MÉTODO.....	31
3.1	Equipamentos utilizados	33
3.1.1	Painel Solar	34
3.1.2	Controlador de Carga.....	35
3.1.3	Bateria Estacionária	36
3.1.4	Bomba d'água	36
3.1.5	Relé.....	37
3.2	Sensores.....	37
3.2.1	Sensor de Umidade de Terra	37
3.2.2	Sensor de Temperatura e Umidade do Ar.....	38
3.3	Processadores	39
3.3.1	Arduino.....	39
3.3.2	Proxy IP.....	39
4	RESULTADOS	41
4.1	Desenvolvimento do <i>hardware</i>	41
4.1.1	Fonte de Alimentação Principal.....	45
4.1.2	Fonte de Alimentação Secundária	46
4.1.3	Sistema de Gerenciamento e Sensores.....	47
4.1.4	Sistema Completo.....	49

4.1.5	Placa de Circuito Impresso	50
4.1.6	Protótipo Pré-montado	51
4.2	Desenvolvimento do <i>Software</i>	53
4.2.1	Fluxograma do <i>Software</i> Desenvolvido.....	54
4.2.2	Dados de Temperatura e Umidade do Ar.....	55
4.2.3	Dados de Umidade do Solo	56
4.2.4	Dados de Tensão da Bateria.....	57
4.2.5	Análise de Medições Coletadas	57
4.3	Avaliação Operacional do Protótipo Desenvolvido	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	APENDICE.....	78
	Programação Gravada no Arduino.	78

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o quinto maior país do mundo [1], dispendo, portanto, de uma grande extensão territorial muito utilizada para a prática da agricultura, uma atividade bastante difundida no país. No contexto, desta atividade, a irrigação tem a finalidade de suprir a necessidade de água de uma determinada cultura de forma controlada, fazendo com que a mesma se desenvolva na melhor condição possível [2]. Os benefícios da irrigação na agricultura são inúmeros, desde o aumento de produtividade e eficiência no uso dos fertilizantes, até o desenvolvimento da economia em áreas rurais [3]. Todavia, o dimensionamento inadequado de um sistema de irrigação pode causar uma série de desastres naturais e até ser responsável pela extinção de um rio ou de um aquífero [4].

No ano de 2014, o Brasil sofreu uma crise hídrica causada por inúmeros fatores, como por exemplo, o desperdício exorbitante de água e o decaimento do volume de chuva ao longo dos anos, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA) [4]. Muito se discute sobre um possível retorno da crise hídrica de forma mais intensa e com consequências maiores que as de 2014 [5].

Em vista desse cenário, é de suma importância dispor de sistemas de irrigação que visem o aproveitamento adequado dos recursos hídricos. De acordo com a referência [6], 69% da água doce disponível no mundo é utilizada para agricultura, sendo que, na África, esse número sobe para 88% e, na América Latina, para 73%. Visando o melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis, é fundamental o desenvolvimento de sistemas de irrigação que tenham capacidade de utilizar o mínimo de água necessária para cada tipo de cultura cultivada. Neste contexto, deve ser considerada a possibilidade de utilização de sistemas de irrigação controlados de forma autônoma, levando em conta as necessidades de umidade do solo e umidade do ar associadas a cada cultura [7].

Esses sistemas de irrigação, que podem ser considerados como “inteligentes”, também tem o diferencial de possibilitar a redução do consumo de energia elétrica, visto que só serão acionados em momentos de real necessidade e não mais, de

forma automática, todos os dias, por um determinado período de tempo [8]. Com o desenvolvimento desses sistemas, vem à tona a discussão da utilização de interfaces ligadas à Internet para o monitoramento remoto das culturas, o que descarta a necessidade de manter pessoas responsáveis pelo acionamento do sistema de irrigação [8]. Nesse sentido, as redes de comunicação sem fio podem desempenhar um importante papel na transmissão dos dados monitorados (como, por exemplo, a umidade do solo) para uma central de monitoramento, permitindo não só a observação do comportamento das grandezas pela Internet, como também, ações de atuação remota junto ao sistema de irrigação. Contudo, para que um sistema de irrigação com essas características possa ser implementado, é necessário considerar a energia elétrica que o mesmo vai consumir para que possa operar de maneira adequada, ou seja, é preciso trazer o conceito de sustentabilidade para o desenvolvimento deste tipo de sistema. [9].

O tema sustentabilidade está sendo muito discutido nas últimas décadas e surgiu, pela primeira vez, nos anos 70 em uma Conferência das Nações Unidas, chegando ao Brasil na década de 90 [10]. Basicamente, a sustentabilidade pode ser definida como a capacidade de um indivíduo ou de um grupo de indivíduos viverem em um ambiente causando o mínimo de impacto ao mesmo [11]. Dentro deste conceito, aos poucos, se intensifica a criação de uma série de iniciativas com o objetivo de preservar o meio ambiente, sendo que uma destas é a da geração de energia elétrica de forma limpa, utilizando os recursos naturais renováveis e de forma consciente.

A busca pela eficiência energética e pela geração de energia elétrica de forma sustentável é crucial no cenário em que a sociedade está inserida, uma vez que existe uma tendência de crescimento da demanda por energia e de escassez de fontes de energia não renováveis [12]. Assim, a necessidade do aumento da produção de energia elétrica e da aplicação do conceito de sustentabilidade têm promovido um crescimento acentuado no investimento em fontes renováveis de energia. As fontes renováveis de energia elétrica são aquelas que são repostas pela natureza, o que não quer dizer que são inesgotáveis. São exemplos de geração de

energia elétrica com fontes renováveis: as hidroelétricas, a geração solar, a geração eólica, a geração à biomassa e a geração utilizando o deslocamento das marés [12].

Neste contexto, verifica-se a importância do desenvolvimento e da utilização de sistemas de irrigação autônomos, que permitam o monitoramento de grandezas de interesse e o controle do processo de irrigação de maneira remota, sem a necessidade de ser alimentado pela rede de energia elétrica convencional (para não aumentar, ainda mais, a demanda dessa rede), sendo a energia necessária ao seu funcionamento provida, preferencialmente, por uma fonte renovável de energia.

1.1 Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma unidade de controle e automação para gestão de sistemas de irrigação que utilize energia renovável como fonte de alimentação e que economize energia elétrica e recursos hídricos. Possua também uma rede com múltiplos sensores que gerem dados passivos de tratamento e monitoramento pela internet através de redes sem fio via Dashboard e arquivo Log, com o histórico de medições.

Como objetivos específicos, deve-se destacar os seguintes requisitos associados à unidade de controle e automação a ser desenvolvida: utilização de energia fotovoltaica como principal fonte de alimentação do projeto; sensores de umidade do ar, temperatura, umidade de solo e tensão da bateria; implementação de uma rede de comunicação sem fio para o monitoramento e controle da unidade e dos sensores utilizados.

1.2 Organização do Trabalho

A dissertação se encontra organizada da seguinte forma. O Capítulo 2 apresenta as revisões bibliográficas divididas nos principais tópicos, sistemas de irrigação, geração fotovoltaica e redes sem fio, padrão IEEE 802.11.

O Capítulo 3 aborda passo a passo o processo de dimensionamento e criação da unidade de controle, detalhando, também, todos os processos utilizados na criação do *hardware* e no desenvolvimento do *software*. Seguido dos resultados que são apresentados no Capítulo 4 e as considerações finais são apresentadas no Capítulo 5.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Capítulo trata da revisão bibliográfica do trabalho como um todo, sendo dividido em 3 partes. A primeira faz uma breve revisão sobre sistemas de irrigação. A segunda, aborda conceitos de geração fotovoltaica e, finalmente, a terceira parte trata de redes sem fio, padrão IEEE 802.11.

2.1 Sistemas Automatizados de Irrigação

Como citado na introdução, é de suma importância otimizar a utilização dos recursos hídricos para fins de irrigação. Existem diversos tipos de sistemas de irrigação com diferentes aplicações e para um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, o sistema deve ser escolhido corretamente para cada aplicação. As técnicas mais utilizadas são a técnica de aspersão, gotejamento e nas áreas com abundância de água também é utilizada a técnica de inundação. A forma mais promissora de colocar em prática essa economia de água é a partir da automação dos sistemas de irrigação, fazendo com que os mesmos funcionem apenas quando necessário, ou seja, em momentos em que o solo estiver com baixa umidade e quando a cultura cultivada realmente necessitar ser irrigada.

Existem diversos tipos de automação de sistemas de irrigação, dos mais simples, que utilizam circuitos para definir horários de funcionamento, até sistemas mais robustos que fazem o acionamento e desligamento de forma automática em função de dados coletados como, por exemplo, a umidade do solo. Para esse cenário mais tecnológico, diversas variáveis podem ser levadas em consideração, como é o caso da chuva e da umidade do ar.

Começando pelos modelos mais simples já desenvolvidos, a referência [13] propõe um sistema que utiliza um microcontrolador programável para automatização de um sistema de irrigação. Neste trabalho foi utilizada uma programação com horários de acionamento de um sistema de chaveamento para fazer o acionamento do sistema de irrigação. Também é possível o gerenciamento de 8 canais de

irrigação, sendo programados para horários diferentes, utilizando uma plataforma de baixo custo e totalmente nacionalizada.

Seguindo a mesma linha de pesquisa, a referência [14] tem como objetivo a automatização e monitoramento de um sistema de irrigação para agricultura familiar. Foi desenvolvido um sistema de irrigação de baixo custo baseado em sensores interligados a um microcontrolador de fácil e intuitiva programação. O sistema se baseia em determinados horários pré-configurados pelo usuário para o acionamento da irrigação, além de controle de duração e frequência. Ele também leva em consideração a chuva, utilizando um sensor de umidade para detectar a chuva e desligar o sistema automaticamente, evitando o desperdício de água durante os períodos de chuva. Para a coleta e visualização dos dados obtidos pelos sensores de chuva e de temperatura, foi usado um microprocessador com um módulo sem fio para transmissão dos dados.

Visando uma maior economia de água, a referência [15] propôs um sistema de irrigação automatizado para aplicação em estufas. Em função da melhor utilização das horas de trabalho do agricultor, o trabalho foca em desenvolver um protótipo de irrigação que não precisa ser manuseado pelo agricultor. Foi criado um sistema de irrigação com 4 sensores de umidade combinados com 4 válvulas solenoides que controlavam a abertura e fechamento da água. Todo esse *setup* estava interligado a um microcontrolador que fazia o seu gerenciamento através de uma programação pré-definida em sua memória. Também foi criado um banco de dados que o usuário pode utilizar para acompanhar os dados medidos pelos sensores.

Além da otimização dos recursos hídricos, também é possível agregar o conceito de sustentabilidade ao sistema de irrigação. Isso pode ser feito através da utilização de fontes renováveis de geração de energia elétrica. A referência [16] teve como direcionador a utilização de um modelo de irrigação automatizado de baixo custo e que utiliza energia solar como fonte de alimentação, não necessitando de energia elétrica convencional. O sistema garante um nível correto de irrigação para um determinado tipo de plantação e pode receber um sinal de ligar ou desligar a partir de um telefone celular previamente configurado. O trabalho apresentado possui

diversas peculiaridades como a utilização de energia solar como fonte alimentação, sensores para o controle de irrigação, atuando no momento certo de acionamento e desligamento do sistema e uma plataforma de baixo custo para acesso remoto dos dados coletados pelos sensores do protótipo.

O trabalho desenvolvido, possui muitos pontos similares com os trabalhos pesquisados e citados nas revisões bibliográficas. No entanto, não foi encontrado nenhum trabalho na área acadêmica que abrangesse a totalidade de recursos presentes. Esse trabalho trata especificamente de irrigação, mas evidencia uma serie de pontos para otimizar ao máximo essa técnica tão difundida e presente no cenário atual. O primeiro ponto, que foi muito encontrado nos trabalhos similares, é a utilização de fontes renováveis de energia elétrica para alimentação do sistema de irrigação, da mesma forma que proposto nesse trabalho. Outro ponto também observado foi a utilização de sensores para otimização dos recursos hídricos, uma vez que os sensores funcionam como chave (*on/ off*), apenas acionando o sistema quando surge a real necessidade de irrigação por parte da cultura cultivada. Por fim, foi criada também uma interface de coleta dos dados dos sensores e disponibilização desses dados em tempo real e retroativos via Wi-Fi, permitindo que o operador do sistema possa avaliar o funcionamento do sistema remotamente, mais especificamente, de qualquer local do mundo com acesso à internet. Já existem diversos sistemas de irrigação que utilizam circuitos muito robustos de controle de água e monitoramento de consumo, no entanto eles possuem custos elevados e são de altíssima tecnologia.

A principal marca encontrada no mercado possui uma serie de sensores, combinando controladores e serviços para automatizar programações de irrigação com base em parâmetros específicos da paisagem como planta, solo, declividade e tipo *sprinkler*. Estabelece horários ideais de irrigação a partir desses parâmetros encontrados, racionalizando os recursos hídricos disponíveis e, com isso, pode reduzir a conta de água e de energia dos consumidores [17].

2.2 Geração Fotovoltaica

Como tratado anteriormente, o aproveitamento da energia solar, tanto como fonte de luz, quanto de calor é, atualmente, uma das alternativas energéticas mais promissoras, apesar de sua característica intermitente, uma vez que é uma fonte primária abundante, renovável e que não polui o meio ambiente [18]. A principal forma de utilização da luz solar como fonte de energia é chamada de fotovoltaica, que consiste na obtenção de energia elétrica através da luz. O efeito fotovoltaico se dá pela transformação dos fótons contidos na luz solar em energia elétrica, através de células solares e painéis fotovoltaicos constituídos por materiais de natureza semicondutora, como por exemplo, de silício [19].

A grande maioria das células solares são constituídas de silício. No entanto, existem 3 tipos de silício que podem ser utilizados para criação de uma célula solar, o policristalino, monocristalino e o amorfo. Cada tipo tem uma série de especificações, além de pontos positivos e negativos para a utilização.

O mais utilizado é o silício monocristalino, por apresentar uma relação custo benefício melhor que os outros, atingindo uma eficiência de 15% a 18% na transformação de fótons em energia elétrica. Ele é muito utilizado na indústria eletrônica por ter uma excelente pureza, necessária nesse mercado de precisão [18].

O silício policristalino também pode ser utilizado na fabricação de módulos fotovoltaicos. No entanto, sua pureza é menor que a do monocristalino, tendo uma eficiência que não passa dos 12,5%, sendo seu processo de preparação menos rigoroso [18].

Já o silício amorfo é um caso à parte. Seu processo de fabricação é muito mais simples e despense um gasto de energia menor que os outros tipos de silício. No entanto, sua eficiência de conversão é muito baixa, menor que 10% e ele passa por um processo de degradação nos primeiros meses de utilização, tendo uma vida útil mais curta que a do silício monocristalino e policristalino [18].

