



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS  
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**ESTAÇÃO DE ESTUDO ALIMENTADA POR ENERGIA  
FOTOVOLTAICA**

ALEXANDRE SIQUEIRA DA SILVA  
ANDERSON JORGE GUIMARÃES CARNEIRO

SANTARÉM - PA  
2017

ALEXANDRE SIQUEIRA DA SILVA  
ANDERSON JORGE GUIMARÃES CARNEIRO

**ESTAÇÃO DE ESTUDO ALIMENTADA POR ENERGIA  
FOTOVOLTAICA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso –  
TCC apresentado ao Curso de Bacharelado  
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da  
Universidade Federal do Oeste do Pará –  
UFOPA como requisito parcial para obtenção do  
grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

LÁZARO JOÃO SANTANA DA SILVA

SANTARÉM - PA  
2017

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

ESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO FOI ANALISADO PELOS MEMBROS  
DA BANCA EXAMINADORA, ABAIXO ASSINADOS:

APROVADO EM: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

### **ESTAÇÃO DE ESTUDO ALIMENTADA POR ENERGIA FOTOVOLTAICA**

ALEXANDRE SIQUEIRA DA SILVA  
ANDERSON JORGE GUIMARÃES CARNEIRO

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. MsC. Lázaro João Santana da Silva

---

Prof. Dr. Manoel Roberval Pimentel Santos

---

Prof. Dr. Aldo Gomes Queiroz

SANTARÉM - PA  
2017

## DEDICATÓRIA

A minha família

Aos meus amigos

A meu amigo de projeto

Anderson

*Alexandre Siqueira*

A mim

Aos meus pais e esposa

Ao parceiro de projeto

Alexandre

*Anderson Carneiro*

## **AGRADECIMENTO – Alexandre Siqueira**

Agradecer primeiramente a Deus, que iluminou e abençoou minha trajetória.

Ao meu pai Izaias, e minha mãe Maria Leonildes, pelo apoio e por tudo que sempre fizeram por mim, pela simplicidade, exemplo, amizade, e amor, fundamentais na construção do meu caráter.

Aos meus irmãos Alan e Adriane que, incondicionalmente, estiveram ao meu lado.

Ao professor, Manoel Roberval Santos, pela disposição, orientação e incentivo que foi de fundamental importância para a realização desse projeto.

Ao orientador Lázaro Silva, pelo apoio e conhecimento transmitido.

Aos demais professores e amigos que de alguma forma contribuíram nessa caminhada, acreditando no meu potencial e nas minhas ideias.

E finalmente, agradeço a meu amigo e parceiro de projeto Anderson Carneiro.

## **AGRADECIMENTO – Anderson Carneiro**

Ao meu bom Deus, por me dar sabedoria, oportunidade de viver intensamente cada amanhecer.

Aos meus pais, Otávio e Ana Lúcia, pela força e confiança que me deram durante toda a minha vida pessoal e acadêmica.

A minha esposa Jamila, que durante todos esses anos tem sido minha amiga e juntamente comigo chorou e riu muitas vezes durante todo esse percurso da Universidade e da minha vida com muito amor.

Aos meus irmãos e familiares por me ajudarem e me apoiarem.

Agradeço aos meus amigos, por toda motivação que me deram e pela amizade de todos esses anos.

Ao meu amigo Alexandre Siqueira, pelo companheirismo, por todos os projetos concluídos com sucesso, e motivação durante todo percurso acadêmico.

Ao meu orientador, Lázaro Silva, por me ajudar com seus ensinamentos e por sempre colocar caminhos pelo qual, poderíamos trilhar sem medo.

A todos os meus professores por sua atenção, paciência, dedicação e motivação.

## **EPIGRAFE**

“No meio de toda dificuldade encontra-se a oportunidade”.

*Albert Einstein*

“Não deve haver limites para o esforço humano. Somos todos diferentes. Por pior do que a vida possa parecer, sempre há algo que podemos fazer em que podemos obter sucesso.

Enquanto houver vida, haverá esperança”.

*Stephen Hawking*

## RESUMO

A energia fotovoltaica é muito promissora e importante na preservação dos recursos naturais. Este projeto pretende desenvolver Estações de Estudo nas dependências externas da UFOPA totalmente alimentadas por painéis fotovoltaicos instalados em pontos estratégicos e com tecnologia de baixo impacto ambiental. Esta unidade possibilitará o uso simultâneo de até 04 notebooks, ou outros aparelhos digitais de baixa potência tais como: câmeras fotográficas, telefones celulares, tablets, smartphones e outros dispositivos. Também será prevista iluminação adequada possibilitando o uso noturno. A estrutura da estação será fixa e confeccionada de madeira certificada e coberta com telhas ecológicas, deixando-a com uma aparência rústica, combinando com a paisagem natural da Instituição. Estas estações têm como objetivo permitir que os acadêmicos possam ter um espaço para realização de pesquisas, estudo e desenvolver trabalhos acadêmicos ao ar livre. No trabalho são tratados os conceitos básicos de energia fotovoltaica, do ambiente de desenvolvimento Arduino, funcionamento de alguns sensores e módulos, bem como o dimensionamento do sistema e seus resultados.

**Palavras-chave: Energia, Fotovoltaica, Estação de Estudo.**



## **ABSTRACT**

Photovoltaic energy is very promising and important in the preservation of natural resources. This project intends to develop Stations of Study in the external dependencies of UFOPA fully fed by photovoltaic panels installed in strategic points and with technology of low environmental impact. This unit will allow the simultaneous use of up to 04 notebooks or other low-power digital devices such as cameras, cell phones, tablets, smartphones and other devices. Adequate lighting will also be provided for nighttime use. The structure of the station will be fixed and made of certified wood and covered with ecological tiles, leaving it with a rustic appearance, combining with the natural landscape of the Institution. These stations aim to allow academics to have a space for conducting research, study and developing academic works outdoors. In the work are treated the basic concepts of photovoltaic energy, the Arduino development environment, the operation of some sensors and modules, as well as the design of the system and its results.

**Keywords: Energy, Photovoltaics, Study Station.**

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	13
2.1.	RELEVÂNCIA SOCIAL DO TEMA.....	13
2.2.	LOCALIZAÇÃO.....	14
2.3.	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	15
2.4.	COMPONENTES DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	15
2.5.	GERADOR FOTOVOLTAICO.....	15
2.6.	ACUMULADORES.....	16
2.6.1.	CONSTITUIÇÃO E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	16
2.7.	CONTROLADORES DE CARGA.....	19
2.8.	INVERSORES .....	21
2.9.	CABEAMENTOS .....	23
2.10.	TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	24
2.10.1.	Sistemas Isolados .....	24
2.10.2.	Sistemas conectados à rede.....	25
2.11.	ARDUINO.....	27
2.12.	SENSORES .....	29
2.12.1.	Sensor LDR.....	30
2.12.2.	Sensor PIR .....	30
2.12.3.	Módulo Relé de dois Canais .....	31
2.12.4.	Módulo RTC .....	31
3.	METODOLOGIA.....	32
3.1.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO .....	32
3.1.1.	Consumo total.....	32
3.1.2.	Escolha do Inversor de Tensão.....	32
3.1.3.	Banco de Baterias .....	33
3.1.4.	Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos .....	34
3.1.5.	Controlador de Carga.....	35
3.2.	MONTAGEM DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	36
3.3.	MONTAGEM DA ESTAÇÃO .....	37
3.4.	MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DOS MÓDULOS DE AUTOMAÇÃO .....	40
3.4.1.	Módulo RTC DS1307.....	40
3.4.2.	Sensor LDR .....	41
3.4.3.	Sensor PIR .....	42
3.4.4.	Módulo Relé .....	42

4. RESULTADOS .....	43
5. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estação de estudo .....	12
Figura 2 – Mini estações.....	14
Figura 3 – Localização da Estação .....	14
Figura 4 – Módulo fotovoltaico policristalino.....	16
Figura 5 – Esquema simplificado de uma célula eletroquímica.....	17
Figura 6 – Bateria comercial. ....	18
Figura 7 – Esquema configuração do inversor. ....	21
Figura 8 – Esquema forma de onda do inversor.....	22
Figura 9 – Esquema de circuito de um inversor.....	23
Figura 10 – Configuração de um SFCR em localidades sem incentivos.....	26
Figura 11 – Arduino Uno R3.....	27
Figura 12 – Arduino IDE.....	28
Figura 13 – Atmega328P.....	28
Figura 14 – Vários tipos de sensores .....	30
Figura 15 – LDR (Resistor Dependente de Luz).....	30
Figura 16 – PIR (Passive Infrared).....	30
Figura 17 – Módulo relé de dois canais.....	31
Figura 18 – Módulo RTC (Real Time Clock).....	31
Figura 19 – Irradiação solar em Santarém.....	34
Figura 20 – Esquema de montagem do sistema. ....	36
Figura 21 – Esquema geral do sistema fotovoltaico e Estação.....	36
Figura 22 – Perspectiva da Estação. ....	37
Figura 23 – Planta baixa da Estação.....	37
Figura 24 – Secção transversal da Estação.....	38
Figura 25 – Planta de cobertura da Estação.....	38
Figura 26 – Esquema elétrico da Estação.....	39
Figura 27 – Ligação série/paralelo das placas e baterias.....	39
Figura 28 – Montagem do circuito na protoboard utilizando o software Fritzing. ....	40
Figura 29 – Esquema de ligação do Módulo RTC DS1307. ....	41
Figura 30 – Esquema de ligação do sensor LDR.....	41
Figura 31 – Esquema de ligação do sensor PIR. ....	42
Figura 32 – Esquema de ligação do Módulo Relé.....	42

Figura 33 – Bancada de testes. ....	43
Figura 34 – Bancada de testes em funcionamento. ....	44
Figura 35 – Disposição dos equipamentos na bancada. ....	44
Figura 36 – Dispositivo de proteção.....	45
Figura 37 – Consumo de corrente aproximado do sistema. ....	46
Figura 38 – Monitor serial em funcionamento. ....	47
Figura 39 – Módulo de automação. ....	48

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Características dos Principais Tipos de Baterias Comerciais.....	18
Tabela 2 – Nova Resolução.....	25
Tabela 3 - Consumo estimado da estação de estudo .....	32

## 1. INTRODUÇÃO

A energia fotovoltaica é muito promissora e importante na preservação dos recursos naturais. Este projeto pretende desenvolver Estações de Estudo nas dependências externas da UFOPA totalmente alimentadas por painéis fotovoltaicos instalados em pontos estratégicos e com tecnologia de baixo impacto ambiental – Figura 1. O sistema fotovoltaico que alimenta a estação possibilitará o uso simultâneo de até 04 notebooks, ou outros aparelhos digitais de baixa potência tais como: câmeras fotográficas, telefones celulares, tablets, smartphones e outros dispositivos. Também foi previsto iluminação adequada possibilitando o uso noturno.



Figura 1 – Estação de estudo  
Fonte: Os autores.

A estação será automatizada através do Arduino, utilizando um algoritmo de linguagem baseada em C, que foi desenvolvida e otimizada para que os sensores presentes no módulo funcionem de acordo com o que foi preestabelecido para o seu correto aproveitamento.

A estrutura da estação será fixa e confeccionada de madeira certificada e coberta com telhas ecológicas, deixando-a com uma aparência rústica, combinando com a paisagem natural da Instituição. Estas estações têm como objetivo permitir que os acadêmicos possam ter um espaço para realização de pesquisas, estudo e desenvolver trabalhos acadêmicos ao ar livre.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. RELEVÂNCIA SOCIAL DO TEMA

Com a crescente demanda pelo uso de energia convencional, existe a necessidade de nos conscientizarmos na busca de possíveis soluções para minimizarmos o impacto no meio ambiente, o que faz do uso da energia fotovoltaica imprescindível para a melhoria do futuro das próximas gerações.

Construção Sustentável é um sistema construtivo que promove alterações conscientes no entorno, de forma a atender as necessidades de edificação e uso do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida [1].

A implantação da Estação de Estudo nas dependências da UFOPA, irá propiciar, aos acadêmicos, professores e demais usuários, um ambiente de estudo ao ar livre e um contato maior com a natureza do Campus.

É importante ressaltar, que a paisagem natural não será alterada com a sua construção e que os materiais utilizados no processo serão todos ecológicos.

Ela também será disponibilizada para utilização como laboratório ao ar livre, onde os acadêmicos terão à sua disposição, um kit montado de energia solar fotovoltaico off-grid, um Arduino e sensores, podendo observar seu funcionamento e coletar dados para estudo.

Mini estações de recarga (Figura 2) com energia solar já existem em lugares como Nova York, onde as pessoas podem recarregar seus dispositivos móveis de graça em lugares como parques, ruas e praias. Estas estações são compostas de postes de aço de 12,5 metros com painéis em forma de pétala e são chamadas de “Charge Street”, que possui saídas USB e pode acomodar até seis dispositivos ao mesmo tempo [2].





Figura 2 – Mini estações.  
Fonte: [2]

## 2.2. LOCALIZAÇÃO

Inicialmente, o local escolhido para implantação da primeira Estação de Estudo no Campus da Universidade está indicado na Figura 3, de coordenada em UTM (Universal Transverse Mercator) 751186.58 mE e 9732268.23 mS<sup>1</sup>. Essa escolha teve como ponto principal a facilidade de acesso, visibilidade e taxa de insolação alta, imprescindível para instalação dos painéis solares.