A geração de energia elétrica se dá da mesma forma, independente do material semicondutor utilizado na síntese do painel solar. O efeito fotovoltaico

ocorre, pois, o material semiconductor possui bandas que podem ser dopadas por diferentes tipos de materiais [18]. Uma das bandas, normalmente é dopada por fósforo, que possui 5 elétrons de ligação, eles por sua vez se emparelham aos 4 elétrons do silício, sobrando um elétron de ligação. Esse elétron remanescente é fracamente ligado ao átomo de origem, ficando suscetível a se direcionar a banda de condução com pouca variação de energia térmica. O fósforo é conhecido então como dopante tipo n.

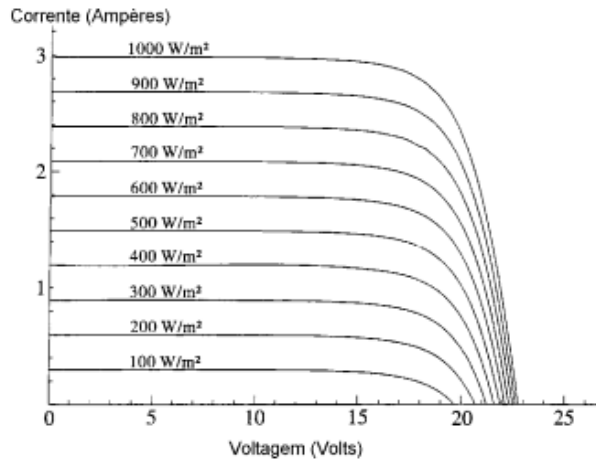
Já a outra banda, normalmente é dopada por átomos que possuem apenas 3 elétrons como é o caso do boro, sendo assim, esses 3 elétrons se unem a 3 elétrons do silício e um dos átomos do silício se mantem sem ligação, criando uma lacuna. O boro é chamado de dopante tipo p.

Nesse cenário, uma banda possui um elétron sobressalente e outra banda possui um elétron faltante. Com um pequeno estímulo gerado pelos fótons contidos na luz solar, esses elétrons da camada tipo n, se deslocam para a camada tipo p, isso gera um campo elétrico que se intensifica ao ponto que dificulta a passagem dos elétrons da banda n para a banda p. Quando esse material é exposto a fótons contidos na luz solar, os elétrons sobressalentes ficam excitados, se deslocando aceleradamente e gerando uma diferença de potencial entre as bandas. Esse fenômeno é chamado de efeito fotovoltaico. Se essas bandas forem ligadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons, gerando uma corrente elétrica que pode ser armazenada ou utilizada [18].

Não só os materiais utilizados para a fabricação dos painéis solares afetam o seu rendimento, mas também é muito importante avaliar fatores como intensidade luminosa e temperatura. Quanto maior a intensidade luminosa maior é a geração de energia elétrica pelo painel. Essa variação ocorre linearmente e é possível observar esse efeito na Figura 1 [18]. A unidade W/m^2 é utilizada para radiação solar média, sendo assim, quanto maior a radiação solar, maior a corrente gerada pelo painel solar e esse efeito é quase irrelevante para a tensão.

Figura 1 – Efeito da variação de Intensidade luminosa

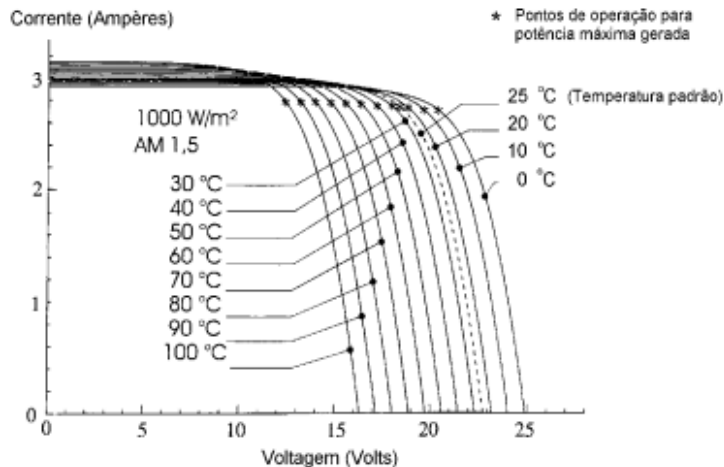
Fonte: CRESESB



Diferente do efeito da intensidade luminosa, quando ocorre um aumento na temperatura do módulo, o rendimento do painel solar cai drasticamente. Essa queda é ilustrada na Figura 2. Quanto maior a temperatura no módulo fotovoltaico, a tensão cai drasticamente e a corrente tem um pequeno aumento, irrelevante quando comparado com a variação de tensão. Também estão ilustrados os pontos de maior rendimento do painel solar e as temperaturas de operação para cada uma das tensões [18].

Figura 2 – Efeito da variação da temperatura

Fonte: CRESESB

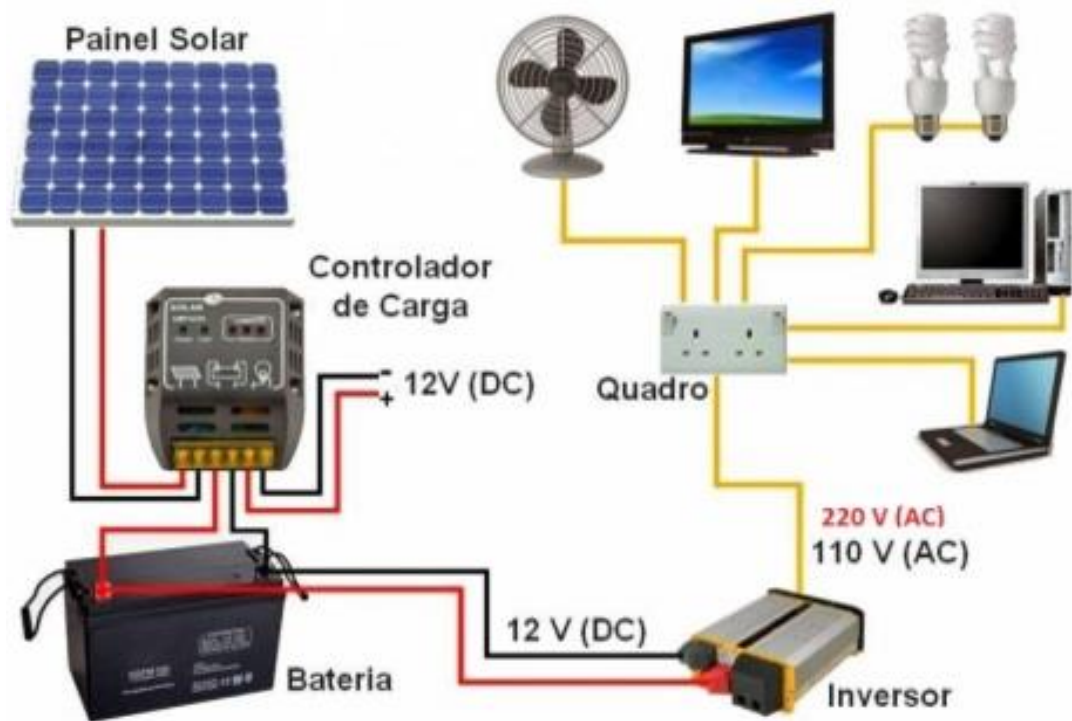


Independentemente do tipo de modulo fotovoltaico utilizado e dos fatores de luminosidade e temperatura, existem diversas aplicações para os sistemas fotovoltaicos e essas aplicações podem ser divididos em duas categorias: sistema isolado ou sistema conectado à rede elétrica. Nas duas aplicações, podem ser feitas combinações com outras formas de geração de energia como geradores eólicos. A principal diferença é que na geração isolada, é mandatória a utilização de algum tipo de armazenamento, em geral, baterias para o armazenamento da energia elétrica gerada. Ao passo que a geração conectada à rede não necessita de armazenamento pois injeta a energia gerada diretamente na rede elétrica [19].

Os sistemas isolados, conforme ilustrado na Figura 3, possuem uma necessidade de melhor dimensionamento, pois ele visa atender uma demanda específica de energia elétrica. É de suma importância que esse dimensionamento seja feito de maneira correta para que não produza menos energia elétrica do que o necessário para aquela determinada aplicação. O sistema isolado ilustrado na Figura 3 contém uma série de equipamentos interligado, para geração de energia elétrica, ele utiliza um painel solar que armazena a energia elétrica gerada em uma bateria. O controlador de carga, é utilizado para otimizar o carregamento da bateria, evitando sobre tensão e sub tensão da bateria. Entre as cargas (televisão, ventilador e etc.), é utilizado um inversor para transformar a tensão de 12 Volts com corrente contínua da bateria em 110V ou 220V com corrente alternada para alimentação dos equipamentos.

Figura 3 – Sistema fotovoltaico isolado

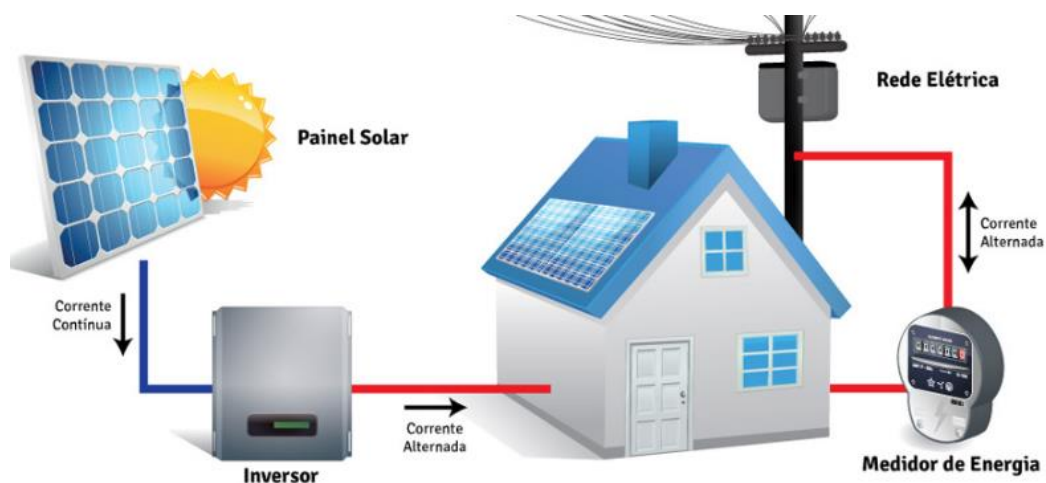
Fonte: Bsb Energia Solar



No caso do sistema conectado à rede, ilustrado na Figura 4, o consumo de energia elétrica é menos importante, tendo em vista que a energia gerada será injetada na rede elétrica e a instalação utilizará a energia da rede de distribuição quando necessário [19]. O sistema conectado ilustrado na Figura 4 utiliza um painel solar para geração de energia que está diretamente interligado à rede elétrica. Para possibilitar essa ligação, é necessário a utilização de um inversor para transformação da corrente e tensão geradas pelo painel. Também é indispensável utilizar equipamentos específicos para essa aplicação, tais como medidores digitais que creditam na fatura de energia elétrica, toda a energia que foi gerada pela residência.

Figura 4 – Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica

Fonte: Realsolar



No cenário de geração de energia elétrica no Brasil, no ano de 2016, a energia solar fotovoltaica representou em torno de 0,02% da energia gerada no país, com 38 usinas solares construídos segundo a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) [20]. Outro dado que mostra o crescimento acelerado desse mercado, é o crescimento da indústria de módulos fotovoltaicos, que teve um crescimento, em média de 54% nos últimos 11 anos, sendo que essa tendência de crescimento deve ser mantida [19].

A utilização da energia solar está crescendo muito no Brasil e uma das formas de implementação que chama a atenção é o uso de um sistema fotovoltaico para bombeamento de água. Essa necessidade surgiu em função das diversas localidades do país sem acesso à energia elétrica que necessitavam de alguma solução em bombeamento de água para uma caixa d'água ou para irrigação [19].

A Figura 5 ilustra um sistema fotovoltaico isolado instalado sobre o Açude do Rio dos Peixes em Capim Grosso na Bahia. Foi um sistema instalado para fazer o bombeamento da água do rio para diversas finalidades, sendo a principal, irrigação das propriedades que cercam o local. [21]

Figura 5 – Sistema Fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação

Fonte: CRESESB



2.3 Redes IEEE 802.11

A utilização de internet sem fio, nos tempos modernos, já é algo que faz parte do dia a dia de grande parte da população mundial. Os usuários já estão tão acostumados a utilizar equipamentos sem fio que fazem chamadas e se conectam a internet e não se questionam como é possível e quando foi feita a migração dos meios cabeados para os sem fio [23].

No ano de 1980 foi criado um comitê pelo IEEE (Instituto dos Engenheiros Elétricos e Eletrônicos) chamado de 802 para a especificação de padrões de comunicação local. Até o ano de 1997, os usuários e as companhias utilizavam os padrões definidos por esse comitê e recursos cabeados para acessar a internet e a rede em um determinado local. Esse padrão existente na época foi chamado de IEEE 802.3. Em 1997, foi lançado um novo padrão, nomeado de IEEE 802.11 que, inicialmente, permitia uma conexão local a rede sem a utilização de cabeamento. Até hoje utiliza-se, amplamente, esse padrão, que mesmo tendo sofrido uma série de

mudanças e melhorias, se mantém vigente e é denominado de Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) [23].

A tabela a seguir ilustra como foi a evolução do padrão IEEE 802.11 durante os anos. É possível observar uma melhora acentuada da tecnologia observando a vazão dos padrões IEEE 802.11 e IEEE 802.11ac.

Tabela 1 – Padrão IEEE 802.11

Protocolo IEEE 802.11	Publicação	Frequência (GHz)	Banda (MHz)	Vazão (Mbits/s)	Canais MIMO	Modulação	Alcance (m)
	junho de 1997	2.4	22	1 ou 2	-	DSSS, FHSS	100
a	setembro de 1999	5	20	até 54	-	OFDM	120
b	Setembro de 1999	2.4	22	Até 11	-	DSSS	140
g	Junho de 2003	2.4	20	até 54	-	OFDM, DSSS	140
n	Outubro de 2009	2.4, 5	20, 40	Até 150	4	OFDM	140
ac	Dezembro de 2013	5	20, 40, 80, 160	Até 780	8	OFDM	115

Esse trabalho fez uso dessa tecnologia para transmissão e disponibilização dos dados coletados pelos sensores à um ou mais usuários que estejam em qualquer localidade do mundo. Outro motivo para essa escolha foi o fato dessa tecnologia não necessita de interfaces padronizadas de gerenciamento remoto, além de possuir equipamentos de baixo custo disponíveis no mercado, como por exemplo, Pontos de Acesso, necessários ao monitoramento remoto via Internet. Isso possibilitou a criação da unidade de controle e automação com monitoramento remoto e de baixo custo, requisitos ao desenvolvimento deste trabalho.

As outras tecnologias que poderiam ser utilizadas não se aplicavam às necessidades de baixo custo e de distância associadas ao trabalho. Elas seriam: WiMAX, Bluetooth, entre outros.

O WiMAX tem um melhor desempenho e se trata de uma tecnologia que foi criada mais recentemente, especificamente no ano de 2001. Ela possibilita uma vazão muito acima do padrão IEEE 802.11. No entanto, possui equipamentos mais custosos e para essa aplicação, não foi necessário o envio de uma quantidade grande de pacotes e nem de alta vazão [24].