Figura 3 – Localização da Estação  
Fonte: [3]

<sup>1</sup> Google Earth Pro 7.1.5.1557

### 2.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica consiste na energia obtida através do efeito fotovoltaico, onde há a conversão direta da radiação solar em eletricidade por meio da célula fotovoltaica que é um dispositivo fabricado com material semicondutor, sendo esta a unidade fundamental desse processo de conversão [4]. O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz [5]. A energia da luz absorvida pela célula fotovoltaica faz com que os elétrons se desprendam dos átomos componentes do material semicondutor, propiciando o fluxo elétrico ordenado, ou seja, a corrente elétrica [6].

### 2.4. COMPONENTES DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Uma característica marcante dos sistemas fotovoltaicos é a robustez aliada à uma elevada confiabilidade de seu funcionamento, fato que os torna atraentes para diversas aplicações inclusive em áreas remotas. No entanto, para uma bem sucedida utilização, é imprescindível que os componentes que o integram sejam dimensionados cuidadosamente através de uma avaliação técnica criteriosa, bem como o conhecimento dos parâmetros que os caracterizam e qualificam, dando atenção para suas aplicações e limitações [5].

### 2.5. GERADOR FOTOVOLTAICO

Os elementos responsáveis pela transformação da energia solar em energia elétrica são as células solares ou fotovoltaicas, que utilizam as propriedades dos materiais semicondutores (geralmente, o Silício). Estes, quando devidamente dopados com elementos químicos como o Boro e o Fósforo, formam a chamada “junção pn”, onde de um lado ficam concentradas as cargas positivas, e no outro, as cargas negativas, promovendo um campo elétrico permanente, o qual dificulta a passagem de elétrons entre os lados. Se um fóton incide com energia suficiente para excitar um elétron, haverá a circulação de corrente elétrica, gerando energia em corrente contínua, compondo assim o efeito fotovoltaico [7].

A nível comercial, as células solares são fabricadas geralmente a base de silício com alto grau de pureza, encapsuladas de forma a resistirem a intempéries e promovendo um caminho ótico para a luz. Cada célula é capaz de proporcionar uma tensão de aproximadamente 0,5 Volts (V) e uma corrente entre 1,5 e 4,5 Ampères (A). Um módulo é formado por um determinado número de células conectadas em série/paralelo, de forma a produzir tensões

adequadas às aplicações elétricas. A energia produzida pelas células varia com a intensidade da radiação solar e da área iluminada. A maioria dos módulos (Figura 4) possui uma moldura metálica, geralmente de alumínio, que proporciona rigidez mecânica ao conjunto, facilitando ainda sua fixação [5].



Figura 4 – Módulo fotovoltaico policristalino.  
Fonte: [8]

## 2.6. ACUMULADORES

Em projetos onde utiliza-se fontes de energia renováveis, os sistemas de armazenamento são necessários para duas condições principais:

- Estabilização do sistema energético, permitindo que a fonte de energia trabalhe em um nível constante e estável, mesmo com variações bruscas e intensas das cargas;
- Fornecimento de energia em momentos em que a fonte está indisponível, seja por motivo de manutenção dos equipamentos, ou, no caso de energia solar e eólica, por indisponibilidade de radiação solar e vento, respectivamente;

A dificuldade e até mesmo a inviabilidade de se confinar o “combustível” utilizado nas fontes como solar e eólica devido a natureza variável do sol e do vento, torna o sistema de armazenamento, um componente fundamental para o correto funcionamento do conjunto. [9]

### 2.6.1. CONSTITUIÇÃO E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

De forma simplificada, o circuito interno de uma célula eletroquímica (acumulador), é constituída por um vaso e internamente por dois eletrodos interligados por um eletrólito. A Figura 5 ilustra uma célula eletroquímica [10].

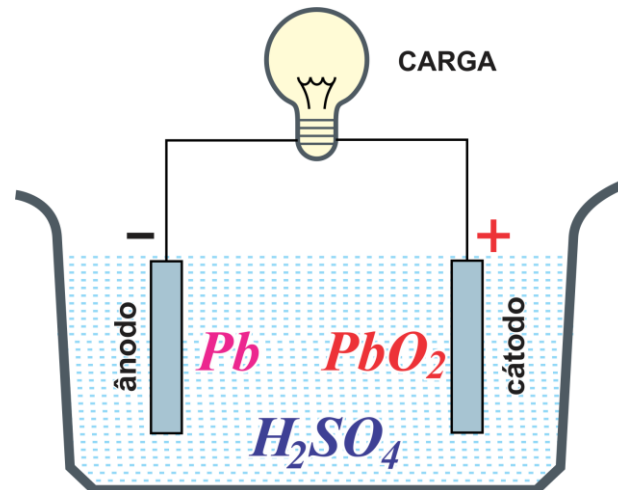
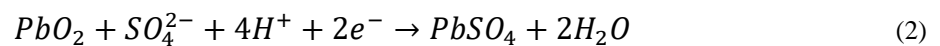


Figura 5 – Esquema simplificado de uma célula eletroquímica.  
Fonte: Os Autores.

No processo de descarga, o eletrodo negativo (ânodo) fornece elétrons à carga ligada à bateria, enquanto que o eletrodo positivo (cátodo) recebe os elétrons provenientes da carga. O circuito interno da bateria é completado com o eletrólito, fornecendo íons a ambos os eletrodos. A Equação (1) refere-se à reação química que ocorre no eletrodo negativo durante a descarga.



O ânion que se encontra livre sem solução combina-se com o eletrodo negativo (chumbo metálico) formando sulfato de Chumbo ( $PbSO_4$ ) e os dois elétrons liberados, transportam-se para o eletrodo positivo, através da carga. No lado do eletrodo positivo (cátodo), o ânion sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) forma sulfato de chumbo e água ao reagir com o dióxido de chumbo, de acordo com a Equação (02) [10].



A concentração de ácido sulfúrico é reduzida por conta da produção de água durante tal reação, dessa forma, há uma diminuição na diferença de potencial da célula eletroquímica [10].

Se o intuito for realizar a reação química inversa (carregamento da célula eletroquímica), é necessário a utilização de uma fonte de corrente. Assim, o sulfato de chumbo presente nos eletrodos, retornará ao seu estado de origem (formando  $Pb$  no eletrodo negativo e  $PbO_2$  no eletrodo positivo) e formará  $H_2SO_4$  e consumo de  $H_2O$ . Por conseguinte, a

concentração de ácido sulfúrico aumenta e a diferença de potencial da célula eletroquímica aumentará [10].

As baterias utilizadas comercialmente (Figura 6), geralmente são construídas em associações em série das unidades básicas que as compõem tais que habitualmente possuem uma diferença de potencial igual a 2V [10].



Figura 6 – Bateria comercial.  
Fonte: [11]

Conforme as descargas ocorrem, a vida útil das baterias são reduzidas, visto que os processos de carga/descarga não são completamente reversíveis. Se o objetivo for utilizar a bateria durante o maior número de ciclos possível, deverão ser realizadas descargas pequenas, visto que quanto mais profunda a descarga, menor a vida útil do acumulador. Por definição, a vida útil de uma bateria é acertada como o tempo médio em que a bateria leva para possuir apenas 80% da sua capacidade nominal ao ser completamente carregada, tendo descargas diárias de 20%. A Tabela 01 mostra algumas características das principais baterias utilizadas comercialmente [12].

Tabela 1 – Características dos Principais Tipos de Baterias Comerciais.

Tipo	Eletrólito	Rendimento (%)	Densidade de Energia (Wh/kg)	Tempo de Vida (Ciclos)	Temperaturas de Operação (°C).
<b>Chumbo-Ácido</b>	$H_2SO_4$	75	20-35	200-2000	-20 a 60
<b>Níquel-Cádmio</b>	$KOH$	60	40-60	500-2000	-40 a 60
<b>Ni-Hidreto Metálico</b>	$KOH$	50	60-80	<3000	10 a 50
<b>Íons de Lítio</b>	$LiPF_6$	70	100-200	500-2000	-20 a 60

Fonte: [12]

A partir da tabela, verifica-se a superioridade das baterias de chumbo-ácido na questão de rendimento (75%) e possuem o segundo melhor tempo de vida, em termos de ciclos de carga-descarga, sendo inferior às de hidretos metálicos de Níquel nesse quesito [12].

### 2.6.1.1. Baterias de chumbo-ácido

As Baterias de chumbo-ácido são as mais comuns nos sistemas fotovoltaicos e podem ser classificadas em três principais tipos: úmidas, de gel e seladas. As do tipo úmidas, são bastante utilizadas na indústria automobilística e por conta dessa grande difusão tem seu custo reduzido, no entanto, são apropriadas para fornecer grandes correntes em um curto período de tempo (necessidade dos automóveis), com isso, caso se opte utilizar tal tipo em um sistema fotovoltaico, o ideal é reduzir a profundidade de descarga diária para algo em torno de 10% para que não haja uma brusca redução no seu tempo de vida útil. Dessa forma, um empreendimento com essas baterias, implicaria em um banco de acumuladores com uma quantidade expressiva o que pode tornar o projeto pouco atraente do ponto de vista econômico e sustentável [7]. Existem também as baterias de ciclo profundo, que são produzidas para fins fotovoltaicos.

As células de chumbo-ácido utilizam dióxido de chumbo ( $PbO_2$ ) como eletrodo positivo e chumbo metálico ( $Pb$ ), numa estrutura altamente porosa altamente reativa, como material ativo da placa (eletrodo) negativa. Tais placas ficam imersas numa solução diluída de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), a qual denomina-se eletrólito. No processo de descarga, o ácido sulfúrico reage com os eletrodos das placas, produzindo água que por sua vez dilui o eletrólito. Quando está sendo carregada, o processo é revertido, sendo o sulfato de chumbo das placas transformado em chumbo “esponjado”, dióxido de chumbo e ácido sulfúrico.

Encontra-se várias versões das baterias de chumbo-ácido. A versão de ciclo profundo são as mais adequadas para aplicações fotovoltaicas por permitirem repetidos ciclos e uma descarga maior. Além disso, as baterias de chumbo-ácido podem ser encontradas na versão selada, em que o eletrólito se encontra confinado no separador, ou ainda sob a forma de GEL. Tais versões não necessitam de adição de água. Há também a versão aberta, que possui um preço inferior, no entanto, possui diversas limitações, inclusive de posicionamento e precisam de verificação periódica do nível do eletrólito [13].

## 2.7. CONTROLADORES DE CARGA

Como já discutido, em um sistema isolado é necessário a existência de acumuladores de carga que permitam que a energia produzida em excesso possa ser armazenada para momentos em que o consumo for superior à produção, aliada a tais acumuladores, é importante que haja um controlador de carga que garanta que a bateria não esteja sujeita frequentemente a

descargas profundas e sobrecargas de energia e conseqüentemente, assegurando uma maior vida útil para a bateria [12].

O controlador de carga gerencia a carga proveniente da produção regulando de acordo com o estado de carga da bateria, prevenindo uma possível sobrecarga, e controla as cargas c.c. para que sejam desligadas quando a carga da bateria atinja determinado nível, evitando descargas profundas [12].

A especificação do controlador de carga é feita a partir da tensão de trabalho dos módulos e da corrente. Sua capacidade deve ser superior à soma das correntes de todos os painéis a serem conectados e também superior a corrente das cargas durante o uso. São compostos por um circuito de controle e outro de comutação. As grandezas do sistema, como tensão, corrente e temperatura na bateria são monitoradas pelo circuito de controle que processa essas informações e gera sinais de controle que são utilizados para comandar o circuito de comutação que por sua vez é formado por chaves semicondutoras que controlam a tensão e a corrente de carga ou descarga da bateria [9].

Das funções atribuídas aos controladores, as seguintes se destacam:

- Providenciar o carregamento da bateria
- Evitar sobrecarga na bateria
- Bloquear corrente reversa entre a bateria e o painel
- Prevenir descargas profundas

Quatro tensões são ditas como importantes quando se trata de baterias de Chumbo-ácido, sendo elas, tensão nominal, tensão de flutuação, tensão de carga ou equalização e tensão final de descarga [14]. Dessa forma, para a regulação dessas baterias, os fabricantes recomendam a utilização de controladores com algoritmos com quatro estágios de funcionamentos, a saber, regime de desligamento de carga, regime de carga rápida, regime de carga flutuante ou regime normal e o regime de equalização.

No regime de desligamento de carga, a tensão da bateria está próxima da tensão mínima de funcionamento que funciona essencialmente como tensão de corte, ou seja, o controlador irá desligar as cargas quando a bateria atingir esse nível de tensão e só voltará a ligar carga quando houver uma tensão ligeiramente maior que a tensão mínima para a ligação das cargas. O controlador irá funcionar nesse intervalo de histerese até que a energia

proveniente da produção eleve a tensão a um nível superior a esse intervalo, começando a carregar a bateria. Quando a bateria começa a ser carregada, dá-se início ao regime de carga rápida, onde o controlador permite que o excedente entre a geração e o consumo seja armazenado na bateria até o limite da tensão de gasificação. Ao atingir a tensão máxima de referência (tensão de carga final), o controlador irá manter a bateria carregada sem que haja sobrecarga [12].

## 2.8. INVERSORES

Os painéis fotovoltaicos convertem energia solar em elétrica do tipo contínua, o que torna limitada seu uso em diversos casos, pois o mercado de equipamentos alimentados em corrente contínua ainda é limitado. Utiliza-se um conversor de corrente contínua (c.c.) em corrente alternada (c.a.) para os casos em que se deseja utilizar aparelhos em corrente alternada. A Figura 7 apresenta a estrutura básica de um inversor para energia fotovoltaica, onde o conversor c.c. eleva o nível c.c., que depois será convertida em c.a. através de chaveamentos [5].

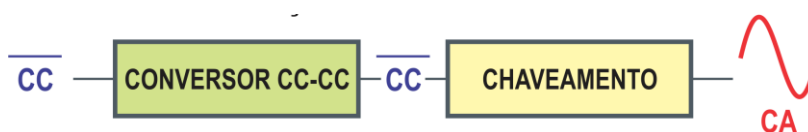


Figura 7 – Esquema configuração do inversor.  
Fonte: Os autores.

O inversor deve garantir a qualidade no fornecimento de energia, para que haja o correto funcionamento dos equipamentos sem que se promova a degradação ou prejudique seu funcionamento. Dessa forma, o dimensionamento do inversor deverá ser feito levando em conta a potência nominal, fator de demanda e a características de operação das cargas, como por exemplo, a potência de partida de motores [5].

As concessionárias de energia elétrica, fornecem energia em corrente alternada com forma de onda semelhante a uma senóide, dessa forma, a maioria dos aparelhos são projetados para receberem esse formato de onda [7].

Pode-se classificar os inversores quanto à forma de onda de saída, sendo os principais tipos: onda quadrada; senoidal modificada ou retangular; e senoidal pura. A Figura 8 ilustra as diferenças quanto as formas de onda, sendo possível observar que a forma de onda retangular



ou senoidal modificada, é a que mais se assemelha com a onda senoidal, sendo a mais adequada para as aplicações.

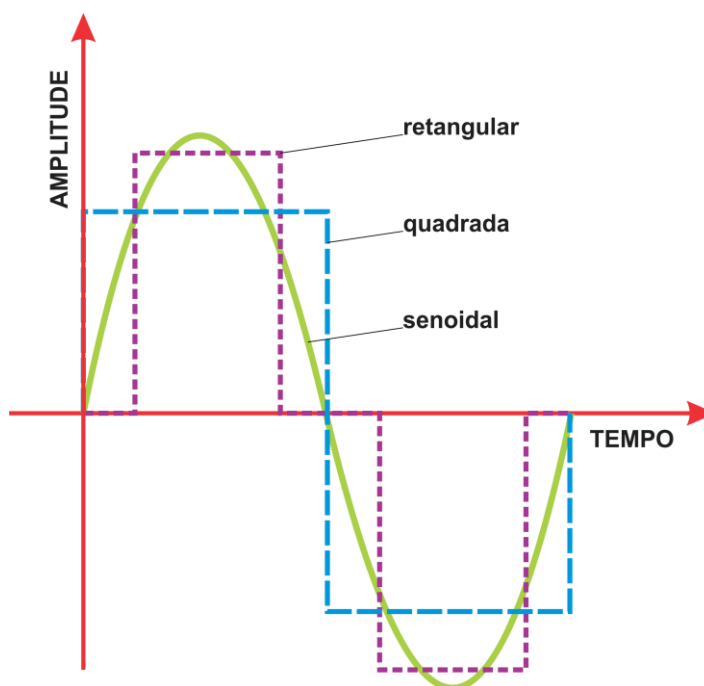


Figura 8 – Esquema forma de onda do inversor.

Fonte: Os autores.

No mercado, está disponível basicamente dois tipos de inversores, sendo eles o de onda senoidal modificada e o de onda senoidal pura. O inversor de onda senoidal modificada opera de forma satisfatória para a maioria dos equipamentos de uma residência, estando disponível com um preço inferior ao de onda senoidal pura, porém, pode apresentar problemas quando opera com equipamentos de precisão, como por exemplo, impressora a laser, relógios digitais e carregadores de bateria para equipamentos sem fio, ocasionando na redução da vida útil desses aparelhos caso sejam conectados a formas de onda muito distorcidas das senoidais. O inversor de onda senoidal pura oferece energia de qualidade similar à fornecida pelas concessionárias [5].

A Figura 9 apresenta o circuito básico de um inversor monofásico, onde, através de chaveamentos, alterna-se a tensão de saída. Existem ainda inversores mais complexos que possuem chaveamentos com larguras de pulso variáveis, o que proporciona baixo nível de harmônicos, tornando a tensão de saída bem próxima de uma senóide. Os inversores com essa tecnologia são ditos PWM (Pulse-Width-Modulated). Nos modelos mais simples, a largura dos pulsos são sempre as mesmas, como é o caso dos inversores de ondas retangulares ou quadradas [7].

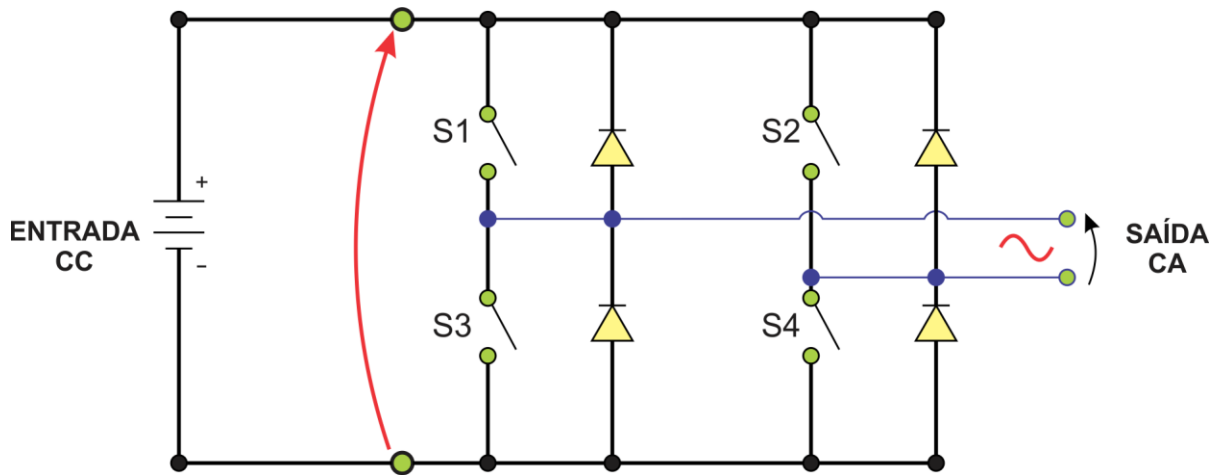


Figura 9 – Esquema de circuito de um inversor.  
Fonte: Os autores.

## 2.9. CABEAMENTOS

A escolha da bitola dos condutores pode ser feita a partir da NBR 5410, ou com o auxílio de planilhas, ou ainda através de algum programa de escolha que indicam a bitola adequada em função do comprimento do ramal, da tensão nominal e do nível de perdas pretendido. Além disso, utiliza-se a Equação 03 para a determinação da seção mínima do condutor, necessária para uma determinada instalação em corrente contínua [4].

$$S(\text{mm}^2) = \rho \left( \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right) \times \frac{d(\text{m}) \times I(\text{A})}{\Delta V(\text{V})} \quad (3)$$

Onde:

$\rho$  = resistividade do material do condutor, geralmente cobre;

$d$  = distância total do condutor, considerando o trecho de retorno (ida e volta);

$I$  = corrente que passa pelo condutor;

$\Delta V$  = queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado.

Os condutores utilizados nos sistemas fotovoltaicos, geralmente são feitos de cobre, material que a 20 °C apresenta uma resistividade típica de  $\rho_{cu} = 0,01724 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  e um coeficiente de variação com a temperatura  $\alpha_{cu} = 0,0039 \text{ } ^\circ\text{C}$ , fator que permite a determinação da influência da temperatura na resistividade dos materiais através da Equação 00. Os parâmetros utilizados na equação, podem ser obtidos junto ao fabricante [4].

$$\rho(T) = \rho(20^\circ\text{C}) \times (1 + \alpha(T - 20^\circ\text{C})) \quad (4)$$

Assim como as estruturas de fixação dos painéis e as demais estruturas metálicas, o cabeamento deverá estar preparado contra intempéries, pois, ficará exposto as mais adversas condições climáticas, como radiação intensa, calor, frio e chuva por um longo período de tempo. Dessa forma, o dimensionamento dos cabos da instalação deve ser feito cuidadosamente seguindo as recomendações contidas na NBR5410 à cerca do fator de correção de temperatura e o isolamento do condutor deve ser resistente a tais condições climáticas [4].

## 2.10. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

### 2.10.1. Sistemas Isolados

No Brasil, há dois tipos de sistemas fotovoltaicos isolados regulamentados, que são eles: Individuais e minirredes. Nos sistemas isolados individuais a geração é exclusiva para o atendimento de uma única residência ou unidade consumidora, já no caso da minirrede, a geração é compartilhada entre um grupo de unidades consumidoras [4]. Tais sistemas denominam-se ainda Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares (SFD).

Caracterizam-se como elementos fundamentais dos Sistemas fotovoltaicos domiciliares, a própria carga e o gerador fotovoltaico. Em geral, o sistema deve possuir um acumulador, que permita a utilização do sistema em horários que não há geração.

A Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da Resolução N° 83/2004, começou a regulamentar os sistemas isolados no Brasil, tendo um papel importante na inserção dos sistemas fotovoltaicos nos programas de eletrificação rural no país [4]. Contudo, devido à demanda e à disseminação de tal tecnologia, a ANEEL publicou em 2012 a Resolução ANEEL N° 493/2012 [15], mais completa que a anterior, tratando dos procedimentos e condições de fornecimento dos sistemas MIGDI (Microsistema Isolado de Geração de Energia Elétrica) e SIGFI (Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes).

A nova resolução disponibiliza uma tabela (Tabela 2) referente aos atendimentos às unidades consumidoras feitas por SIGFI ou MIGDI, aos quais devem ser relacionados com as disponibilidades mensais de energia elétrica. A tabela só relaciona sistemas até 80kWh/mês, no entanto as distribuidoras podem instalar sistemas com disponibilidade superior, desde que respeitem algumas condições pré-estabelecidas, como por exemplo, a impossibilidade de aumento de carga antes de completar um ano desde a data de ligação inicial ou desde o último

aumento de carga. Além disso, só está assegurado o aumento de carga sem ônus para o consumidor, até esse limite de 80 kWh/mês [4].

Tabela 2 – Nova Resolução.

Disponibilidade mensal garantida (kWh/mês UC)	Consumo de referência (Wh/dia/UC)	Autonomia mínima (horas)	Potência mínima (W/UC)
13	435	48	250
20	670	48	250
30	1000	48	500
45	1500	48	700
60	2000	48	1000
80	2650	48	1250

Fonte: [4]

#### 2.10.2. Sistemas conectados à rede

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR) apresentam-se de diversos tamanhos, podendo ser de grande porte como uma central fotovoltaica ou de pequeno porte como as conexões descentralizadas presentes em edificações urbanas.

Na produção distribuída, os módulos fotovoltaicos ficam montados diretamente nas edificações ou em outros locais, podendo ser coberturas de estacionamentos, áreas livres ou em qualquer lugar onde haja incidência direta da luz solar. A alimentação dessas edificações será feita pela energia gerada por esses módulos, através de um inversor CC/CA, simultaneamente ligado com a rede elétrica de distribuição a qual está conectada [16].

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica consistem em uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão conectados entregando diretamente toda a geração na rede. Por esse motivo, dispensam o uso de acumuladores para armazenamento de carga. Os arranjos dos sistemas, são interligados a inversores que devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada, como por exemplo, os sistemas anti ilhamento, distorção harmônica de acordo com as normas aplicáveis, saída CA com forma de onda senoidal pura, proteção contra sobretensões e sobrecorrente, dentre outras [16].

A Figura 10, mostra os elementos que compõe a instalação solar fotovoltaica ligada à rede elétrica.

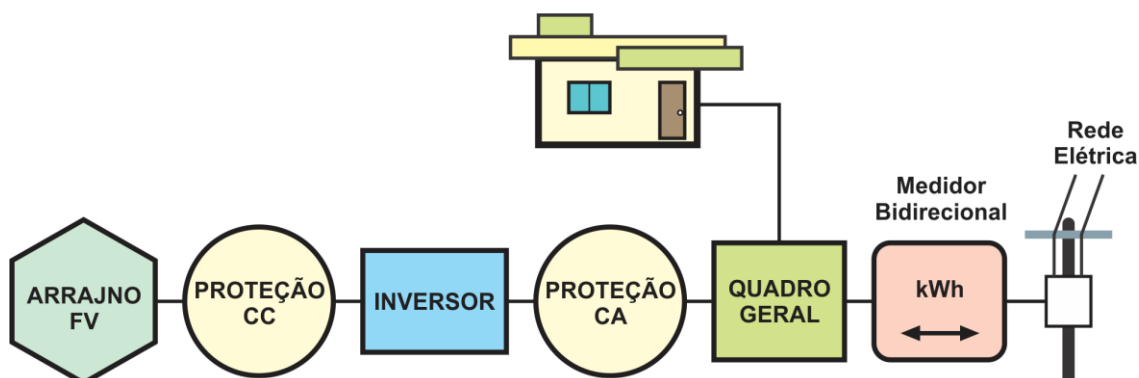


Figura 10 – Configuração de um SFCR em localidades sem incentivos.  
Fonte: Os autores.

Essa forma de utilização da energia solar através dos módulos fotovoltaicos em concomitância com a rede elétrica de distribuição, tem sido largamente utilizado em diversos países, se expandindo e se consolidando cada vez mais como uma forma de se produzir eletricidade [17]. A normativa que rege tais sistemas no Brasil é a Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012 da ANEEL, a qual estabelece basicamente as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação e outros parâmetros afins [18].

### 3.9.3 Sistemas Híbridos

Os sistemas que utilizam mais de uma fonte primária de energia, são denominados sistemas híbridos. Vão depender da disponibilidade dos recursos para gerar e distribuir energia elétrica de forma otimizada, visando a capacidade de uma fonte suprir a falta temporária de outra com o intuito que o mesmo opere de forma ininterrupta [19,20].