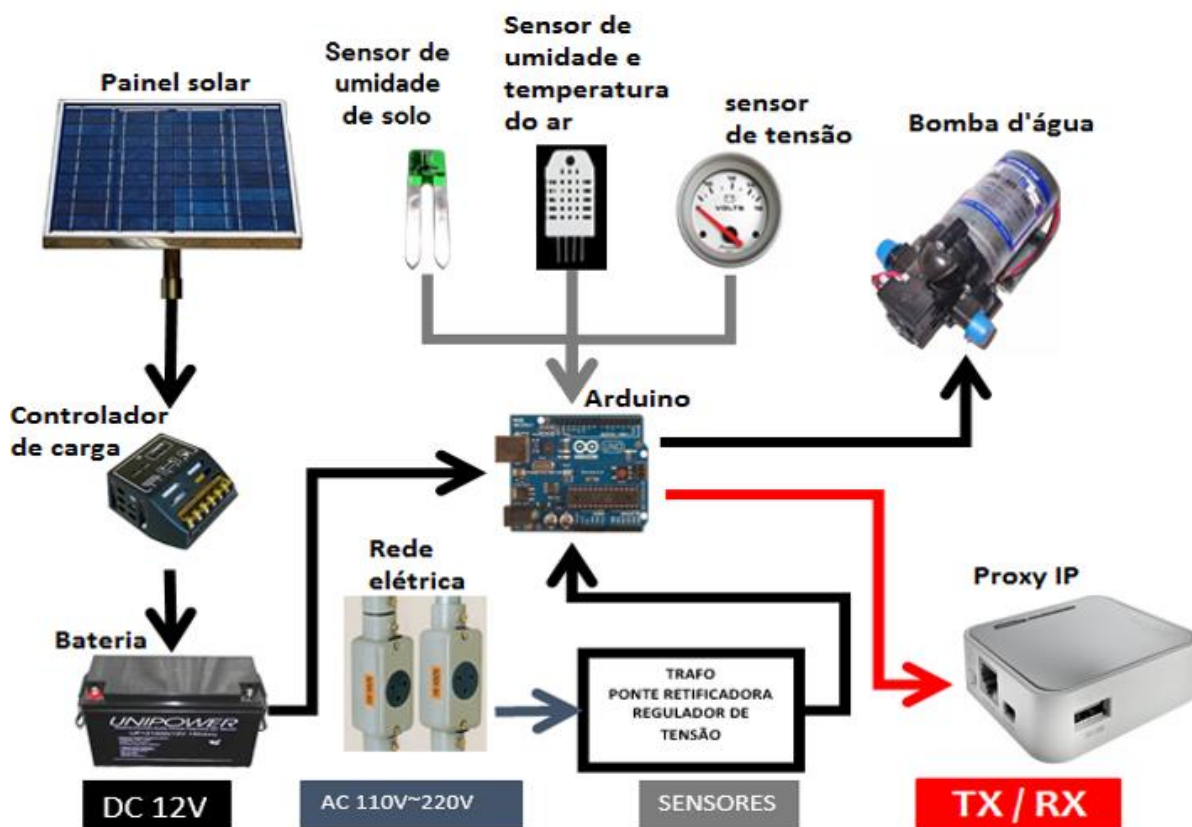
Já no caso do Bluetooth, se trata de uma tecnologia com grandezas diferentes do WiMAX. Ela garante apenas baixas distancias, variando de 0 a 100 metros e sua vazão é muito baixa comparada com as outras tecnologias sem fio. Sendo assim, a tecnologia mais adequada para utilização no projeto foi o Wi-Fi [25].

3 MATERIAL E MÉTODO

Foi utilizado, para a criação do protótipo da unidade de controle e automação para gestão de sistemas de irrigação, um microcontrolador ATmega 168 (Arduino Uno) interligado a uma série de sensores para a coleta e o acompanhamento dos dados do ambiente em que o sistema foi instalado. Sendo assim, o protótipo desenvolvido funciona, basicamente, como uma miniestação meteorológica, monitorando dados de temperatura e umidade do ar que podem ser acessados remotamente, em tempo real, e de forma retroativa (levantamento do histórico de medições). A Figura 6 ilustra a unidade de controle proposta neste trabalho.

Figura 6 – Unidade de controle proposta

Fonte: Elaborada pelo autor



O funcionamento do protótipo se dá a partir da coleta de dados realizada por um sensor de umidade do solo. Quando o nível de umidade do solo estiver baixo, o sistema é acionado, ligando a bomba d'água. Após essa inicialização, o *software* (que está gravado no microcontrolador Arduino) é responsável por indicar qual fonte será utilizada para a alimentação, se a rede elétrica convencional ou a bateria (que foi carregada com a energia gerada pelo painel fotovoltaico). O acionamento da fonte de alimentação é realizado por meio de relés. A escolha acerca da fonte de alimentação a ser utilizada é feita com base nas medidas do sensor de tensão da bateria, sendo que a decisão é tomada pelo mesmo *software* já mencionado. Esse *software* analisa a tensão da bateria monitorada pelo sensor e, caso ela esteja acima de 10 Volts, a bomba d'água é acionada utilizando a bateria como fonte de energia (proveniente do painel fotovoltaico) e, quando estiver abaixo de 10 Volts, a bomba d'água é acionada utilizando a rede elétrica convencional como fonte de alimentação. Esse valor (10V) foi indicado no *datasheet* de equipamento, que mostra as tensões de segurança da bateria e qual o melhor aproveitamento da carga, focando no prolongamento de sua vida útil.

Na Figura 6, as ligações feitas entre o painel solar (fotovoltaico), controlador de carga, bateria e bomba d'água são de 12V DC (*Direct Current*). O controlador de carga é utilizado entre o painel solar e a bateria para otimizar o carregamento e aumentar a vida útil da bateria. Os sensores são ligados ao Arduino utilizando as entradas analógicas e digitais. A bomba d'água também pode ser alimentada pela rede elétrica convencional (127V ou 220V) após ser tratada por um circuito (composto por transformador, circuito retificador e regulador de tensão). Esse circuito tem o objetivo de deixar a corrente alternada da rede elétrica devidamente preparada para alimentar em corrente contínua (12V) a bomba d'água. O transformador tem a função de diminuir a tensão da rede elétrica de 127V ou 220V para 12V, ainda em corrente alternada. Em seguida, a corrente passa por um circuito retificador que a transforma em corrente contínua e amplifica a tensão para 16V em consequência ao processo de retificação da onda, sendo necessário um circuito regulador de tensão para limitar a tensão de saída em 12V, ideal para alimentação da bomba d'água.

Além do monitoramento da umidade do solo e da tensão da bateria, foram monitoradas, também a umidade e a temperatura do ar, por meio de sensores conectados ao microcontrolador.

Também foi implementado um Proxy IP de baixo custo, baseado em plataforma Linux, onde estão interligados os sensores e o Arduino, armazenando os dados dos sensores e mostrando-os em tempo real via rede de comunicação sem fio, padrão IEEE 802.11 (Wi-Fi).

O desenvolvimento inicial deste trabalho se deu propondo a alimentação de uma bomba d'água utilizando energia solar. Considerou-se dois painéis solares como fonte de alimentação DC, uma bateria de 12VCC, 100Ah e uma fonte de energia convencional 127V/220V AC.

O dimensionamento dos painéis solares e da bateria se deu a partir de um estudo feito sobre o consumo da bomba. Esse dimensionamento foi feito de uma forma que a bateria tenha uma carga acumulada que suporte alimentar a bomba por até 35 horas seguidas, considerando que a corrente de funcionamento da bomba é, em média, de 3Ah. Supondo que a bateria funcionará menos de 5 horas por dia, a bateria terá autonomia para suprir 7 dias "sem sol". Mesmo que tenhamos mais de 7 dias sem incidência solar, o painel gera uma pequena quantidade de energia elétrica utilizando-se da baixa luminosidade obtida com o tempo nublado.

Após a conclusão da montagem do sistema, foram feitas medidas e coletas de dados. Esses procedimentos foram feitos em um espaço aberto para verificar o desempenho do painel solar, tensão na bateria e os dados de temperatura e umidades do ar e do solo.

3.1 Equipamentos utilizados

Para esse projeto foram utilizados os seguintes materiais:

- 2 Painéis solares 12V, 3A e 55W;
- 1 Controlador de Carga 12V, 12A e 120W;
- 1 Bateria 12V, 100Ah;

- 1 Bomba d'água 6A, 12V;
- 1 Arduino Uno REV 3;
- 1 Protoboard;
- 1 Sensor de temperatura e umidade RHT03;
- 1 Sensor de umidade de solo Grove
- 2 Circuitos de chaveamento;
- 1 Circuito medidor de tensão;
- 1 Transformador 10A, 12V;
- Ponte Retificadora:
 - 4 Diodos de potência 6A;
 - 1 Capacitor de 4700uF.
- Regulador de Tensão:
 - 2 Transistores de potência 2N3055;
 - 1 Transistor LM7812.
- Roteador TP-Link Wi-Fi

3.1.1 Painel Solar

Foram utilizados dois painéis solares para a criação da unidade de controle para sistemas de irrigação. Ambos com potência de 55W, tensão nominal de 12V e corrente de 3A. Os painéis são da marca Solaris e tem células com eficiência de 16% (Figura 7) [26].

Figura 7 – Painel Solar
Fonte: Elaborada pelo autor



3.1.2 Controlador de Carga

Conforme citado anteriormente, o controlador de carga é utilizado para otimizar o carregamento da bateria, além de protege-la contra descarga e contra sobrecarga. Ele carrega e mantém a bateria em suas condições ideais, o que faz com que a mesma tenha uma vida útil maior. Ele tem uma tensão de entrada de 12V, corrente máxima de 10A, modelo CMP12 (Figura 8) [27]. A potência máxima que um painel solar interligado a ele pode ter é 120W.

Figura 8 – Controlador de Carga
Fonte: Elaborada pelo autor



3.1.3 Bateria Estacionária

Foi utilizada uma bateria estacionaria de chumbo ácida no intuito de ficar instalada em uma determinada localização sem se movimentar. Essa bateria é de 12V, tem corrente de 100Ah e é da marca Leoch modelo LP12-100 (Figura 9) [28].

Figura 9 – Bateria Estacionaria

Fonte: Elaborada pelo autor



3.1.4 Bomba d'água

A bomba d'água utilizada é uma carga de corrente contínua com tensão de 12V, corrente nominal de 6A e é da marca SHURflo modelo 8000-443-136. É uma bomba de superfície e não pode estar imersa na água (Figura 10) [29].

Figura 10 – Bomba d'água

Fonte: Elaborada pelo autor



3.1.5 Relé

Foram utilizados dois circuitos com relés para fazer o chaveamento do projeto. Eles funcionam como um interruptor, deixando a corrente passar quando estão ligados ou trabalhando com um circuito aberto quando desligados (Figura 11) [30].

Figura 11 – Relés

Fonte: Elaborada pelo autor



3.2 Sensores

3.2.1 Sensor de Umidade de Terra

O sensor de umidade de terra é utilizado inserindo-o na terra para a realização das medições. Ele trabalha da seguinte maneira: após colocá-lo no solo, a tensão entre os dois polos, considerando o solo seco, é muito grande e quando o solo está úmido, a tensão é menor (a tensão vai diminuindo de acordo com o aumento da umidade).

A partir do valor dessa resistência, o sensor emite um sinal de 0 a 5V, se aproximando de 0V quando o solo está seco e de 5V quando o solo está úmido (Figura 12) [31]. Com a programação que foi desenvolvida e utilizada no microcontrolador, o dado é lido, tratado e a medida é apresentada em porcentagem, variando de 0 a 100%.

Figura 12 – Sensor de Umidade de Terra

Fonte: Elaborada pelo autor



3.2.2 Sensor de Temperatura e Umidade do Ar

O sensor RHT-03 foi escolhido, pois é um sensor de umidade e temperatura do ar de baixo custo, com uma interface digital. O sensor vem calibrado e pronto para realizar medições de umidade do ar e temperatura. Também foi observado que ele possui um *range* de medida muito completo, tanto para temperatura, quanto para umidade. Sua faixa de medida de temperatura é de -40 a 80°C, o que viabiliza a utilização desse sensor em uma gama extensa de localizações, além de fazer a medição de umidade do ar de 0 a 100%.

Sua taxa de erro é de +-2% para umidade de ar e de +-0,5°C para temperatura (Figura 13) [32].

Figura 13 – Sensor de Temperatura e Umidade

Fonte: Elaborada pelo autor



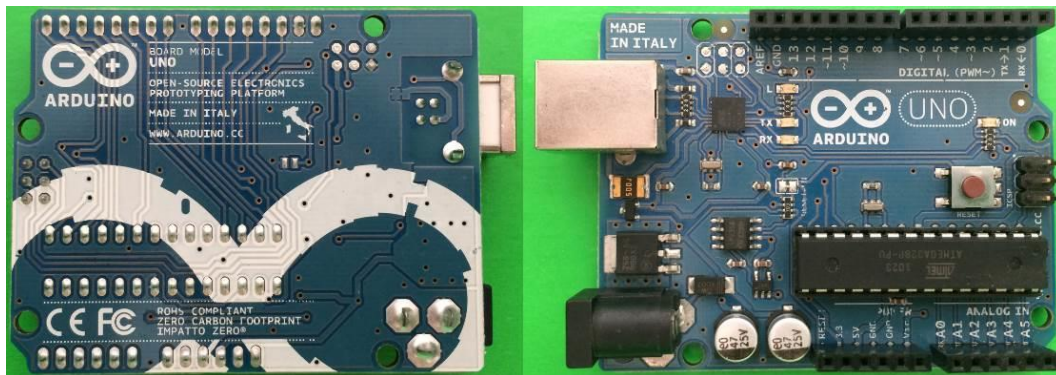
3.3 Processadores

3.3.1 Arduino

O Arduino é um microcontrolador fabricado na Itália, que é programado em linguagem C, baseado no ATmega328P. Essa plataforma torna a robótica mais acessível e de fácil implementação. Ele possui pinos de entrada analógicos, digitais, terra e alimentação. (Figura 14) [33].

Figura 14 – Arduino

Fonte: Elaborada pelo autor



3.3.2 Proxy IP

O Roteador Portátil Wi-Fi TPLINK TL-MR3020, ilustrado na Figura 15, foi utilizado para transmitir os dados dos sensores via internet para um computador ou qualquer equipamento interligado pela internet. Seu firmware original foi trocado pelo OpenWRT (*Linux Open Source* para dispositivos embarcados), o que viabilizou utilizar sua entrada USB (*Universal Serial Bus*) para a coleta e armazenamento de dados em um pen drive, além do envio das informações em tempo real via *internet*.

Figura 15 – Proxy IP
Fonte: Elaborada pelo autor



O trabalho foi desenvolvido em duas etapas. Primeiramente, foi feita a montagem do *hardware* e, em seguida foi desenvolvido o *software*.

4 RESULTADOS

Este capítulo aborda os resultados obtidos a partir do desenvolvimento do trabalho. Mais especificamente, direcionado à criação do protótipo, funcionamento do mesmo, experimentos realizados e dados coletados.