Os sistemas híbridos podem ser compostos por módulos fotovoltaicos, aerogeradores, pilhas de combustíveis ou ainda geradores de apoio a diesel ou gasolina. Nesses sistemas, não há a necessidade que o consumo seja satisfeito somente pelos módulos fotovoltaicos, permitindo o fornecimento total da carga. As fontes auxiliares, como pilhas a combustível e geradores a diesel/gasolina, só serão acionadas para geração quando o banco de baterias estiver descarregado. Se a fonte auxiliar for um aerogerador, este funcionará simultaneamente com o gerador fotovoltaico, desde que haja condições de geração [12].

## 2.11. ARDUINO

McRoberts (2011) afirma que “Arduino (Figura 11) é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele” [21].



Figura 11 – Arduino Uno R3.  
Fonte: [22]

O surgimento dos microcontroladores ocorreu por volta da década de 70, a Intel baseada na arquitetura, utilizada até então em seus computadores, de um microprocessador e seus periféricos, resolveu desenvolver um componente que integrava em uma única unidade toda essa arquitetura [23].

Os microcontroladores favorecem no desenvolvimento de novos projetos de hardware e software, pois seu uso possibilita aos desenvolvedores usarem sua criatividade e imaginação [24].

De acordo com a página oficial do Arduino<sup>2</sup>, “Arduino/Genuino Uno é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega328P. Dispõe de 14 pinos digitais de entrada/saída (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal de quartzo 16MHz, a conexão USB, um power jack, um cabeçalho ICSP e um botão de reset. Ele contém tudo o necessário para apoiar o microcontrolador; basta conectá-lo a um computador com um cabo USB ou ligá-lo com um adaptador AC-CC ou bateria para começar” [25].

O arduino é composto de duas partes principais o hardware e o software. A placa arduino é o hardware e o *Arduino IDE* (Integrated Development Environment) é o software.

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>> Acesso em abril 2015.

Esse software, (Figura 12) é executado no computador e utilizado para programar e enviar pequenos programas para o microcontrolador do arduino através de upload e verificar resultados através de uma interface de saída (monitor serial) [25].

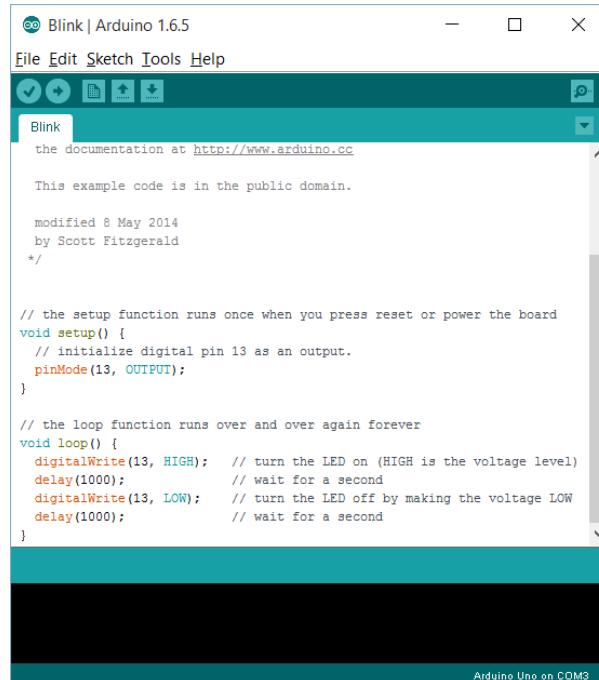


Figura 12 – Arduino IDE.

Fonte: [26]

Segundo McRoberts (2011) “O Arduino pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos independentes ou pode ser conectado a um computador, a uma rede, ou até mesmo à Internet para recuperar e enviar dados do Arduino e atuar sobre eles” [21].

Massimo (2011) afirma, facilidade de reconhecimento pelo computador e atualização do firmware do chip que é feita pela porta USB, que facilita seu uso nesse tipo de projeto [27].

A placa Arduino escolhida para ser utilizada na Estação é a Uno, que utiliza um chip Atmega328P (Figura 13). A escolha pela plataforma dentre as várias opções no mercado se deu pelos seguintes fatores:



Figura 13 – Atmega328P.

Fonte: [28]

- *Facilidade de uso:* Pessoas de várias esferas podem aprender facilmente conceitos básicos e criar seus próprios protótipos em um intervalo de tempo curto. Além de haver uma grande comunidade em atividade que pode ajudar compartilhando códigos, diagramas de circuitos e no auxílio a outros desenvolvedores [21].
- *Baixo custo:* Hardware é relativamente mais barato em relação a outras plataformas, além das versões oficiais do Arduino, como o Arduino Uno aqui utilizado, existem diversas outras versões com preços menores. Outro ponto importante está na substituição do microcontrolador a baixo custo, possibilitando que possíveis erros acarretem pequenos prejuízos [27].
- *Multiplataforma:* Pode ser executado nos sistemas operacionais Microsoft Windows, Apple Macintosh e GNU/Linux. Grande parte das outras plataformas de desenvolvimento estão limitadas ao Windows;
- *IDE de programação:* Massimo (2011) afirma que seu principal ambiente de programação é baseado na IDE de programação Processing, é considerado um ambiente de desenvolvimento fácil de ser utilizado [27].

A linguagem utilizada para o desenvolvimento é baseada em uma linguagem de programação, C/C++;

## 2.12. SENSORES

Karvinen (2014) afirma que “Os sensores (Figura 14) são componentes elétricos que funcionam como dispositivos de entrada. Nem quase todas as entradas são explicitamente sensores, porém quase todas elas utilizam sensores” [29].

O uso de sensores é essencial para interação com o meio, ampliando os tipos de projetos que podemos desenvolver. Os sensores, expandem a capacidade de um circuito do mesmo modo como nossos sentidos nos dão informações sobre o meio em que interagimos.

Para um dispositivo eletrônico ser considerado inteligente ele precisa estar repleto de sensores que ampliam bastante as possibilidades de projetos que podemos desenvolver. Os sensores servem para medir estímulos externos ao sistema em que ele estiver instalado, baseando seus dados de saída em medições que são mais fáceis de serem interpretadas [29].





Figura 14 – Vários tipos de sensores  
Fonte: [29]

### 2.12.1. Sensor LDR

O LDR (Light Dependent Resistor – Figura 15) é um resistor de luz, sua resistência é alterada a partir da luminosidade que seus terminais são submetidos. Quanto maior a intensidade de luz que incide sobre o sensor, sua resistência diminui.

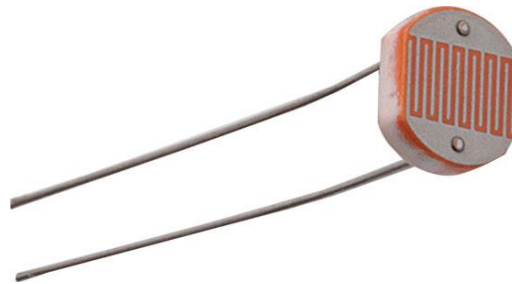


Figura 15 – LDR (Resistor Dependente de Luz).  
Fonte: [30]

### 2.12.2. Sensor PIR

O Sensor de Movimento PIR (Passive Infrared – Figura 16) detecta objetos em movimento desde que estejam em uma área de até 7 metros de distância do sensor.



Figura 16 – PIR (Passive Infrared).  
Fonte: [31]

### 2.12.3. Módulo Relé de dois Canais

O relé é um dispositivo eletromecânico ou não, e serve para ligar ou desligar dispositivos que utilizam níveis de corrente e tensão não suportados pelas portas digitais do Arduino – Figura 17.



Figura 17 – Módulo relé de dois canais.  
Fonte: [32]

### 2.12.4. Módulo RTC

Este dispositivo (Real Time Clock – Figura 18) funciona como um relógio de tempo real, fornecendo informações como: segundo, minutos, dia, data, mês e ano.

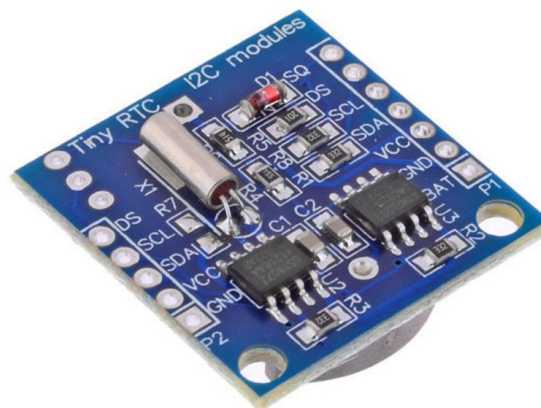


Figura 18 – Módulo RTC (Real Time Clock).  
Fonte: [33]

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO

##### 3.1.1. Consumo total

Para elaboração do dimensionamento, foi proposto uma carga máxima de até 4 (quatro) notebooks de 50 W cada, além de duas lâmpadas de LEDs de 10 W necessárias para a iluminação do ambiente e o módulo de automação, conforme a Tabela 3 a seguir

Tabela 3 - Consumo estimado da estação de estudo

Item	Quantidade	Potência Nominal (W)	Horas de uso/Dia <sup>3</sup>	Consumo Diário/(W.h)
LEDs	02	10	05	100
Notebook	04	50	10	2000
Módulo de Automação	01	0,6	24	14,4

Fonte: Os autores.

Assim, é possível estimar o consumo total ( $C_T$ ) em:

$$C_T = \sum_1^i (n_i \cdot P_i \cdot h_i) \quad (5)$$

Onde,  $n_i$  é o número de cargas,  $P_i$  é a potência nominal e  $h_i$  é o número estimado de horas de funcionamento [7].

$$C_T = (4 \cdot 50 \cdot 10) + (2 \cdot 10 \cdot 5) + (1 \cdot 24 \cdot 0,6) = 2114,4 \text{ Wh}$$

O Consumo Total em Ampere-Hora é obtido pela divisão do Consumo Total (W) pela tensão de operação do banco de baterias.

$$C_T(Ah) = \frac{C_T(Wh)}{V_{baterias}} \quad (6)$$

$$C_T(Ah) = \frac{2114,4}{24} = 88,1 \text{ Ah}$$

##### 3.1.2. Escolha do Inversor de Tensão

Como a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos e armazenada nos acumuladores é em corrente contínua, faz-se necessário o uso de um inversor de tensão para se utilizar os

<sup>3</sup> Período de uso da Estação monitorado pelo módulo RTC (Real Time Clock).

equipamentos que funcionam em corrente alternada. A potência do inversor deve sempre exceder a potência da carga. No caso dos equipamentos a serem alimentados, um inversor de senóide modificada é suficiente. Em decorrência de serem poucas as cargas trabalhadas, o fator de demanda a ser adotado será igual a 01 (um) e consideraremos um fator de potência de 0,80. Dessa forma,

$$Demanda_{m\acute{a}xima} = 1 \frac{(2 \cdot 10) + (4 \cdot 50) + (1 \cdot 0,6)}{0,8} = 275,75 \text{ W}$$

Para evitar o rápido desgaste do equipamento, sua faixa de operação será de 80% de sua capacidade.

$$Pot\^encia_{m\acute{i}nima} = \frac{275,75}{0,8} = 344,7 \text{ W}$$

Logo, será necessário um inversor de tensão com potência igual ou superior a 344,7 W. No mercado, encontramos inversores de 400 W para sistemas em 24 V.

### 3.1.3. Banco de Baterias

O Banco de Baterias deve ser dimensionado levando em consideração a carga requerida, a autonomia desejada e as características técnicas de funcionamento, como a profundidade de descarga. Quanto maior for a autonomia, maior será a confiabilidade do sistema e conseqüentemente maior será seu custo. Para este sistema, definimos uma autonomia de até 2 (dois) dias sem insolação direta e profundidade de descarga de até 50%.

Tem-se a capacidade mínima das baterias, de acordo com:

$$C_{bat} (Ah) = \frac{C_T(Ah) \cdot A}{pd \cdot \mu} \quad (7)$$

onde  $A$  é a autonomia em dias,  $pd$  é a profundidade de descarga e  $\mu$  é o rendimento do inversor [7], dados que podem ser adquiridos junto aos fabricantes. Assim,

$$C_{bat} = \frac{88,1 \cdot 2}{0,5 \cdot 0,8} \cong 440 \text{ Ah}$$

Objetiva-se instalar um banco de baterias com 04 (quatro) baterias de 220Ah (Bateria Estacionária Moura Clean 12MF220) ligadas em série/paralelo.

### 3.1.4. Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

A partir do programa Google Earth [20], obteve-se a localização Geográfica aproximada da Estação nas seguintes coordenadas: 02° 26' 34''S 54° 42' 28''O. Segundo dados disponíveis em [www.cresesb.cepel.br/sundata](http://www.cresesb.cepel.br/sundata) [34], a menor incidência solar ocorre nos meses de março, abril e maio, sendo que a média nesses meses é de 4,07 KWh/m<sup>2</sup> dia, para uma inclinação de 0°. Assim, tem-se cerca de 4,07 horas de incidência solar equivalente por dia nos meses mais críticos do ano (Figura 19).