4.1 Desenvolvimento do *hardware*

O *software Multisim* foi utilizado para a simulação do circuito [34]. Esse *software* é livre e está disponível nos computadores da PUC-Campinas. Na Figura 16, pode-se observar os circuitos que foram utilizados no trabalho separadamente. Os dois primeiros circuitos (circuitos 1 e 2) são os circuitos dos relés, responsáveis pelo acionamento e desligamento da carga, um deles, utilizado quando a bateria está funcionando como fonte de alimentação, acionando um LED verde, e o outro, utilizado quando a rede elétrica está alimentando o circuito, acionando o LED vermelho.

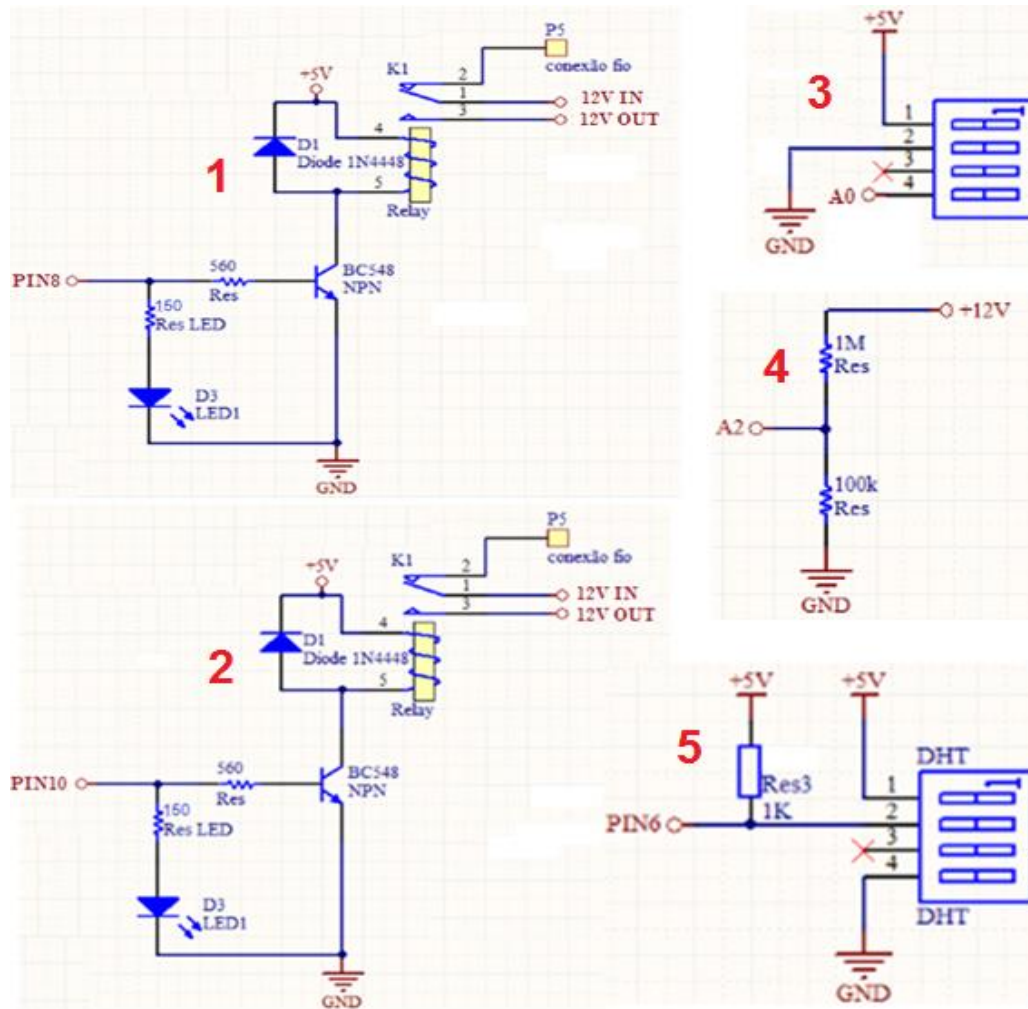
O circuito de número 3 representa o medidor de umidade do solo, responsável pelo acionamento da bomba d'água. Ele coleta os níveis medidos de umidade do solo através de um sensor.

O divisor de tensão, representado no circuito 4, é responsável pela medição da tensão da bateria, que será imprescindível para a escolha da fonte que será utilizada como alimentação, o que também será feito pelo Arduino de acordo com sua programação.

O quinto circuito é composto pelo sensor de temperatura e umidade do ar.

Figura 16 – Simulação no Software Multisim

Fonte: Elaborada pelo autor



Também foi utilizado o software *Eagle* 7.1.0. para passar o circuito do *protoboard* para a placa de circuito impresso [35]. Primeiramente, foram montados todos os circuitos, pinos de alimentação e terra, como é observado na Figura 17.

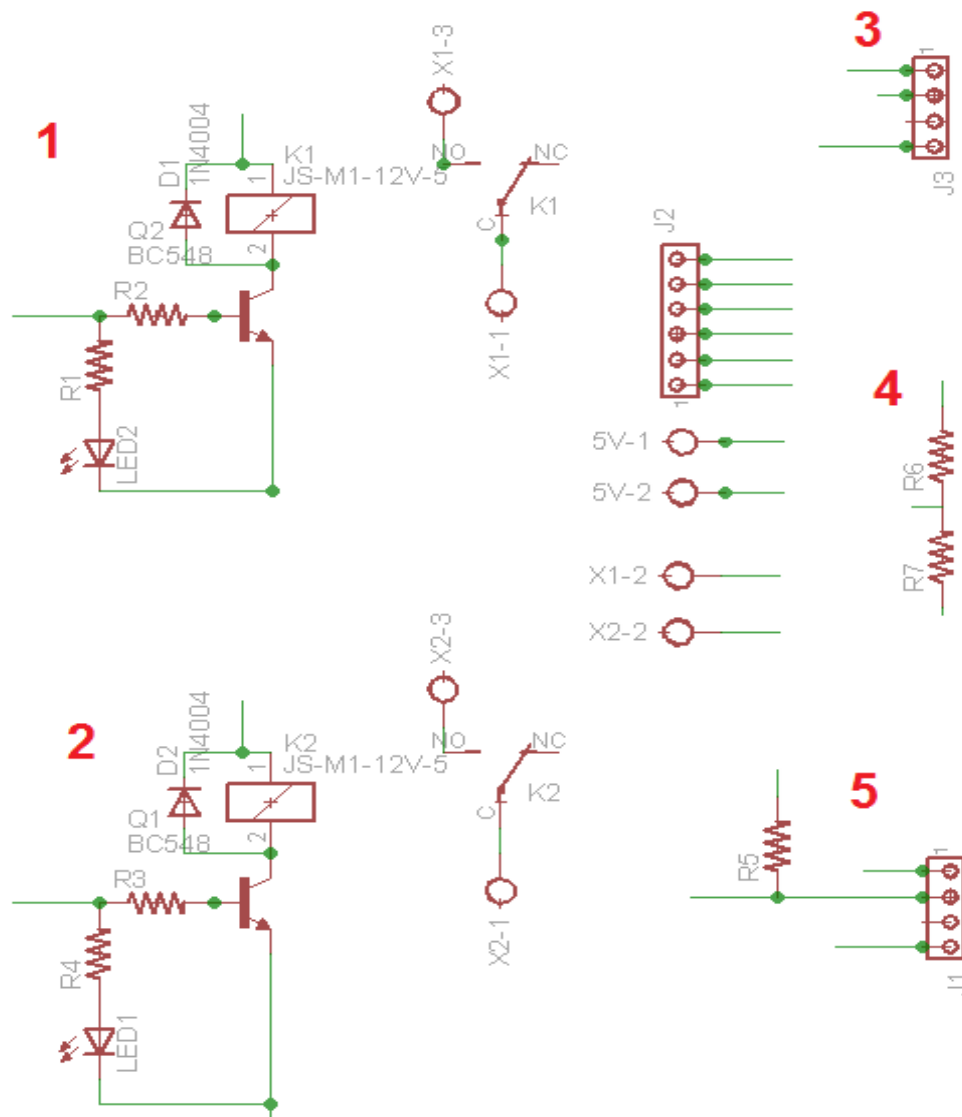
Cada circuito foi ligado através de uma determinada porta analógica ou digital do Arduino, para ser feita a ativação, especificamente, nos circuitos de número 1 e 2 e a coleta de dados nos circuitos 3, 4 e 5.

O circuito 1 foi ligado no PIN 8, o circuito 2 no PIN 10 e o circuito 5 no PIN 6 do Arduino. Eles foram ligados nessas portas específicas do Arduino, pois são portas

digitais. No caso dos circuitos 3 e 4, eles foram ligados nas portas A0 e A2 respectivamente, que são portas analógicas do Arduino.

Figura 17 – Simulação no *Software Eagle*

Fonte: Elaborada pelo autor

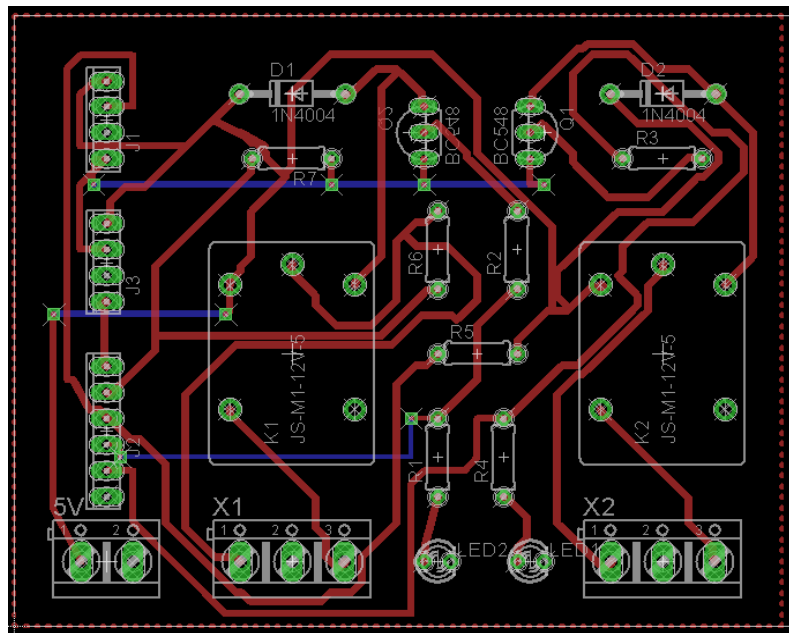


Após a ligação de todos os circuitos corretamente, foi organizada a disposição dos componentes que, posteriormente, foram colocados na placa de circuito impresso.

O próprio *software* promove o processamento para encontrar as melhores direções de disposição das trilhas, de modo que elas não se cruzem. Neste trabalho, houve a necessidade de colocação de *jumpers* adicionais, representados pelas ligações em azul na Figura 20.

Figura 18 – Organização dos Componentes para Geração do Circuito Impresso

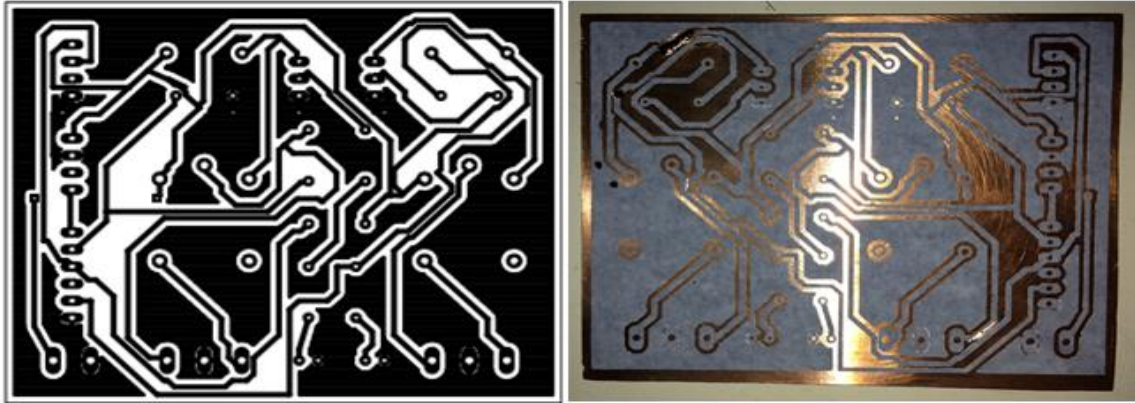
Fonte: Elaborada pelo autor



A Figura 19 mostra o circuito que foi feito no *software Eagle* e impresso em papel fotográfico, juntamente com o circuito corroído em placa de circuito impresso. Para esse procedimento, foi necessário o uso de um ferro quente para passar o circuito da fotografia para a placa e logo depois foi usado um ácido que corrói as partes da placa onde não existem as linhas impressas [35].

Figura 19 – Circuito no papel fotográfico e passado para a placa de fenolite

Fonte: Elaborada pelo autor



4.1.1 Fonte de Alimentação Principal

Os painéis solares são a principal fonte de alimentação do sistema, gerando em torno de 3A cada um. Ligado a eles está um controlador de carga que otimiza o carregamento da bateria e ligado diretamente nele está a bateria de 100Ah que foi dimensionada exatamente para que o circuito possa ser alimentado por mais de 35 horas direto sem interrupções (Figura 20).

Figura 20 – Fonte principal de alimentação

Fonte: Elaborada pelo autor

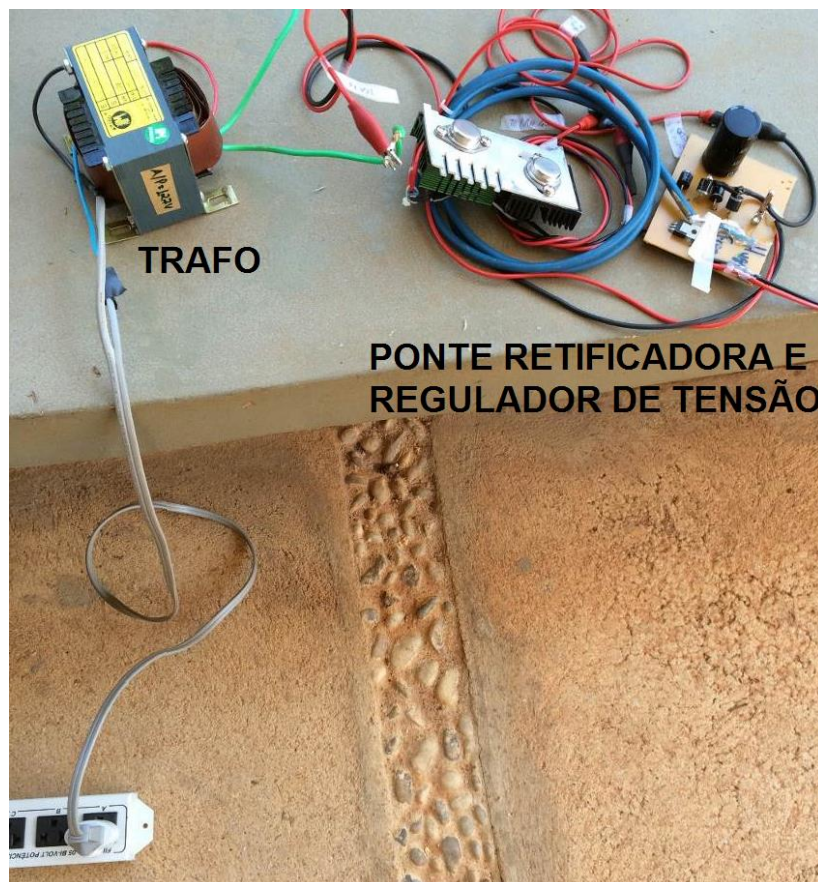


4.1.2 Fonte de Alimentação Secundária

A Figura 21 mostra a fonte alternativa para alimentação da unidade de controle. O funcionamento dela se dá a partir da rede elétrica 127V ou 220V (corrente alternada), passando por um transformador que diminui a tensão para 12V (corrente alternada). Ligado ao transformador está um circuito retificador, que transforma a corrente alternada em corrente contínua e aumenta a tensão para 16V. Em seguida passa por um regulador de tensão que abaixa a tensão de 16V para 12V (corrente contínua). A bomba d'água vai diretamente ligada nesse circuito, pois possui uma tensão de funcionamento de 12V.

Figura 21 – Fonte alternativa de alimentação, caso necessária

Fonte: Elaborada pelo autor



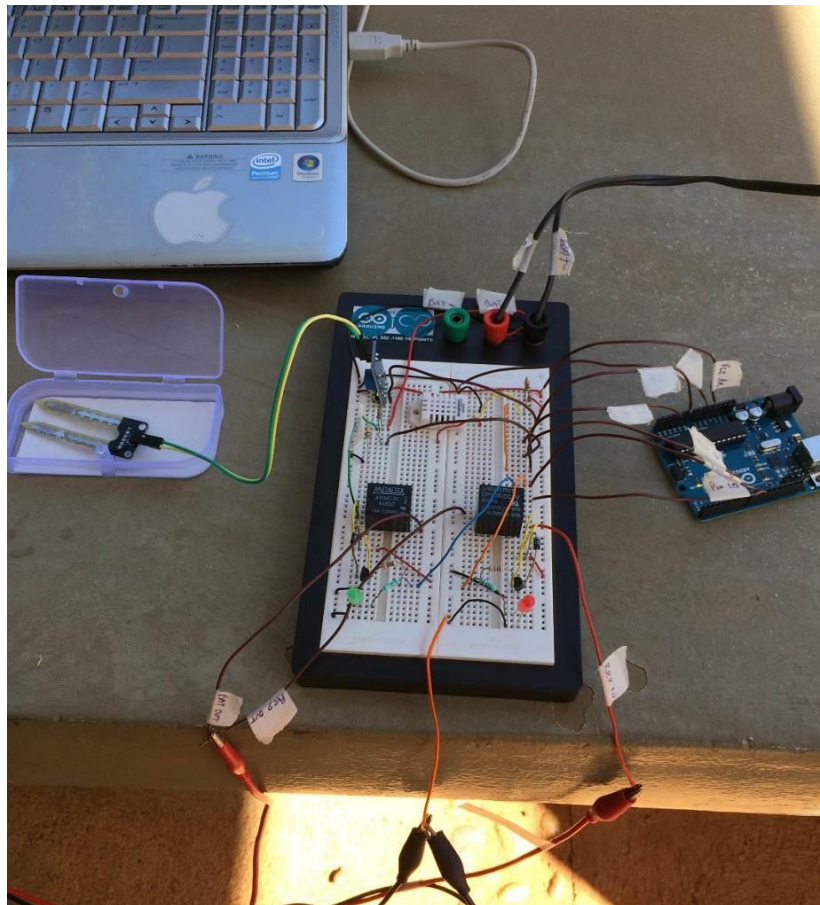
4.1.3 Sistema de Gerenciamento e Sensores

O circuito primeiramente desenvolvido em protoboard, em seguida foi implementado em circuito impresso. Ele contém um sensor de umidade de terra que é utilizado como chave do sistema, além dele também foi desenvolvido um circuito de temperatura e umidade de ar e um medidor de tensão na bateria. Todos os dados serão coletados pelo micro controlador Arduino e transferidos via cabo serial para um notebook.

Nesse circuito foram implementados dois circuitos chaveadores, um representando a bateria e outro representando a rede elétrica como observado na Figura 22.

Figura 22 – Circuito gerenciador do sistema.

Fonte: Elaborada pelo autor

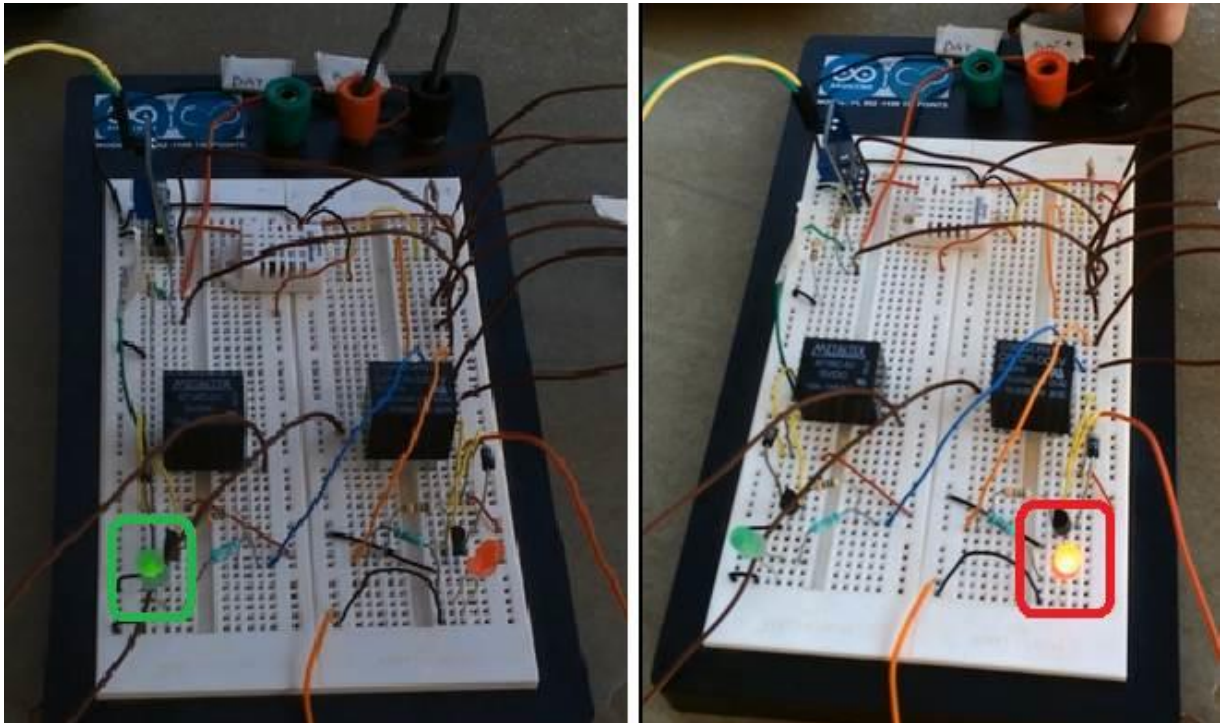


Os circuitos que foram montados utilizando os relés são designados para fazer a ligação entre a bomba d'água e as fontes de alimentação, são elas: bateria e rede elétrica.

Na Figura 23 é possível observar do lado esquerdo o LED verde aceso, isso significa que a bateria está sendo utilizada para alimentar a bomba d'água. Essa é a principal fonte de alimentação do circuito, que foi dimensionado para não esgotar. No entanto, como garantia, também foi desenvolvido uma fonte de alimentação a partir da rede elétrica para suprir qualquer dano ou queda de carga que a bateria venha a sofrer. Dessa forma, caso a bateria não consiga alimentar o sistema de irrigação, a rede elétrica é acionada e isso pode ser observado quando o LED verde apaga e o LED vermelho acende.

Figura 23 – Circuitos de chaveamento

Fonte: Elaborada pelo autor



4.1.4 Sistema Completo

A Figura 24 mostra todo o sistema interligado. A unidade de controle foi montada, utilizando as duas fontes de alimentação que podem se alternar de acordo com a programação que foi feita. O sensor de umidade e temperatura do ar também está coletando os dados, assim como os sensores de umidade do solo e de tensão na bateria, e enviando as medidas, via porta serial, para o computador.

Os dados podem ser enviados ao computador usando um cabo serial que liga o microcontrolador ao computador, no entanto também foi desenvolvida uma solução diferenciada. Com a utilização de um Proxy IP interligado ao Arduino, é possível enviar todos os dados coletados via Wi-Fi para qualquer localização.

Figura 24 – *Setup* montado com o sistema completo.

Fonte: Elaborada pelo autor

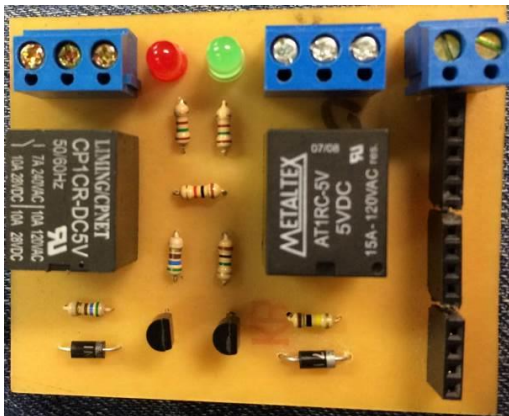


4.1.5 Placa de Circuito Impresso

A Figura 25 mostra o circuito devidamente corroído, furado e montado com todos os componentes soldados.

Figura 25 – Circuito Impresso com os Componentes

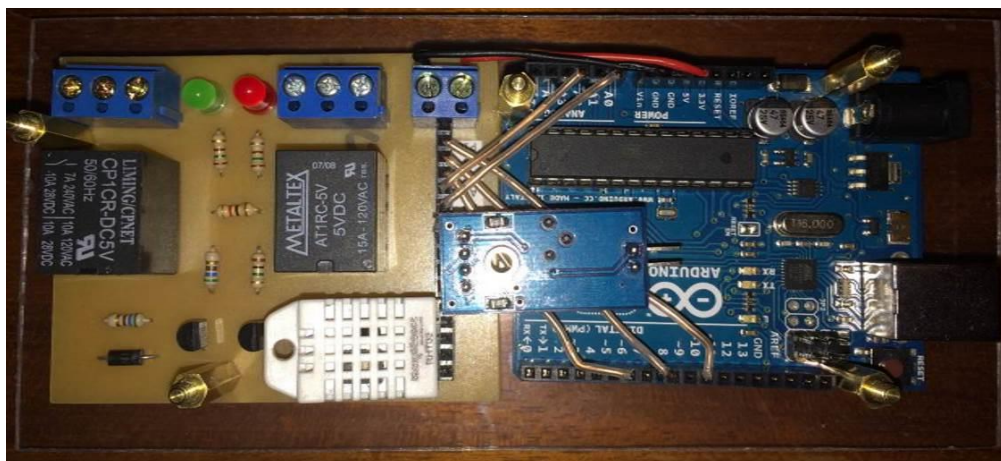
Fonte: Elaborada pelo autor



Pode ser observado na Figura 26, a placa de circuito impresso integrada com o Arduino e os sensores que podem ser deslocados, como o caso do sensor de umidade e temperatura do ar e o sensor de umidade do solo.

Figura 26 – Circuito Impresso Integrado com Arduino

Fonte: Elaborada pelo autor



O circuito foi devidamente coberto, na parte inferior e na parte superior, por duas placas de acrílico cortadas e lixadas do mesmo tamanho e fixadas por 5 parafusos (Figura 27).

Figura 27 – Circuito Principal

Fonte: Elaborada pelo autor



4.1.6 Protótipo Pré-montado

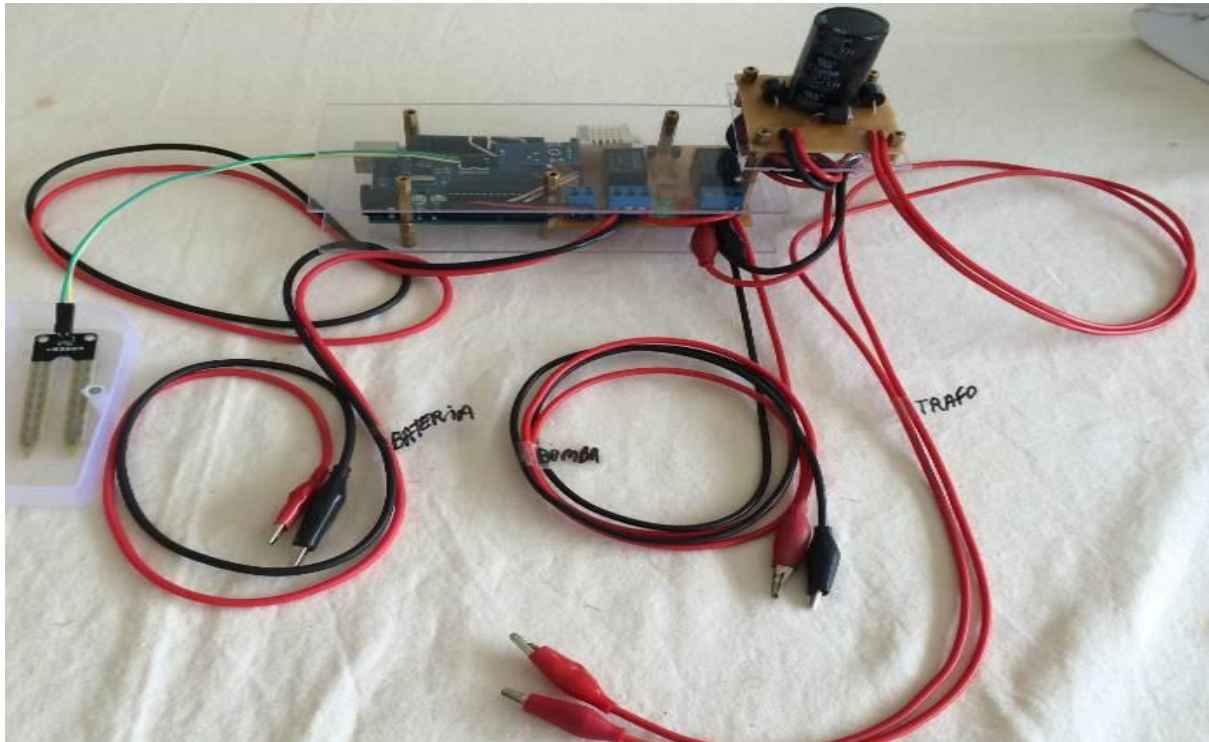
A Figura 28 mostra o circuito com todas as entradas e saídas devidamente organizadas e prontas para a ligação. É possível observar o sensor de umidade de terra, que é responsável pela ligação e desligamento do sistema, conectado ao fio verde e amarelo. Os outros 3 pares de fios são responsáveis pela entrada das fontes de alimentação e pela saída que será ligada diretamente na bomba d'água. O par de fios vermelho e preto localizados no lado esquerdo da figura representa a alimentação vinda da bateria. Os fios vermelhos são ligados no transformador demonstrando que não possuem polaridade, ou seja, são ligados na corrente alternada. Essa corrente passa por um circuito retificador transformando essa corrente alternada em corrente contínua para fazer a alimentação da carga.