Estação: Santarem  
Município: Santarém, PA - BRA  
Latitude: 2,4431° S  
Longitude: 54,708333° O  
Distância do ponto de ref. ( 2,442778° S; 54,707778° O ): 1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,42	4,19	4,07	4,07	4,07	4,19	4,54	5,12	5,35	5,12	4,77	4,61	4,54	1,28
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	2° N	4,37	4,16	4,07	4,09	4,12	4,25	4,60	5,17	5,36	5,09	4,72	4,55	4,55	1,29
<input type="checkbox"/>	Maior média anual	2° N	4,37	4,16	4,07	4,09	4,12	4,25	4,60	5,17	5,36	5,09	4,72	4,55	4,55	1,29
<input type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	0° N	4,42	4,19	4,07	4,07	4,07	4,19	4,54	5,12	5,35	5,12	4,77	4,61	4,54	1,28

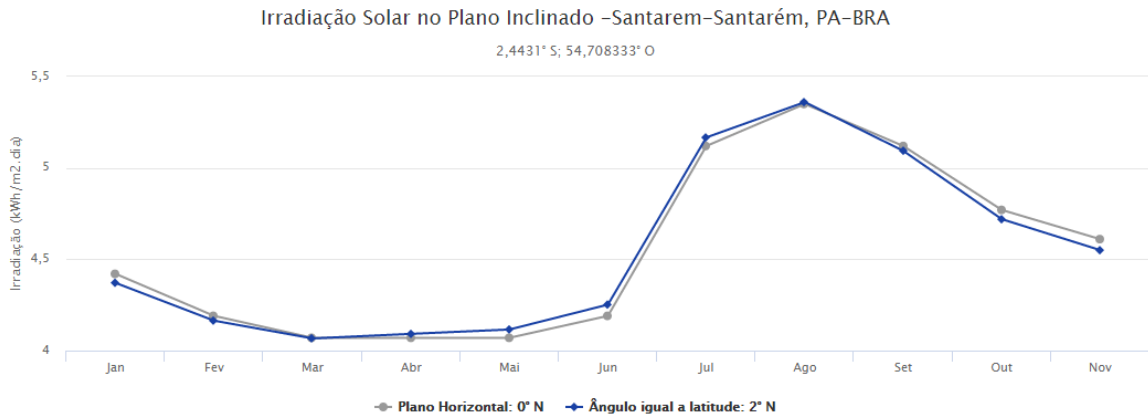


Figura 19 – Irradiação solar em Santarém.  
Fonte: [34]

A potência mínima dos painéis pode ser obtida da seguinte forma:

- Potência mínima sem perdas:

$$Potência = \frac{2114,4}{4,07} = 519,51 \text{ W}$$

- Aproximando as perdas
  - ✓ Cabeamento 6%<sup>4</sup>;
  - ✓ Perdas de conversão de energia na bateria 10%<sup>5</sup>;
  - ✓ Perdas por desajustes 10%<sup>4</sup>;

<sup>4</sup> Serrão, M.A.S. 2010.

<sup>5</sup> Moura/Fabricante 2014.

- ✓ Perdas no inversor de tensão 20%.

Dessa forma, têm-se:

$$P(W) = \frac{519,51}{(1 - 0,06) \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,2)} = 852,9 W$$

Para o projeto, objetiva-se instalar 6 (seis) painéis de 150 Wp (Yingli Solar YL150P-17b), em série/paralelo.

### 3.1.5. Controlador de Carga

O controlador de carga é um equipamento de grande importância para o correto funcionamento do sistema. Deve permitir que as baterias sejam carregadas corretamente, além de prevenir sobrecargas, descargas indesejáveis e evitar descargas profundas. Para seu dimensionamento, devem-se conhecer as máximas correntes a que ele irá ser submetido, tanto do lado dos geradores fotovoltaicos, quanto do lado das cargas.

- Corrente fornecida às cargas: Será a potência máxima das cargas, dividido pela tensão de operação do banco de baterias.

$$I_{\max\_controlador} = \frac{275,75}{24} = 11,5 A$$

- Corrente proveniente dos Painéis: Será a corrente do curto-circuito de cada módulo (A), multiplicado pela quantidade de módulos em paralelo.

Os dimensionamentos foram feitos utilizando como referência os painéis modelo (Yingli Solar YL150P-17b) de 150 Wp, aos quais possuem uma corrente de curto-circuito de 8,61 A. Dessa forma,

$$I_{\max\_controlador} = 8,61 \cdot 3 = 25,8 A$$

Assim, conclui-se que a corrente mínima que o controlador de carga deve suportar é de 25,8 A. O controlador disponível no mercado que mais se aproxima da capacidade mínima necessária, é o de 30 A.

### 3.2. MONTAGEM DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A montagem das estações será feita obedecendo a critérios técnicos conforme projeto (CROQUI) e especificações técnicas “Figura 20 e Figura 21”.

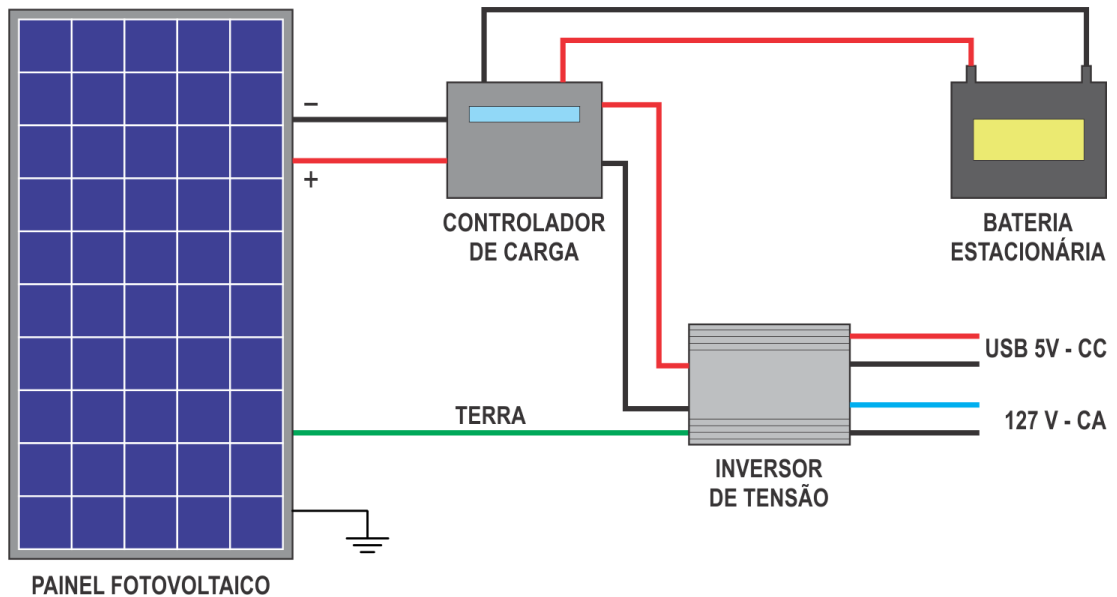


Figura 20 – Esquema de montagem do sistema.  
Fonte: Os autores.

Depois de implantadas, serão realizados testes de comissionamento e verificações conforme Manual de Instalações Fotovoltaicas 2014 [4] e disponibilizadas para uso, após a certificação de que todo o sistema esteja funcionando corretamente sem oferecer riscos para o usuário e seus componentes eletrônicos.

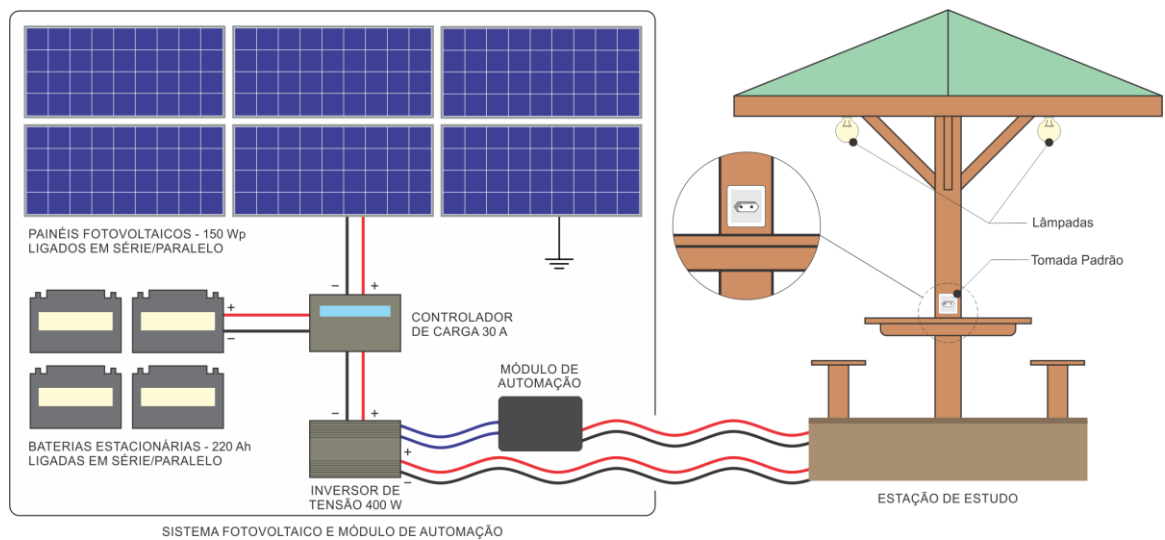


Figura 21 – Esquema geral do sistema fotovoltaico e Estação.  
Fonte: Os autores.

### 3.3. MONTAGEM DA ESTAÇÃO

A estrutura da Estação será fixa e montada obedecendo aos critérios apresentados em projeto – Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25, Figura 26 e Figura 27. Ela será confeccionada de madeira certificada e coberta com telhas ecológicas.



Figura 22 – Perspectiva da Estação.  
Fonte: Os autores.

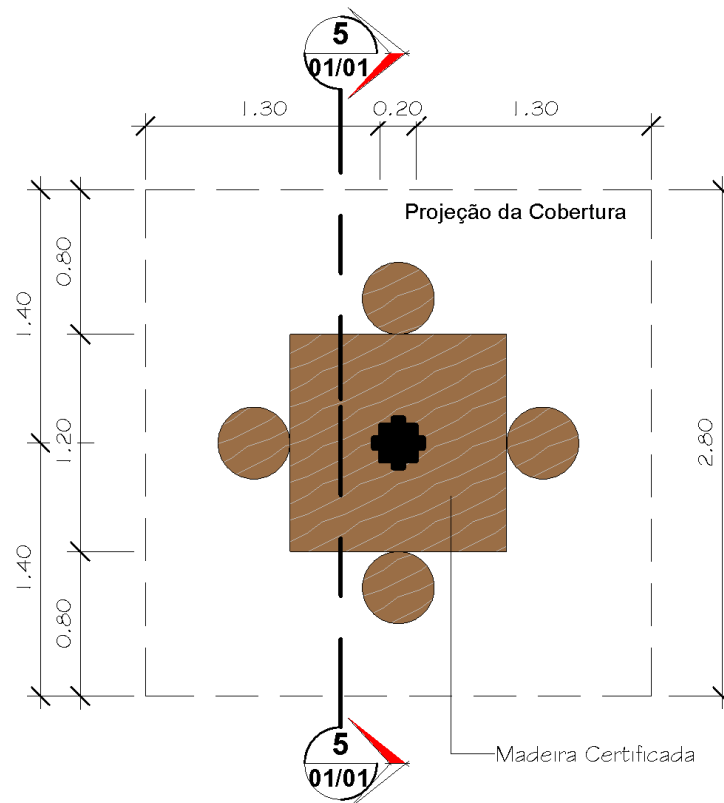


Figura 23 – Planta baixa da Estação.  
Fonte: Os autores.



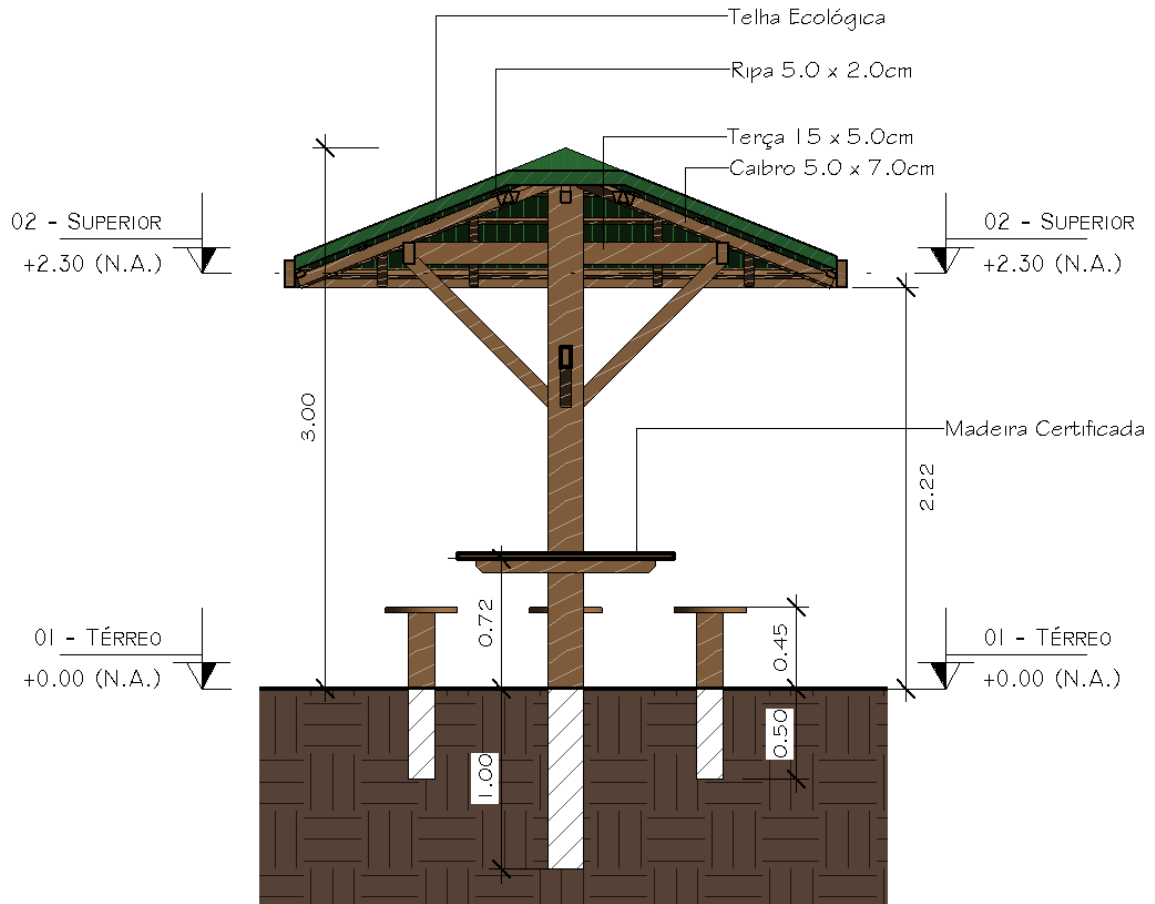


Figura 24 – Secção transversal da Estação.  
Fonte: Os autores.