O par de fios no meio da figura representa a saída para alimentação da bomba d'água. Ela utiliza o "terra comum" da placa, o mesmo da bateria e da saída do

circuito retificador. Seu fio positivo também é comum da saída do circuito retificador e da bateria, pois o acionamento é feito pelos relés, não ocorrendo a alimentação simultânea da carga pelas duas fontes de alimentação.

Figura 28 – Circuito Finalizado

Fonte: Elaborada pelo autor



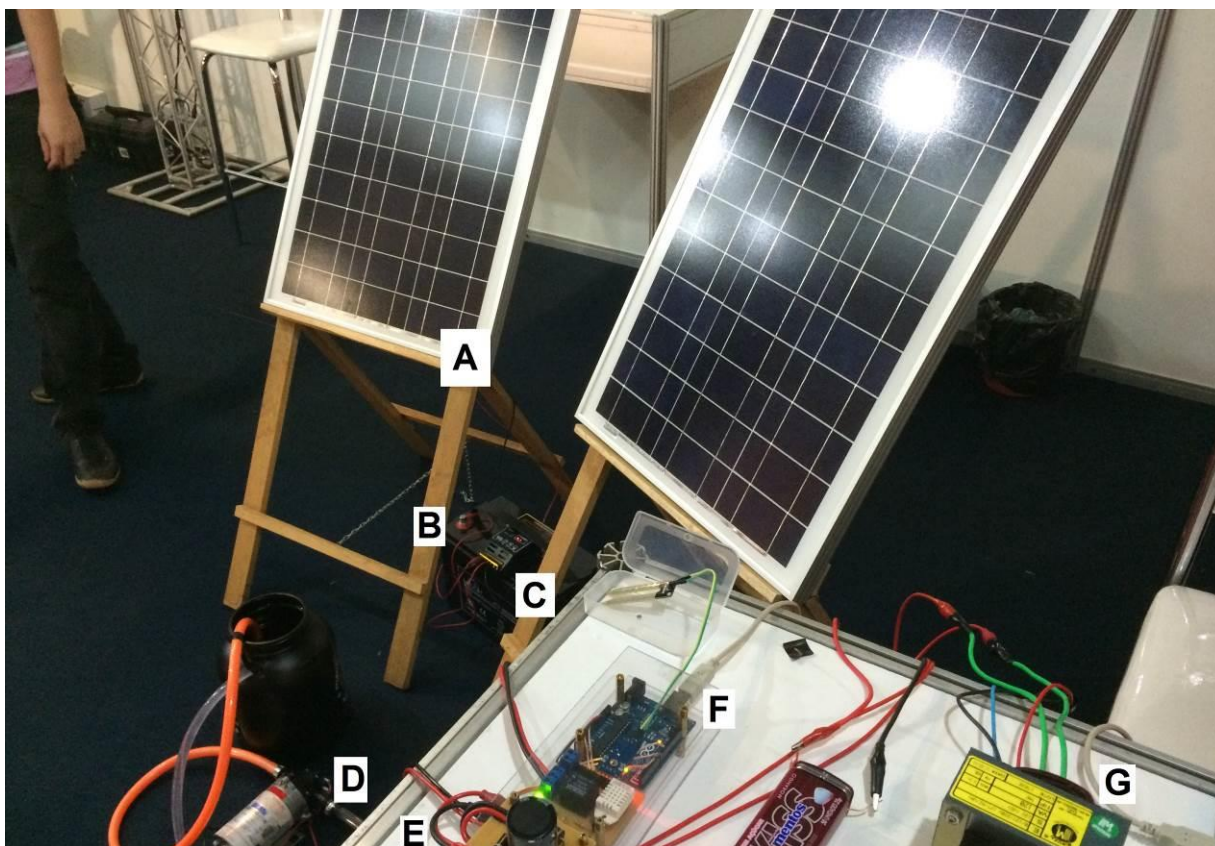
A Figura 29 mostra todo o sistema interligado como foi demonstrado anteriormente na Figura 24.

Na figura, a seguir, são descritos os componentes da unidade de controle desenvolvida. A letra A identifica os painéis solares, que são responsáveis pelo carregamento do componente B, a bateria. Entre eles, foi utilizado um controlador de carga (C) para otimizar a carga da bateria. A letra D representa a bomba d'água, que será responsável por fazer a irrigação de um determinado local. A letra E representa um circuito que foi implementado para retificar a corrente alternada vinda do transformador (item G), transformando-a em corrente contínua, apta a fazer a

alimentação da bomba d'água. O circuito interligando o Arduino e o circuito gerenciador com os sensores estão representados no item F.

Figura 29 – Sistema completo em funcionamento

Fonte: Elaborada pelo autor



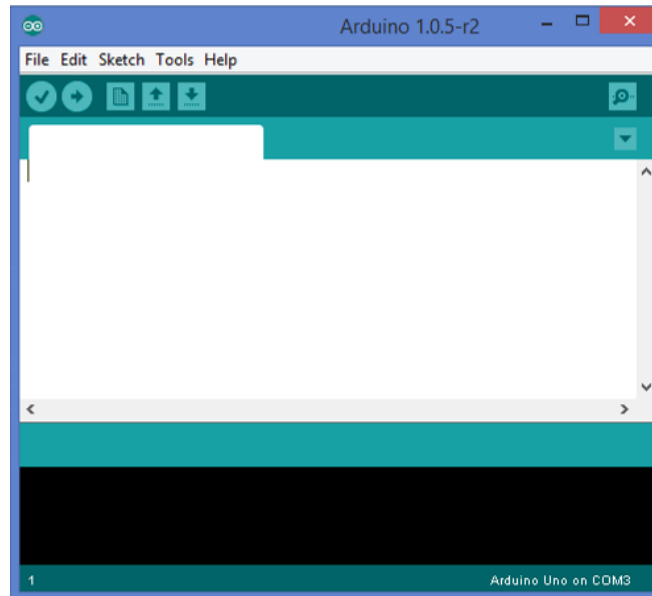
4.2 Desenvolvimento do *Software*

Para a implementação de um sistema “inteligente” e gerenciável por micro controlador, foi utilizada a plataforma Arduino, que é programada em linguagem C. O *software* foi desenvolvido e tem a função de coletar os dados que são obtidos pelos sensores utilizados.

A Figura 30 mostra a tela de programação do Arduino. O *software* é interligado ao *hardware* utilizando uma porta serial, nesse caso foi utilizada a porta COM3 do computador.

Figura 30 – Tela de monitoramento serial

Fonte: Elaborada pelo autor



4.2.1 Fluxograma do *Software* Desenvolvido

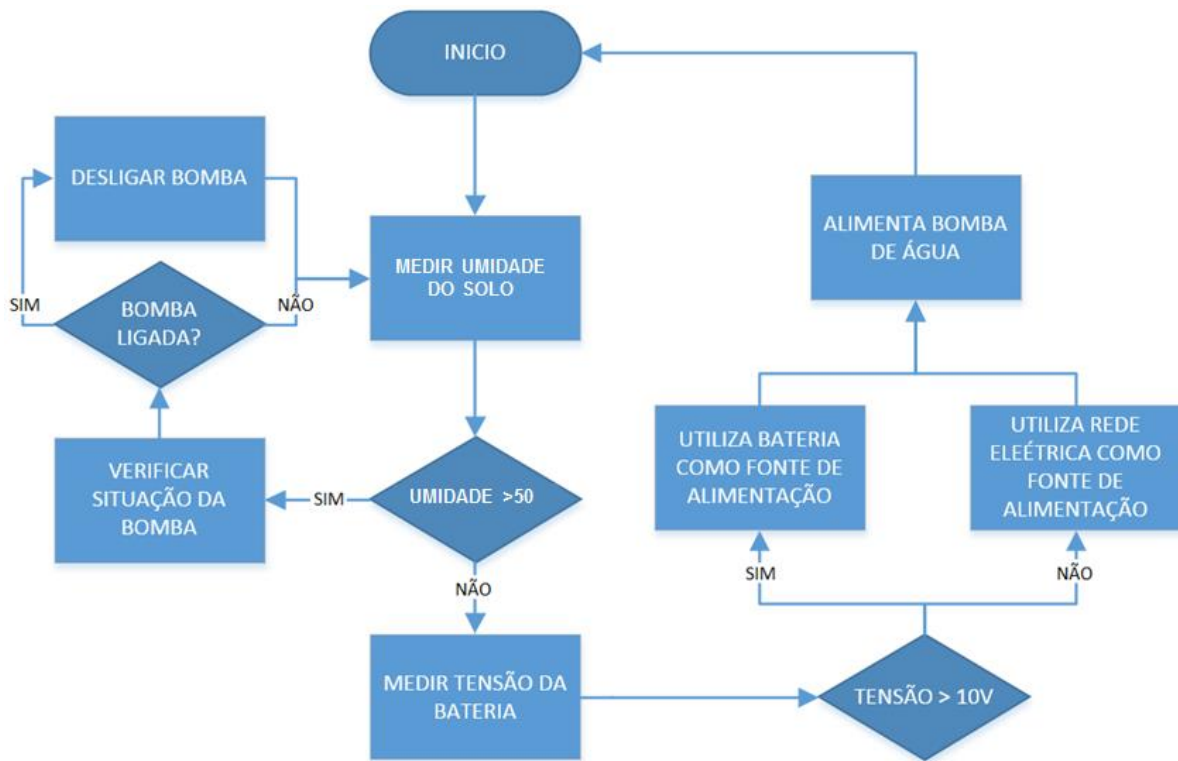
A programação do *software* foi efetuada no computador e transferida para o Arduino através do cabo serial. Ela é baseada no sensor de umidade de solo e na tensão da bateria. Esses são os dados que o *software* leva em conta para as tomadas de decisão quanto ao funcionamento e alimentação da bomba.

A Figura 31 ilustra o fluxograma do *software* proposto. Pode-se observar que o *software* analisa os dados do sensor de umidade de solo, gerando, assim, uma informação referente ao estado do solo (se está seco ou úmido) de acordo com um valor limite estipulado em *software*. Foi utilizado no trabalho o valor 50, que após alguns testes, foi considerado um limiar médio entre úmido e seco. Caso o solo esteja seco, o sistema é ativado e faz um novo questionamento, dessa vez sobre a

tensão da bateria. Se a bateria estiver com uma tensão acima de 10V, o sistema utiliza a mesma para a alimentação da bomba d'água; caso a tensão da bateria esteja abaixo de 10V, o sistema utiliza a rede elétrica convencional como alimentação para a bomba d'água. A leitura de umidade de solo e tensão da bateria é feita sistematicamente de segundo em segundo.

Figura 31 – Fluxograma do Software Proposto

Fonte: Elaborada pelo autor



4.2.2 Dados de Temperatura e Umidade do Ar

Foi utilizada a programação a seguir para fazer a leitura do sensor de temperatura e umidade do ar. É necessário fazer a inclusão de uma biblioteca para a leitura do sensor DHT03, que é ligado na porta digital do Arduino para o envio dos

dados de temperatura e umidade do ar. A Figura 35 ilustra a programação que foi desenvolvida para fazer a leitura do sensor de umidade e temperatura do ar.

Figura 32 – Código para medir temperatura e umidade

Fonte: Elaborada pelo autor

```
#include <dht.h>

dht DHT;

//----- Mede Temperatura e Umidade do Ar
int chk = DHT.read22(DHT03_PIN);
```

4.2.3 Dados de Umidade do Solo

O sensor de umidade do solo é ligado diretamente na porta analógica do Arduino e transfere seus dados que propiciam a tomada de decisão relacionada ao acionamento da unidade de controle desenvolvida. A Figura 33 ilustra a programação de leitura e preparação dos dados coletados pelo sensor em porcentagem. O microcontrolador também foi programado para fazer uma média móvel dos 10 últimos valores coletados para não surgirem resultados *outlier* por falta de uma ou mais medições.

Figura 33 – Código para medir umidade do solo

Fonte: Elaborada pelo autor

```
//----- Mede Umidade de Terra
Grove=0;
for(i=0;i<10;i++)
{
cont=analogRead(A0);
Grove = Grove+cont;
delay(0);
}
Grove=Grove/10;
```


4.2.4 Dados de Tensão da Bateria

O sensor utilizado para fazer a leitura da bateria é formado por dois resistores e está ligado na porta analógica do Arduino. A Figura 34 ilustra como foi programada a coleta e plotagem da tensão da bateria.

Figura 34 – Código para medir tensão

Fonte: Elaborada pelo autor

```
//----- Mede Tensão
sample_count = 0;
sum = 0;
while (sample_count < NUM_SAMPLES) {
  sum += analogRead(A2);
  sample_count++;
  delay(0);
}

voltage = ((float)sum / (float)NUM_SAMPLES * 5.015) / 1024.0;
```

4.2.5 Análise de Medições Coletadas

A Figura 35 mostra a parte do *software* foi responsável por fazer o acionamento do sistema através do dado de umidade do solo, primeiramente, e da tensão da bateria, em seguida.

A variável “Grove” representa a umidade do solo, foi utilizado esse nome pois se trata no nome comercial do sensor. Quando a medição está abaixo de 50, a bomba d’água é aciona.

A variável “tensão” representa a tensão na bateria. Quando está acima de 10V, o sistema é alimentado pela bateria e, quando a tensão está abaixo de 10V, o sistema é alimentado pela rede elétrica.

Figura 35 – Código para acionamento dos relés

Fonte: Elaborada pelo autor

```
//----- Valores sendo analisados

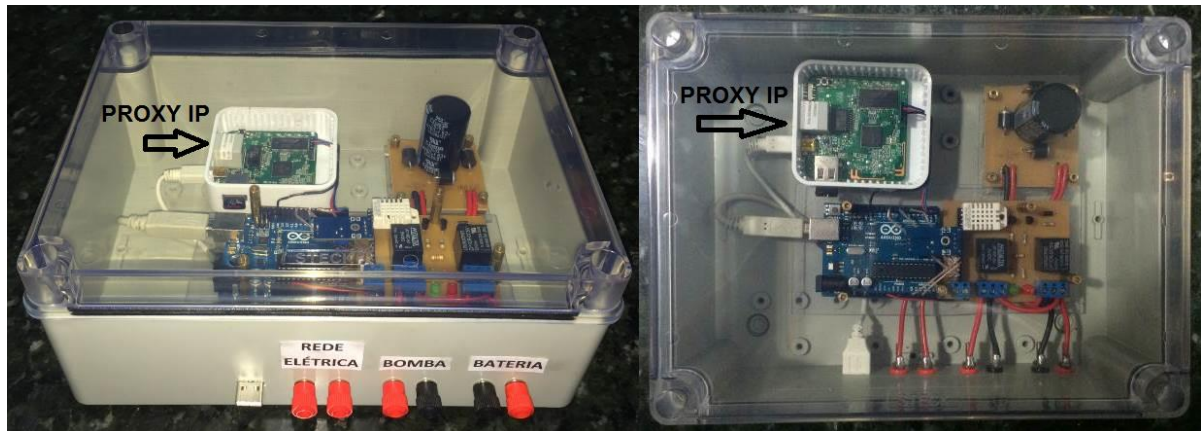
if (Grove >= 50)
{
    if (tensao >= 10)
    {
        digitalWrite(painel, HIGH);
        digitalWrite(rede, LOW);
    }
    else
    {
        digitalWrite(painel, LOW);
        digitalWrite(rede, HIGH);
    }
}
else
{
    digitalWrite(painel, LOW);
    digitalWrite(rede, LOW);
}
```

4.3 Avaliação Operacional do Protótipo Desenvolvido

A Figura 36 ilustra o sistema completo com as saídas e as entradas devidamente sinalizadas. É possível observar a alimentação do microcontrolador ATmega 168 (Arduino Uno) do lado esquerdo da foto. Logo ao lado, está a entrada da rede elétrica para alimentação da bomba d'água, seguida da saída de 12 V para alimentação da bomba d'água e, para finalizar, a entrada para plugar a bateria e viabilizar a alimentação da bomba d'água.

Figura 36 – Unidade de controle completa e com o Proxy IP instalado

Fonte: Elaborada pelo autor



Foi criado um *Set up* de testes para avaliar as medições dos sensores de temperatura do ar, umidade do ar, tensão na bateria e umidade do solo. Os dados foram coletados, apresentados em *dashboards* e salvos em uma memória externa. A Figura 37 ilustra a montagem do sistema para teste dos sensores e coleta de dados dos mesmos. Ao lado esquerdo da caixa, foi instalado o sensor de temperatura do ar e umidade do ar, além da saída do sensor de umidade de solo que está enterrado no vaso com a planta para coleta de dados. Através dos dados de umidade de solo coletados, foi possível observar o acionamento e desligamento do relé e do LED verde/ vermelho, indicando que a bomba d'água está sendo acionada e desligada. Quando a umidade do solo fica abaixo de 50%, e a tensão da bateria é superior a 10V, o LED verde se ascende e demonstra que todo o sistema está em funcionamento utilizando a bateria. Se a umidade do solo for inferior a 50% e a tensão da bateria for inferior a 10V, o LED vermelho indica que o sistema está funcionando e sendo alimentado pela rede elétrica. Também é possível observar que quando a umidade do solo está acima de 50%, ambos os LED se mantêm apagados.

Figura 37 – *Set up* de testes para coleta de dados dos sensores

Fonte: Elaborada pelo autor



A Figura 38 ilustra a unidade de controle integrada ao sistema completo e em funcionamento. Os painéis solares estão coletando a energia solar, transformando em energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico e armazenando-a na bateria. Todos os sensores estão coletando dados e enviando para o computador via Wi-Fi.

Na Figura 39 é possível observar o *Dashboard* (mostrador) gerencial que foi criado para mostrar os dados dos sensores em tempo real, eles são: umidade do ar, umidade do solo, temperatura do ar e tensão na bateria. Através desses dados é possível observar o estado de operação da unidade de controle, sabendo se a bomba d'água está acionada ou desligada e se está sendo alimentada pela bateria ou pela rede elétrica convencional, além de dados climáticos em tempo real ou em forma de histórico.

Figura 38 – *Set up* de teste finalizado e completo

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 39 – *Dashboard* gerencial no *notebook* e *smartphone* recebido via Wi-Fi

Fonte: Elaborada pelo autor

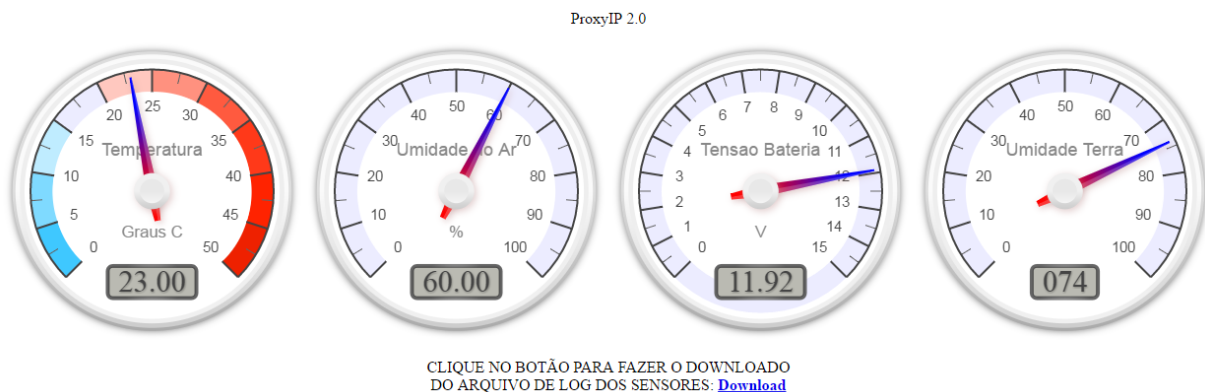


A interface de monitoramento pela Internet foi implementada na forma de mostradores (*dashboards*), ilustrados na Figura 40, que mostram os dados coletados, a partir dos sensores implementados, em tempo real. Também é possível observar um campo que está localizado na parte de baixo da figura, utilizado para o *download* de todo o histórico dos dados providos sensores, que foram salvos na memória local do Proxy IP. A Figura 40 ilustra um cenário onde a bomba d'água está desligada; isso é visível observando o quarto mostrador que marca a umidade do solo: quando esse valor é maior que 50%, o sistema se desliga e, quando é inferior a 50%, o sistema é novamente acionado.

Em relação aos outros mostradores que foram utilizados, o primeiro mostra a temperatura do ambiente em graus Celsius; o segundo mostra a umidade percentual do ar, de 0 a 100%; enquanto o terceiro mostrador mostra a tensão da bateria que alimenta a bomba d'água, em Volts.

Figura 40 – Bomba desligada

Fonte: Elaborada pelo autor



A Figura 41 ilustra a interface apresentada com o sistema ligado. É possível observar que o último mostrador está apresentando uma umidade de solo inferior a 50%; sendo assim, a bomba d'água está em funcionamento, uma vez que o sensor indica que o solo está seco. A bomba está sendo alimentada pela bateria, pois o terceiro mostrador está marcando uma tensão maior que 10V. Quando o solo está seco e a tensão da bateria está abaixo de 10V, a bomba d'água é alimentada pela

rede elétrica. É possível observar a interface apresentada na Internet nessa condição na Figura 42, com destaque para o terceiro mostrador, que indica uma tensão de aproximadamente 9,89 V na bateria.

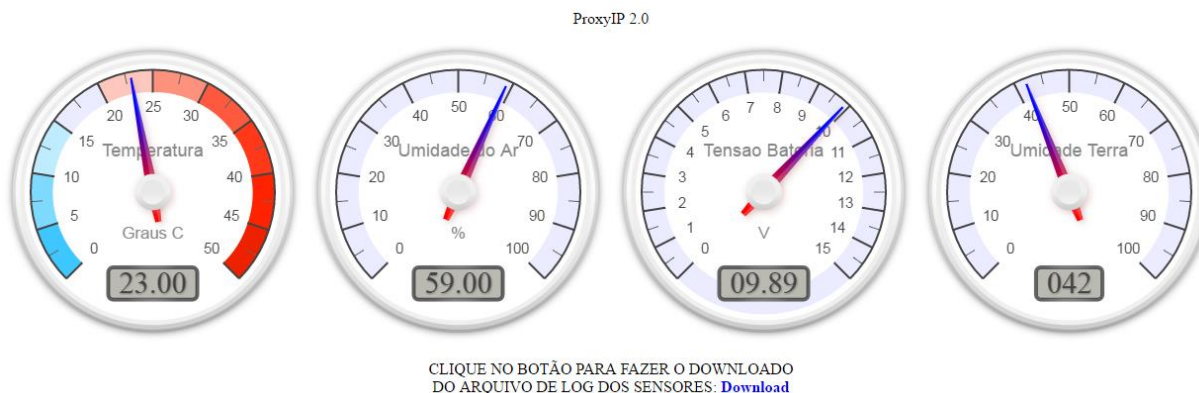
Figura 41 – Bomba ligada sendo alimentada pela bateria

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 42 – Bomba ligada sendo alimentada pela rede elétrica

Fonte: Elaborada pelo autor



Utilizando o *set up* de testes, foram gerados três gráficos com umidade de solo Figura 43, umidade do ar Figura 44 e temperatura do ar Figura 45, para avaliar se a unidade de controle estava funcionando de acordo com o esperado. O período de medição foi de um dia (24 horas). Foram medidos e salvos os valores dos sensores de meia em meia hora e os pontos plotados no gráfico foram de hora em

hora utilizando média móvel das últimas 3 coletas. Sendo assim, a medida plotada no gráfico às 10 horas da manhã, levou em consideração a média das últimas 3 medições, sendo elas 9, 9:30 e 10 horas.

Com essas medições ilustradas na Figura 43, foi possível observar a queda acentuada da umidade de solo quando deixada em ambiente externo no período de um dia de verão, mais especificamente no dia 18 de dezembro. Também foram medidos dados de temperatura do ar e umidade do ar, foram utilizados dois sensores para coleta dos dados de cada uma das grandezas e foi analisada a variação entre eles. O objetivo do uso de dois sensores diferentes foi comprovar através dos dados gerados, o funcionamento adequado de ambos dos sensores e do código programado no microcontrolador. É possível observar a variação de temperatura do ar entre os sensores na Figura 44. Para cada uma das medidas coletadas de hora em hora, foi calculado o erro absoluto entre elas. As medidas foram consideradas de acordo com o esperado, pois calculando o erro absoluto médio (EAM), o resultado foi 0,008 de variação. Essa variação entre os sensores fica dentro da taxa de erro definida pelo datasheet do equipamento. A Figura 45 ilustra a variação de umidade do ar no período de um dia, que foi feita em 18 de dezembro. Para a comprovação da veracidade da medição de umidade do ar, foi utilizada a mesma mecânica da coleta de temperatura (utilização de dois sensores e cálculo do erro absoluto). Para os dados de umidade do ar, o erro absoluto médio (EAM) calculado durante o período de um dia, foi de 0,086, um valor também considerado apropriado para o tipo de aplicação e para a validação do funcionamento dos sensores e códigos de programação do microcontrolador.

Figura 43 – Medição de umidade de solo

Fonte: Elaborada pelo autor

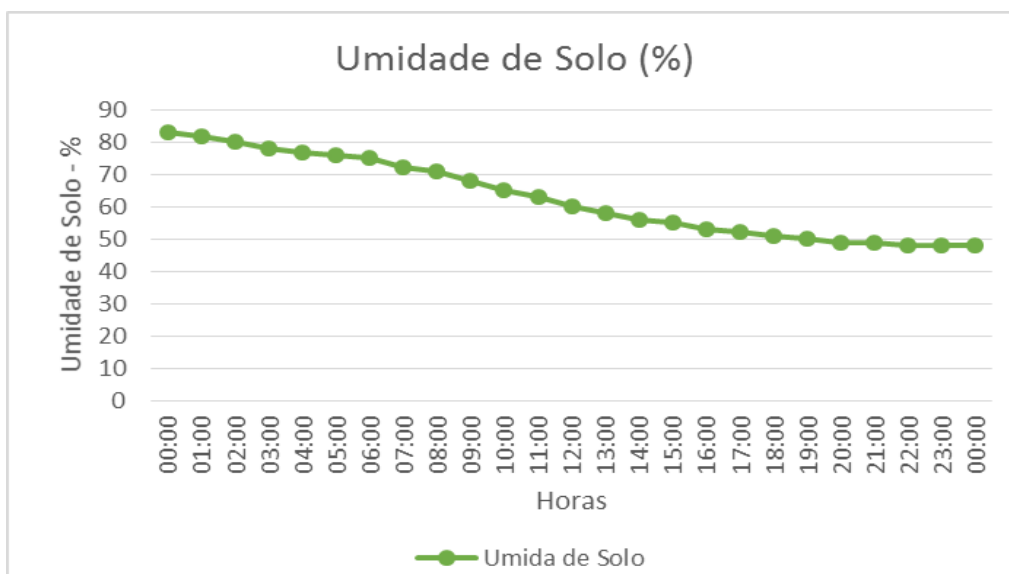


Figura 44 – Medição de temperatura do ar

Fonte: Elaborada pelo autor

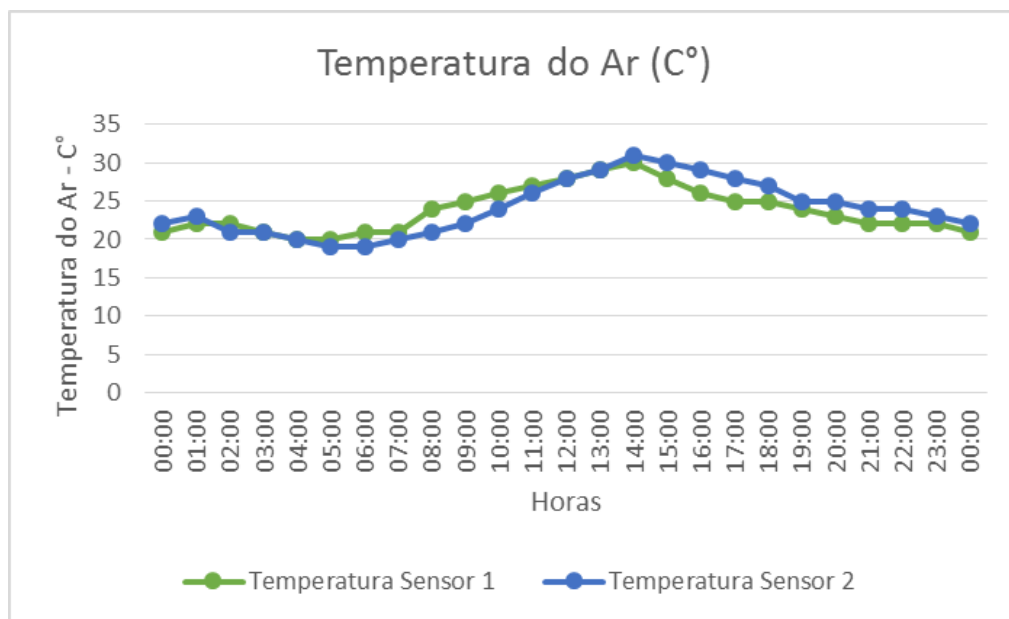
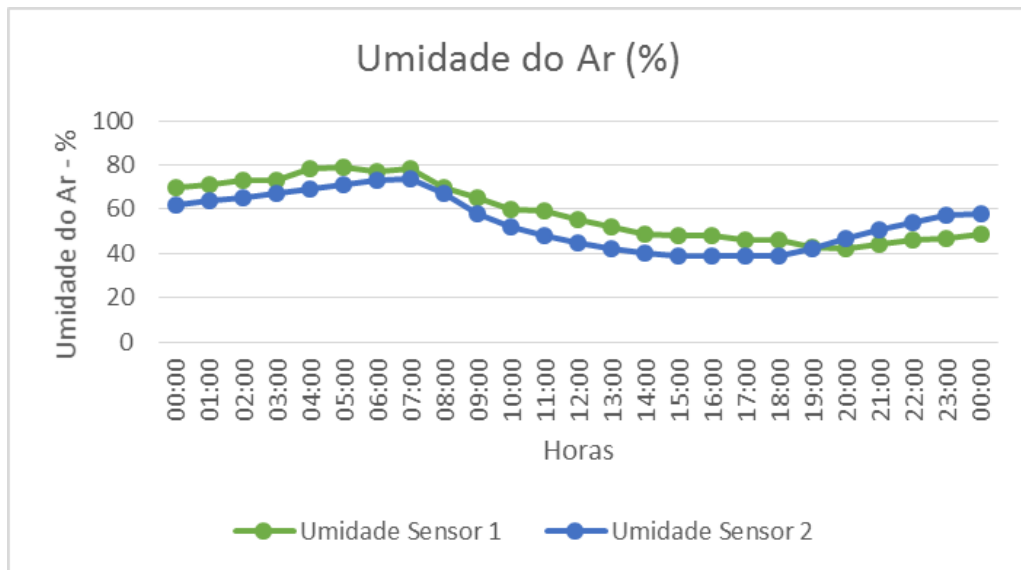


Figura 45 – Medição de umidade do ar

Fonte: Elaborada pelo autor



Com as medições obtidas a partir do sensor de umidade e temperatura do ar, é possível definir padrões meteorológicos para utilização em futuras aplicações. As Figura 44 e 45 ilustram a coleta de dados por um período de um dia, no entanto é possível coletar esses dados por um período maior de tempo e trabalhar com o estudo de padrões e previsões climáticas.