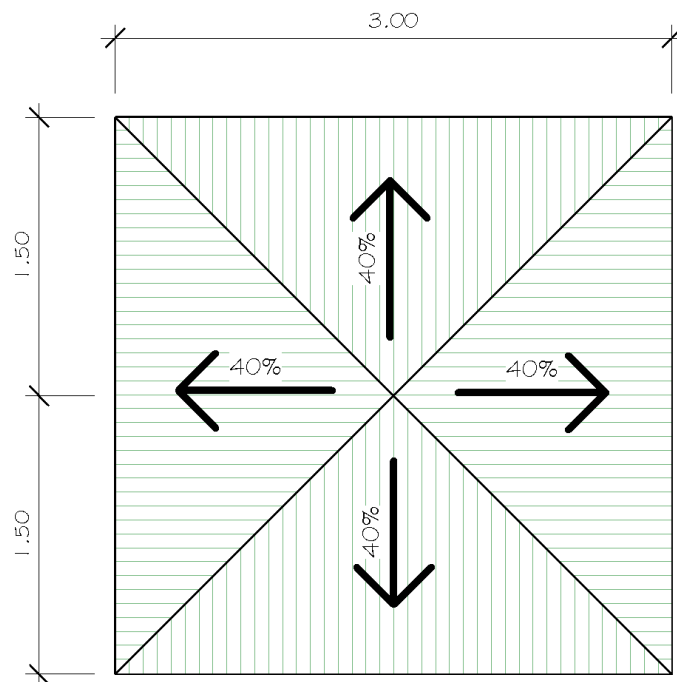


Figura 25 – Planta de cobertura da Estação.  
Fonte: Os autores.

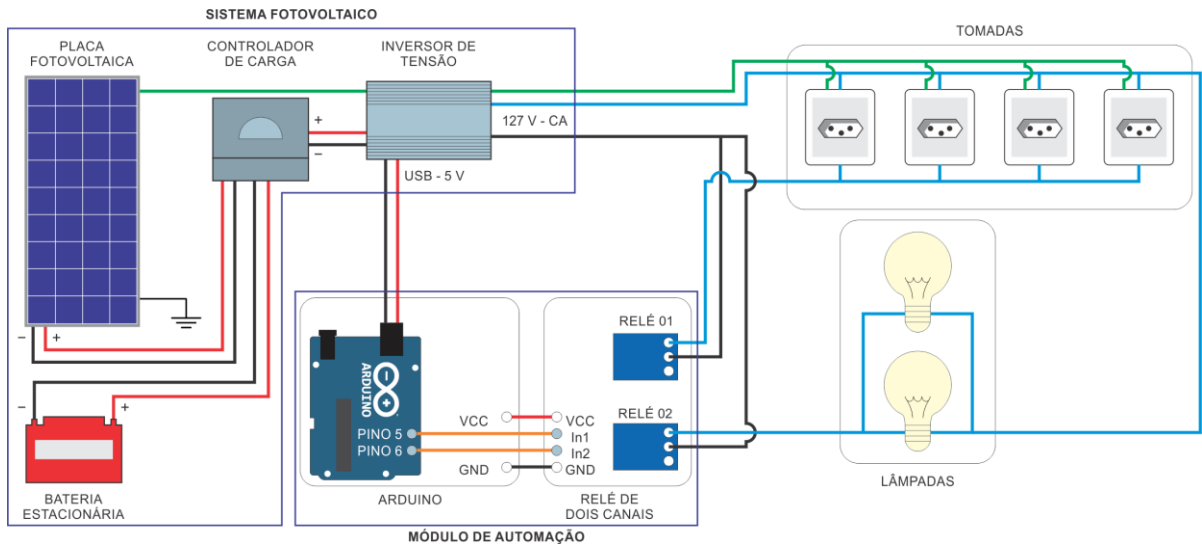


Figura 26 – Esquema elétrico da Estação.  
Fonte: Os autores.

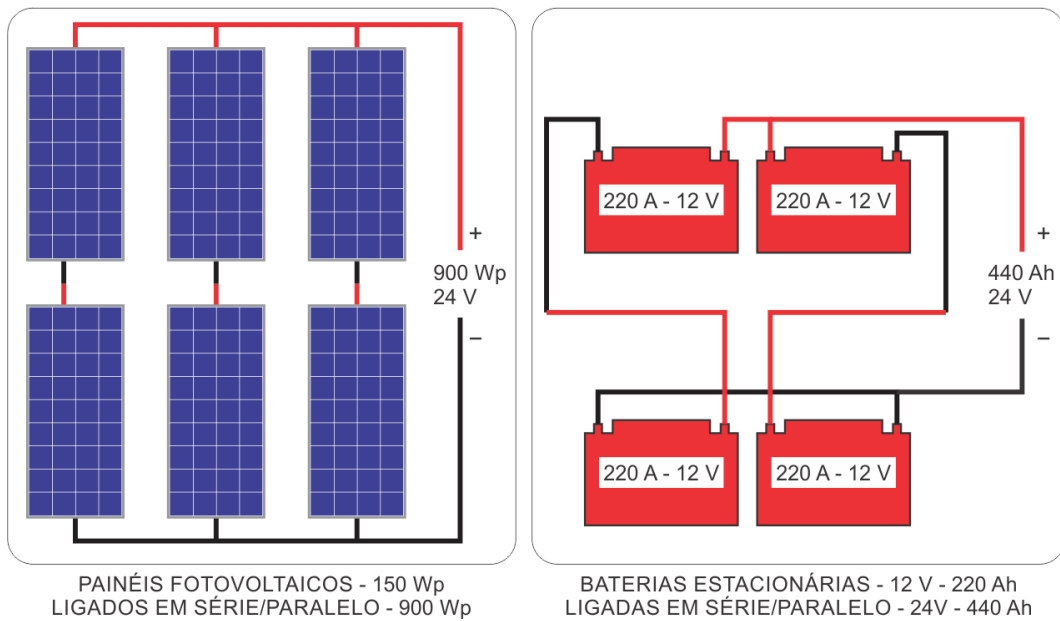


Figura 27 – Ligação série/paralelo das placas e baterias.  
Fonte: Os autores.

### 3.4. MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DOS MÓDULOS DE AUTOMAÇÃO

Para elaboração do sistema de automação, foram utilizados os seguintes equipamentos: Arduino, sensor LDR (resistor dependente de luz), sensor PIR (infravermelho passivo), módulo relé 5 V de dois canais, módulo RTC (Real Time Clock DS1307) e uma protoboard de 400 pontos – Figura 28.

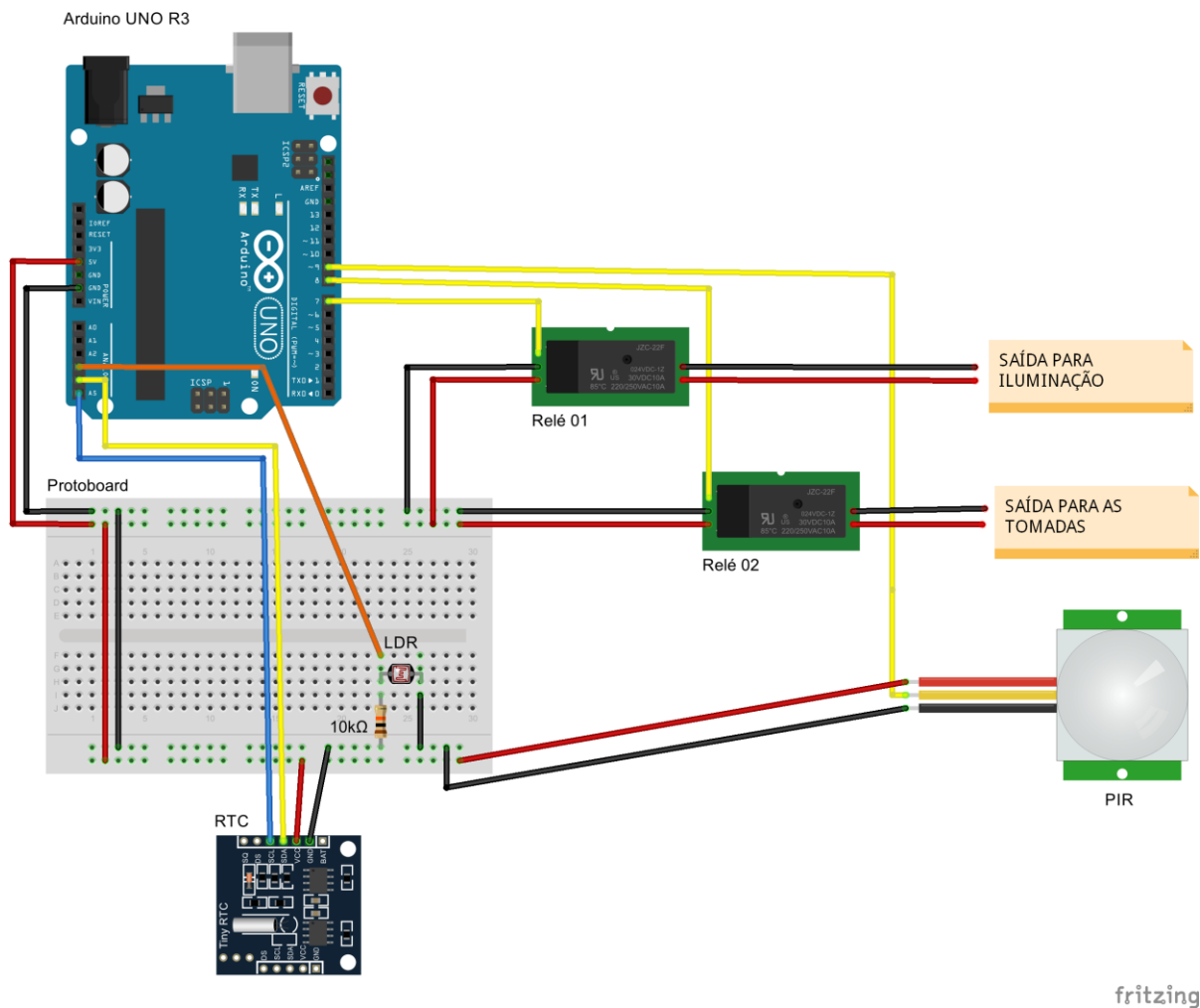


Figura 28 – Montagem do circuito na protoboard utilizando o software Fritzing.  
Fonte: Os autores.

#### 3.4.1. Módulo RTC DS1307

A ligação do módulo RTC 1307 no Arduino se dá pelos pinos VCC, GND, SDA e SCL de acordo com a Figura 29. É ele que determina o horário que a estação ficará disponível para os usuários.

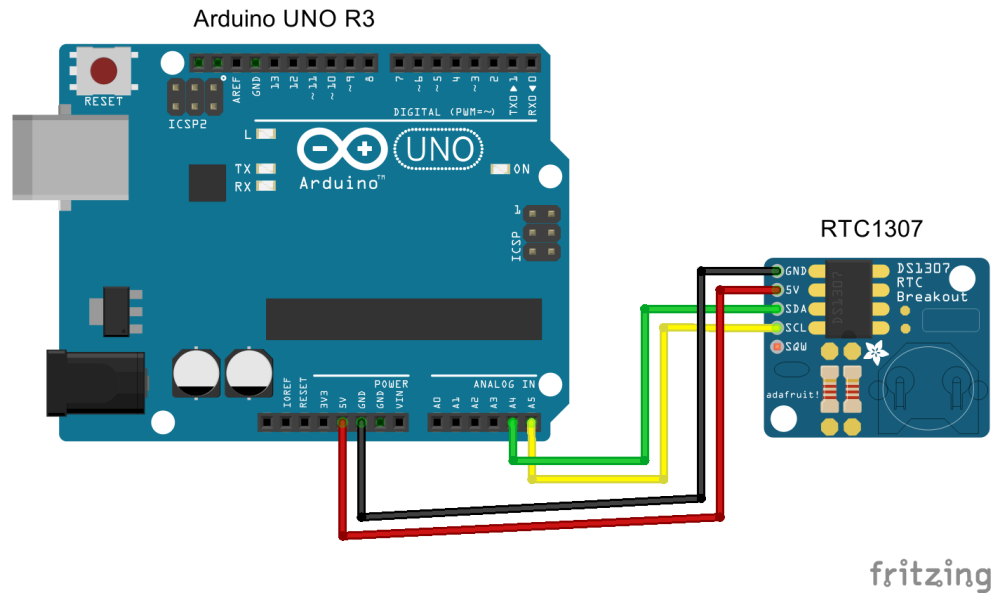


Figura 29 – Esquema de ligação do Módulo RTC DS1307.  
Fonte: Os autores.