Com os dados obtidos através das medições dos sensores e plotagem dos gráficos, foi possível confirmar o funcionamento da unidade de controle de acordo com o esperado. Os dados são concretos e condizem com a realidade do período de medição.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da metodologia aplicada e os recursos obtidos foi possível desenvolver uma unidade de controle e automação para gestão de sistemas de irrigação, utilizando energia solar e redes IEEE 802.11. Essa unidade, além de trabalhar de forma autônoma, utiliza a energia solar como principal fonte de alimentação. O sistema de bombeamento desenvolvido é gerenciado por um Arduino, que foi programado para funcionar como chave do sistema. Ele é acionado e desligado em função da medição feita por um sensor de umidade de solo, quando a umidade do solo do local em que foi instalado estiver baixa o sistema é acionado e quando estiver alta, o sistema se desliga automaticamente. O sistema também utiliza a rede elétrica como fonte de alimentação para a bomba, caso a carga da bateria se esgote ou passe por alguma anomalia.

Foi possível interligar o sistema desenvolvido a um Proxy-IP, padrão IEEE802.11, que disponibiliza os dados de temperatura do ar, umidade do ar, umidade do solo e tensão na bateria em tempo real (além de um histórico de medições) via Wi-Fi. Foram feitos testes e coletas de dados que comprovaram o funcionamento condizente com o planejado e foi comprovada a viabilidade de acesso aos dados dos sensores em tempo real e ao histórico de dados via internet, possibilitando gerar análises robustas.

Sugestão de futuros desenvolvimentos:

- Testes com um sistema completo de irrigação para avaliar na prática um caso real de aplicação.
- Utilização da unidade de controle em diferentes aplicações, tais como automação residencial e cidades inteligentes.
- Agregar outros sensores ao sistema para medir outras grandezas, tais como, velocidade do vento, chuva, pH do solo e radiação solar.
- Estudo de tendências climáticas a partir dos dados de meio ambiente coletados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] IBGE. (2016). “Países mais extensos do mundo”

Disponível em:

<<http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/brasil-no-mundo.html>>

Acessado em:

11 de Abril de 2016

[2] Nuno Simões Martins, Maria do Rosário A. Calado, José A.N. Pombo, Sílvio J.P.S. Mariano. (2016). “Blueberries field irrigation management and monitoring system using PLC based control and wireless sensor network” - 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)

Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/document/7555535/>>

Acessado em:

15 de Agosto de 2016

[3] Jian-hua, Jin, Yang-ren Wang. (2016, Set) “Research on Increasing Production Benefit of Economic Crops under irrigation” –

Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/document/7577647/>>

Acessado em:

15 de Outubro de 2016

[4] Xia WU, Hong_lin Guan. (2009, Mai) “Analysis of Impact on the Irrigation at the Irrigated Area along the Yangtze River after the Application of Three Gorges Project”

Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/document/4918157/>>

Acessado em:

15 de Agosto de 2016

[5] ANA. Agencia Nacional de Águas. (2015) Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – Encarte Especial sobre a Crise Hídrica. 2014.

Disponível em:

<<http://conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf>>

Acessado em:

27 de Novembro de 2015

[6] Eugenia Patrícia Garcés Abad. (2007). “PROPOSTA DE FIXAÇÃO DE PREÇO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA, UTILIZANDO A METODOLOGIA DA PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA POSITIVA”

Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/12892/000615821.pdf?sequence=1>>

Acessado em:

6 de Março de 2016

[7] Nelson Sales, Artur Arsenio. (2016, Jan). “Wireless Sensor and Actuator System for Smart Irrigation on the Cloud”

Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/document/7389138/>>

Acessado em:

6 de Março de 2016

[8] MARTINS, J. E. M.P., FILHO, H. F. (2000, Out) UMA INTERFACE INTELIGENTE PARA AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Disponível em:

<http://infoagro2000.deinfo.uepg.br/artigos/pdf/info_086.pdf>

Acessado em:

12 de Maio de 2016

[9] GUIMARÃES, V. G., BAUCHSPIESS, A. (2012). AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO VISANDO A AGRICULTURA FAMILIAR

Disponível em:

<<http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2012/Artigos/100079.pdf>>.

Acessado em:

12 de Maio de 2016

[10] Jose Aroudo Mota, Jefferson Lorencini Gazoni, José Maria Reganhan, Marcelo Teixeira da Silveira, Geraldo Sandoval Góes. (2008, Dez). "TRAJETÓRIA DA GOVERNANÇA AMBIENTAL"

Disponível em:

<http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/boletim_regional/081207_boletimregional1_cap3.pdf>

Acessado em:

12 de Maio de 2016

[11] JACOBI, P. EDUCAÇÃO AMBIENTAL, CIDADANIA E SUSTENTABILIDADE

Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/%0D/cp/n118/16834.pdf>>.

Acessado em:

12 de Maio de 2016

[12] Ricardo Cunha da Costa e Claudia Pimentel Prates. (2005, Fev). “O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado”

Disponíveis em:

<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2436/1/BS%2021%20O%20papel%20das%20fontes%20renov%C3%A1veis_P.pdf>

Acessado em:

19 de Junho de 2016

[13] MARTINS, J. E. M.P., FILHO, H. F. (2000, Out) UMA INTERFACE INTELIGENTE PARA AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Disponível em:

<http://infoagro2000.deinfo.uepg.br/artigos/pdf/info_086.pdf>

Acessado em:

12 de Maio de 2016

[14] GUIMARÃES, V. G., BAUCHSPIESS, A. (2012) AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO VISANDO A AGRICULTURA FAMILIAR

Disponível em:

<<http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2012/Artigos/100079.pdf>>

Acessado em:

7 de Agosto de 2016

[15] MADALOSSO, E. (2014). SISTEMA AUTOMATIZADO PARA IRRIGAÇÃO DE ESTUFAS

Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2097/1/PB_ECOMP_2013_2_02.pdf.pdf>

Acessado em:

19 de Julho de 2016

[16] Uddin, J. (2013, Mar). Automated Irrigation System Using Solar Power

Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6471527>>

Acessado em:

19 de Julho de 2016

[17] HYDROPOINT,

Disponível em:

<<https://www.hydropoint.com/products/>>

Acessado em:

3 de Fevereiro de 2016

[18] CRESESB (2006), “Energia Solar, Princípios e Aplicações”.

Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutorial_solar>

Acessado em:

12 de Novembro de 2015

[19] CRESESB (2014), “Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos”

Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>.

Acessado em:

12 de Novembro de 2015

[20] ANEEL 2016, “BIG - Banco de Informações de Geração”

Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>.

Acessado em:

28 de Agosto de 2016

[21] ANEEL, (2007), “Energia Solar”.

Disponível em:

<[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>.

Acessado em:

12 de Novembro de 2015

[22] Massilon J. Araujo. “Fundamentos da Agropecuária”

Disponível em:

<http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46225424/livro-fundamentos-de-agronegocios-131107061028-phpapp02.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1476303326&Signature=leqPB3YnQQQshyTL8zH89T2x414%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DLivro_fundamentos_de_agronegocios_131107.pdf>

Acessado em:

24 de Maio de 2016

[23] Argemiro Bevilacqua. (2015, Dez). “Detecção e Mitigação de Anomalia na Camada MAC em Redes IEEE802.11”

Disponível em:

<<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/561>>

Acessado em:

11 de Abril de 2016

[24] Jeffrey G. Andrews and Runhua Chen. (2005,Fev). “Broadband Wireless Access with WiMax/802.16: Current Performance Benchmarks and Future Potential”

Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1391513>>

Acessado em:

24 de Maio de 2016

[25] Jin-Shyan Lee, Yu-Wei Su, and Chung-Chou Shen. (2008, Mar). “A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi”

Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4460126>>

Acessado em:

24 de Maio de 2016

[26] Solaris Tecnologia Fotovoltaica Industria Comercio e Serviços LTDA – EPP. Painel Solar.

Disponível em:

<<http://www.solaris.com.br/>>

Acessado em:

8 de Abril de 2015

[27] Koneze. Controlador de carga.

Disponível em:

<<http://www.elvet.co.rs/Solarni%20kontroler%203%20%20KEMO.pdf>>

Acessado em:

8 de Abril de 2015

[28] Leoch International Technology Limited. Bateria.

Disponível em:

<<http://www.leoch.com/>>.

Acessado em:

8 de Abril de 2015

[29] 2014 SHURFLO®. Bomba D'água.

Disponível em:

<<http://www.shurflo.com/>>.

Acessado em:

8 de Abril de 2015

[30] Produtos Eletrônicos Metaltex LTDA. Relé.

Disponível em:

<<http://www.metaltex.com.br/downloads/AT.pdf>>

Acessado em:

8 de Abril de 2015

[31] Seed Wiki. Sensor de umidade de solo.

Disponível em:

<http://www.seeedstudio.com/wiki/Grove_-_Moisture_Sensor>

Acessado em:

8 de Abril de 2015

[32] Maxdetect. Sensor de umidade e temperatura.

Disponível em:

<<http://dlmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Weather/RHT03.pdf>>

Acessado em:

8 de Abril de 2015

[33] Microcontrolador Arduino.

Disponível em:

<<http://www.arduino.cc/>>.

Acessado em:

8 de Abril de 2015

[34] Software para simulação. Disponível em:

< <http://www.ni.com/multisim/pt/>>

Acessado em:

15 de Maio de 2015

[35] Software para corroer placa de Circuito Impresso.

Disponível em:

< <http://www.cadsoftusa.com/>>

Acessado em:

15 de Maio de 2015

[36] GONCALVES, C. R.; MOTA, Alexandre de Assis (2012). Aferição de incidência solar em microgeradores fotovoltaicos: Estudo do potencial para bombeamento de água (IC111161). In: XVII Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas, 2012, Campinas (SP). Anais (CD ISSN 1982-0178), 2012.

Acessado em:

20 de Abril de 2015

[37] FRIEDRICH, L.A. (2010, Dez). Rede de sensores sem fio para gerenciamento e otimização de sistemas de irrigação.

Disponível em:

<http://aplicacoes.up.edu.br/biblioteca/arquivos/biblioteca_publicador/TCC2010/Engenharia%20da%20Computa%C3%A7%C3%A3o/REDE%20DE%20SENSORES%20SEM%20FIO%20PARA%20GERENCIAMENTO%20OTIMIZA%C3%87%C3%83O%20DE%20SISTEMAS%20DE%20IRRIGA%C3%87%C3%83O.pdf>

Acessado em:

27 de Julho de 2016

[38] MACHADO, L. F.; MOTA, Alexandre de Assis; MOTA, Lia Toledo Moreira. (2014) Sensoriamento de nível de líquidos utilizando plataforma proxy IP para cidades inteligentes. In: I Simpósio do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana - SPInfra 2014, 2014, Campinas. Anais, 2014.

Acessado em:

3 de Maio de 2016

[39] MACHADO, L. F. (2015). PROXY IP DE BAIXO CUSTO E MÚLTIPLOS SENSORES PARA CIDADES INTELIGENTES

Disponível em:

<http://www.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br/tde_arquivos/10/TDE-2016-02-05T084619Z-1956/Publico/Leandro%20Filiagi%20Machado.pdf>

Acessado em:

3 de Maio de 2016

APENDICE

Programação Gravada no Arduino.

```
#include <dht.h>
```

```
dht DHT;
```

```
#define DHT03_PIN 6
```

```
#define NUM_SAMPLES 10
```

```
int Grove;
```

```
int cont;
```

```
int i;
```

```
int sum = 0;
```

```
unsigned char sample_count = 0;
```

```
float voltage = 0.0;
```

```
int painel = 10;
```

```
int rede = 8;
```

```
double tensao = 0;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  pinMode(painel, OUTPUT);
```

```
  pinMode(rede, OUTPUT);
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  Serial.println("CLEARDATA");
```

```
  Serial.println("LABEL, Hora, Temperatura, Umidade do ar, Tensao, Umidade de  
Terra");
```

```
}
```

```

void loop()
{
//----- Mede Temperatura e Umidade do Ar
  int chk = DHT.read22(DHT03_PIN);
//----- Mede Umidade de Terra
  Grove=0;
  for(i=0;i<10;i++)
  {
    cont=analogRead(A0);
    Grove = Grove+cont;
    delay(0);
  }
  Grove=Grove/10;
//----- Mede Tensão
  sample_count = 0;
  sum = 0;
  while (sample_count < NUM_SAMPLES) {
    sum += analogRead(A2);
    sample_count++;
    delay(0);
  }

  voltage = ((float)sum / (float)NUM_SAMPLES * 5.015) / 1024.0;

//----- Defini valor voltage como tensão

  tensao = voltage * 11.132;

//----- Valores sendo analisados

```

```

if (Grove >= 50)
{
  if (tensao >= 10)
  {
    digitalWrite(painel, HIGH);
    digitalWrite(rede, LOW);
  }
  else
  {
    digitalWrite(painel, LOW);
    digitalWrite(rede, HIGH);
  }
}
else
{
  digitalWrite(painel, LOW);
  digitalWrite(rede, LOW);
}

//----- Imprime valores medidos
  Serial.print("DATA, TIME");
  Serial.print(", ");
  Serial.print(DHT.temperature);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(DHT.humidity);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(voltage * 11.132);
  Serial.print(", ");
  Serial.println(Grove);

delay(2000);}

```