### 3.4.2. Sensor LDR

A leitura do sensor é feita através da porta analógica A3 do Arduino, haja vista que o LDR é um sensor analógico. O funcionamento se dá a partir da luminosidade que seus terminais são submetidos. Quanto maior a intensidade de luz que incide sobre o sensor, sua resistência diminui, fazendo com que o Arduino receba e processe informações para acionar o relé responsável pelo controle das lâmpadas da estação – Figura 30.

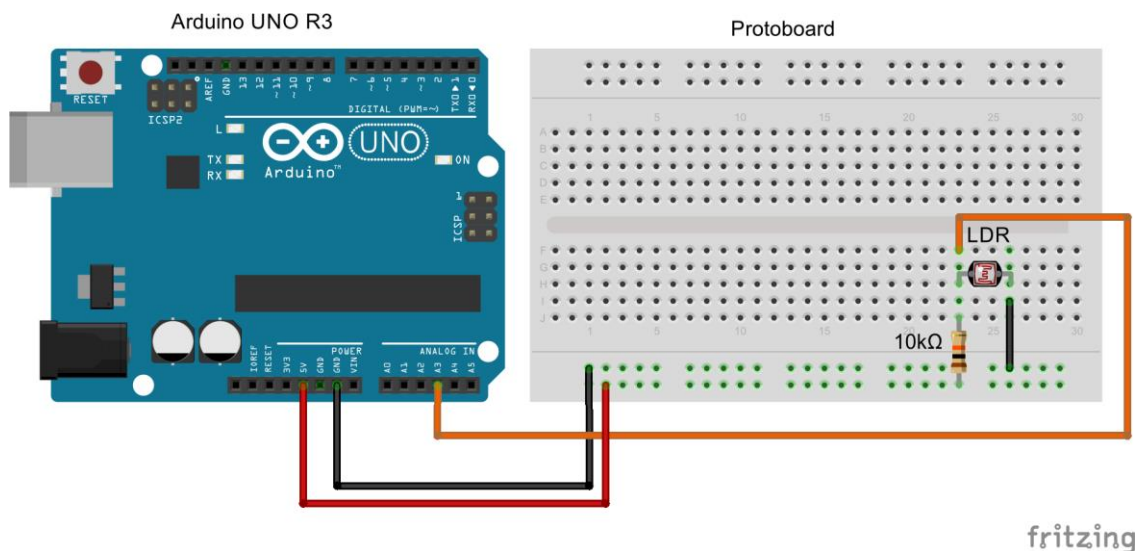


Figura 30 – Esquema de ligação do sensor LDR.  
Fonte: Os autores.

### 3.4.3. Sensor PIR

A conexão com o Arduino utiliza a pino digital 9, que lê o estado HIGH (alto), ao detectar um movimento, e LOW (baixo) quando não há movimentação perto do sensor – Figura 31.

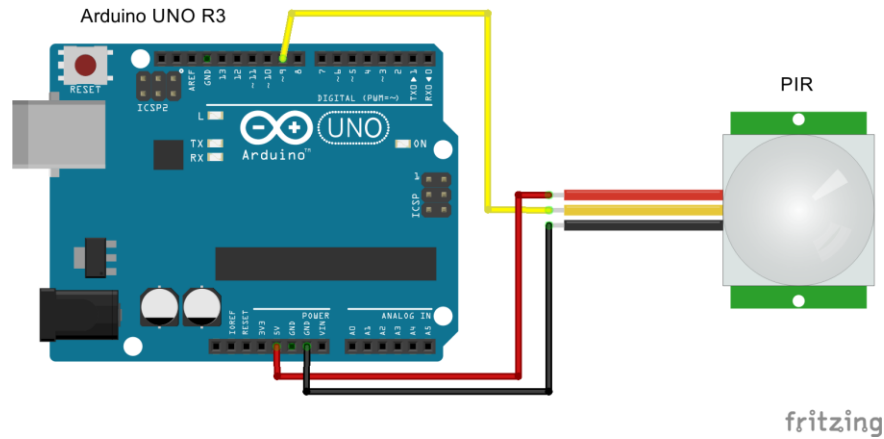


Figura 31 – Esquema de ligação do sensor PIR.  
Fonte: Os autores.

### 3.4.4. Módulo Relé

A ligação do Módulo Relé de dois canais ao Arduino se dá através dos pinos VCC, GND, IN1 e IN2, conforme a Figura 32. No caso do nosso projeto, o relé de dois canais tem como função ativar um circuito de alta corrente através de comandos enviados por circuitos de baixa corrente, evitando o contato entre os equipamentos que utilizam níveis de corrente e tensão diferentes.

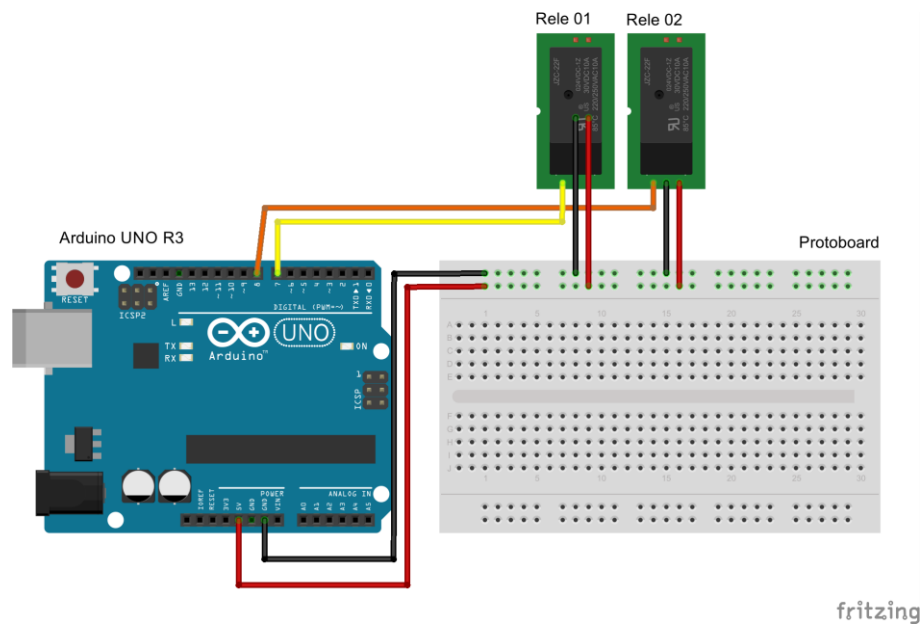


Figura 32 – Esquema de ligação do Módulo Relé.  
Fonte: Os autores.

## 4. RESULTADOS

Desenvolveu-se o protótipo da Estação em uma bancada de madeira, onde foram fixados os equipamentos conforme a Figura 33. Com isso, foi possível verificar *in loco* a operação de cada item e o correto funcionamento do sistema, principalmente, o módulo de automação que vai gerenciar a Estação de Estudo.



Figura 33 – Bancada de testes.

Fonte: Os autores.

Nas Figura 35 e Figura 35, observam-se todos os componentes do sistema proposto. O protótipo é composto por uma bateria de 220 Ah (Freedom Estacionária), um painel fotovoltaico de 135 Wp (Solaria Solar), um controlador de carga (Phocos CX 40 A – 12 V/24 V), um inversor de tensão de 400 W (Rayonik), fusível de vidro 5x20 mm 8 A (2 unidades), disjuntor de 10 A, um case com tampa de acrílico (150x100x40 mm) onde ficam armazenados os componentes do módulo de automação (Arduino UNO R3, mini protoboard de 170 pontos, sensor LDR, Módulo RTC DS1317, o sensor de movimento PIR e o módulo relé de dois canais na parte externa), um notebook de 90 W e uma lâmpada de LED de 10 W. O protótipo tem autonomia de 3 dias sem incidência direta de radiação solar, para um funcionamento de 4 horas diárias ininterruptas.



Figura 34 – Bancada de testes em funcionamento.  
Fonte: Os autores.

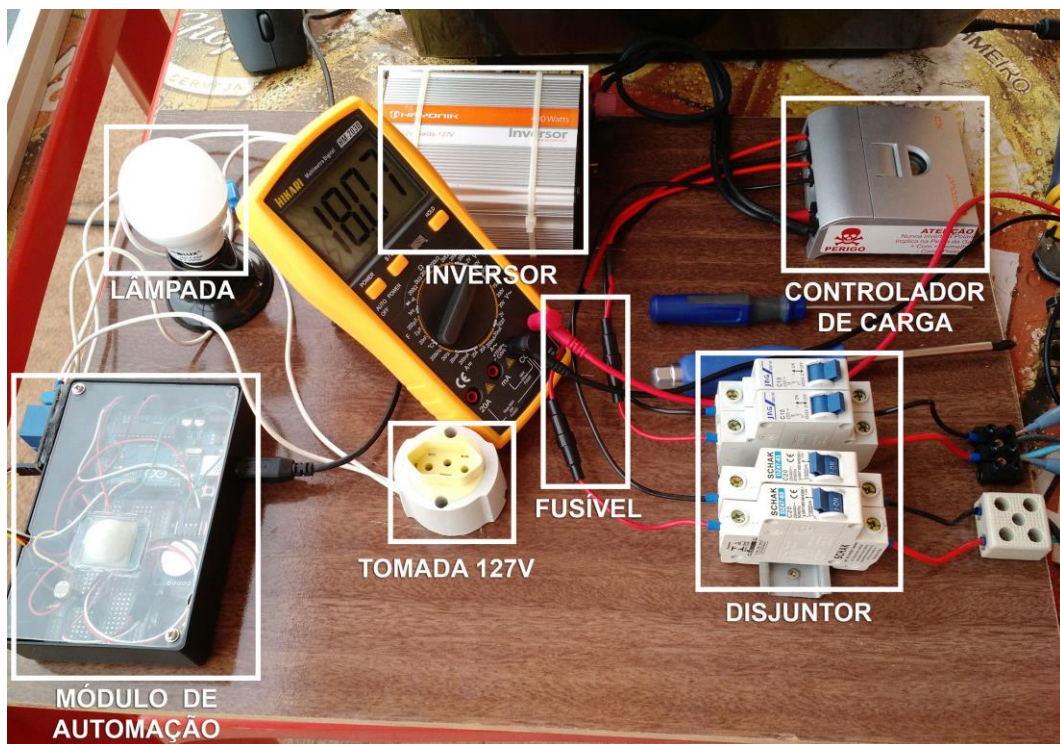


Figura 35 – Disposição dos equipamentos na bancada.  
Fonte: Os autores.

Para o bom funcionamento de dispositivos que utilizam componentes eletrônicos, é imprescindível o uso de proteção contra surtos, evitando a queima dos equipamentos utilizados, com isso, o sistema, será composto por dois fusíveis de 8 A – Figura 36.

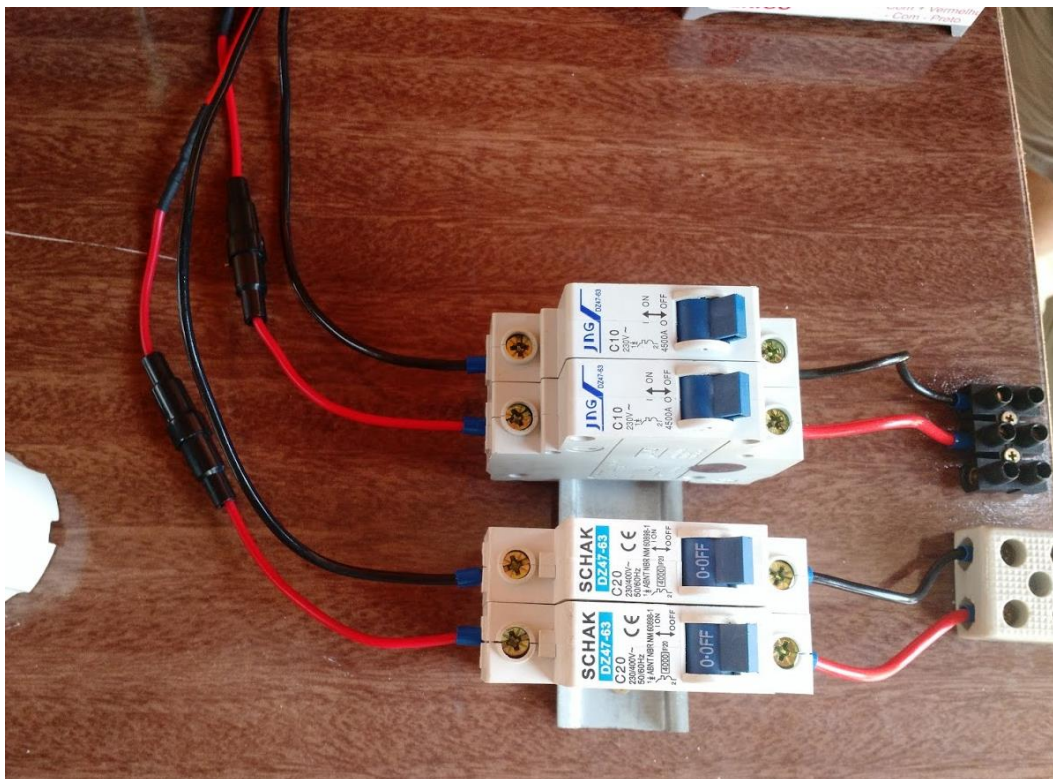


Figura 36 – Dispositivo de proteção.  
Fonte: Os autores.

Além disso, os componentes como inversor, controlador de carga e o próprio painel fotovoltaico possuem proteção interna. O protótipo possui ainda disjuntores, no entanto, servem apenas como chave liga/desliga.

Para a escolha da especificação dos fusíveis, fizemos um teste de exaustão com a bancada em pleno funcionamento. Após todos os equipamentos ligados e conectados (inversor, módulo de automação, lâmpada e notebook), utilizamos um multímetro digital (Hikari HM 2030) na escala de corrente e conectado no lugar do fusível entre a bateria e o controlador de carga. Com isso, verificamos que a máxima corrente consumida pelos aparelhos eletrônicos foi de aproximadamente 6,57A – Figura 37.

Em vista disso, e de acordo com o consumo de cada equipamento: notebook – 6,2 A, lâmpada LED – 0,08 A, inversor – 0,8 A, Arduino UNO R3 – 0,05 A, temos uma corrente total de 7,13 A, bem próxima da corrente que foi obtida com a medição. Levando-se em conta que os aparelhos não trabalham o tempo inteiro no seu limite de corrente máxima, um fusível de 8



A é suficiente para proteger o sistema, até porque, se a intensidade da corrente máxima for igual o valor nominal do fusível, nada acontece. A proteção ocorre apenas quando:

- Se a *intensidade de corrente* que passa pelo fusível é 1,5 vezes superior ao valor nominal do fusível, o fusível aquece e demora 1 hora a fundir-se;
- Se a *intensidade de corrente* que passa pelo fusível é o dobro do valor nominal do fusível, este funde-se em 2 minutos;
- Se a *intensidade de corrente* que passa pelo fusível for 4 vezes o seu valor nominal, este funde-se quase de imediato, em cerca de 0,3 segundos;
- Se a *intensidade de corrente* que passa pelo fusível superar 10 vezes o seu valor nominal, este funde-se imediatamente (em 2 centésimos de segundo). [35]

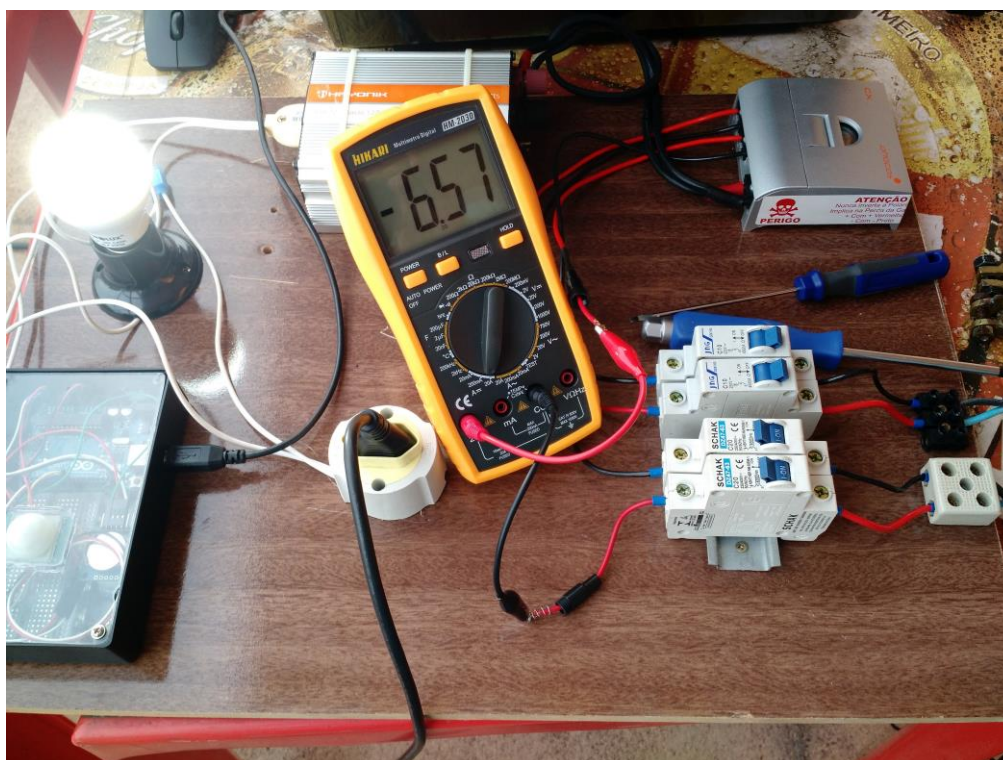


Figura 37 – Consumo de corrente aproximado do sistema.  
Fonte: Os autores.

O módulo de automação faz o controle do sistema. Ele é programado para ligar e desligar os dispositivos no período de uso, através do Módulo RTC DS1317 que ativa a passagem de corrente para a tomada através do canal 01 do Módulo relé de dois canais. Além disso, quando o sensor de luz atinge um determinado valor lógico, (600, de 0 a 1024) é ativado o sensor de presença, que aciona a lâmpada de LED através do canal 02 do Módulo relé de dois canais, isso acontece quando é detectado um movimento no seu entorno (3 a 7 m - ajustável).

Esse funcionamento pode ser observado no Monitor Serial do Arduino – Figura 38, que exibe a saída de dados de operação do módulo. Podemos observar que, quando o sensor LDR marca o valor de 185, o sensor de presença não funciona, fazendo com que a lâmpada continue desligada. Nesse processo, quando o valor do sensor de luz começa a subir (aumenta a resistência) e ultrapassa o valor determinado, observamos que, ao detectar movimento, a lâmpada é acionada.

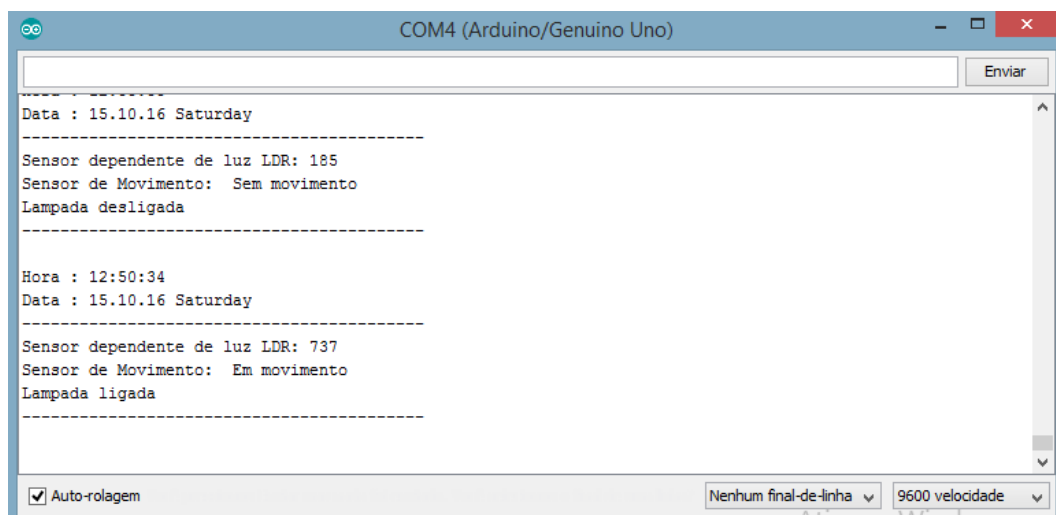


Figura 38 – Monitor serial em funcionamento.  
Fonte: Os autores.

No módulo de automação – Figura 39, o sensor de presença foi o único componente que apresentou uma ação não desejada devido as suas características de funcionamento que consiste em um breve desligamento no tempo programado para fazer a releitura de movimento (delay 5-200 s), o que ocasionava um lampejo na lâmpada durante o processo.

A resolução desse problema se deu através do ajuste no algoritmo do Arduino, fazendo com que ele mantenha a lâmpada acessa ao detectar alguma atividade (caso ela esteja ligada) ou apagada (caso ela esteja desligada) sempre antes de realizar a varredura do ambiente a procura de movimento. O tempo entre varredura (5-200 s – Default 5 s) é controlado por um trimmer atrás do sensor. Outro trimmer é usado para controlar a distância detectável, que é de 3 a 7 m.

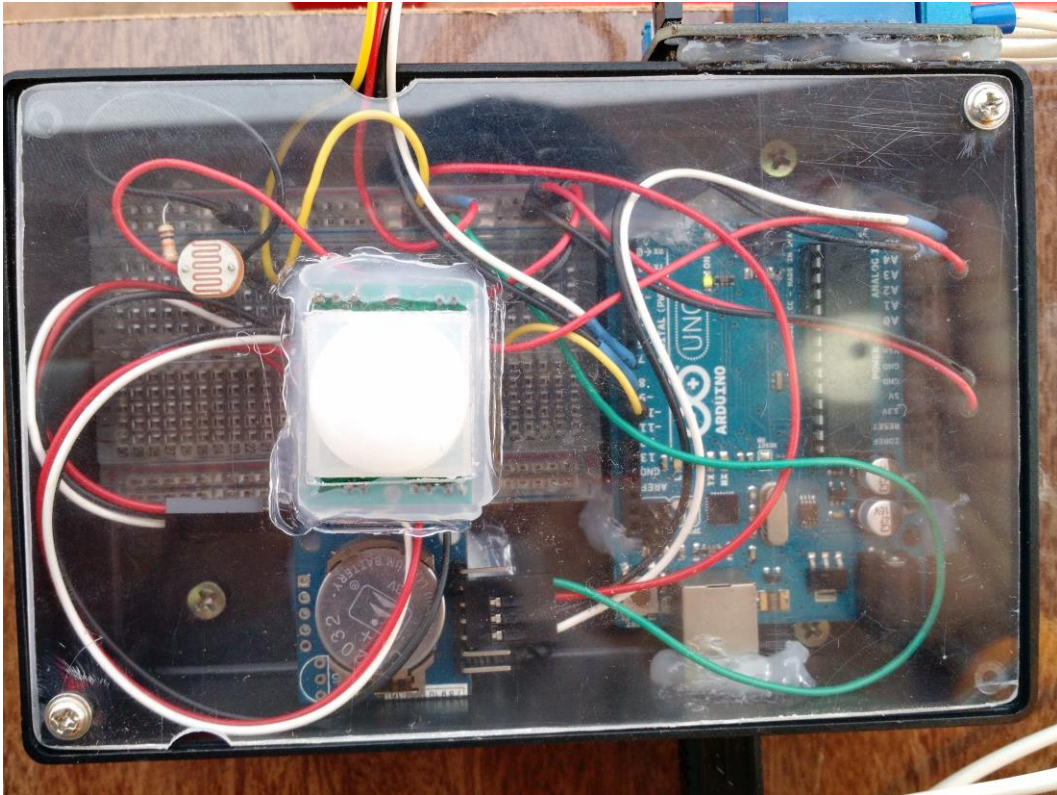


Figura 39 – Módulo de automação.  
Fonte: Os autores.

## 5. CONCLUSÃO

A utilização das Estações de Estudo nas dependências da UFOPA trará um grande benefício aos acadêmicos, que ganharão mais um espaço para fins de pesquisa e entretenimento, além de despertar o interesse na tecnologia envolvida no projeto, estimulando a difusão de conceitos sobre o uso da energia solar e de tecnologias que podem ser incorporadas nesse processo. A longo prazo, a instituição também se beneficiará da experiência obtida durante o processo de desenvolvimento da bancada para uso em outros projetos que tenham como objetivo diminuir o uso de energia elétrica da rede convencional, isso pode contribuir para a redução de impactos ambientais.

Pela falta de recursos, não foi possível construir a primeira Estação nas dependências da universidade conforme planejado, o que não impediu a realização de testes em um protótipo desenvolvido numa bancada, montada com equipamentos similares aos que serão utilizados na Estação. Com isso, analisamos que o comportamento do sistema fotovoltaico e os sensores presentes no módulo de automação apresentaram funcionamento de acordo com o que foi dimensionado e programado no algoritmo embarcado na placa Arduino.

A escolha pelo uso do Arduino no módulo se deu pela facilidade no desenvolvimento do algoritmo e na solução de controle dos dispositivos, o baixo preço e a facilidade de coletar e processar os dados recebidos e enviados para os sensores.

Por fim, além de não impactar na paisagem, ela vai permitir que os acadêmicos possuam um ambiente de estudo ao ar livre com baixo impacto ambiental e ainda, facilitará o aprendizado do funcionamento de um sistema fotovoltaico independente e seus benefícios para a sociedade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARAÚJO, Márcio Augusto. **Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis para arquitetura e construção civil**: Conceito e teoria. Idhea. São Paulo 2004. Disponível em: <[http://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel\\_589](http://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel_589)> Acesso em: 15 fev. 2016.
- [2] Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/nova-york-ganha-estacoes-solares-de-recarga-de-celular>> Acesso em: 02 ago. 2016.
- [3] Google Earth. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/ge/agree.html>> Acesso em: 04 jun. 2015.
- [4] PINHO, João Tavares et al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de energia solar, GTES, Rio de Janeiro-RJ, 2014.
- [5] CUNHA, José Luiz de Paula Alves da. **Eletrificação De Edificações Rurais Isoladas Utilizando Energia Solar Fotovoltaica**. Monografia, Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Belo Horizonte, 2006.
- [6] GHENSEV, Almir. **Materiais e Processos de Fabricação de Células Fotovoltaicas**. Monografia (Pós-Graduação). Departamento de Pesquisa da Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-graduação *Latu Sensu* em Fontes Alternativas de Energia. Universidade Federal de Lavras. Belo Horizonte, 2005.
- [7] SERRÃO, Marcos Antônio dos Santos. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em Pouso do Cajuíba-Paraty**. Projeto de graduação, Departamento de Engenharia elétrica da Escola Politécnica da Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.
- [8] TECNOLAMP do Brasil. Disponível em <<http://tecnolamp.com.br/placa-solar/>> Acesso em: 22 out. 2016.
- [9] NOGUEIRA, Carlos Eduardo Camargo. **Dimensionamento de Sistemas Integrados de Energia em Ambientes Rurais**. Tese (doutorado) - Programa de pós-graduação em engenharia elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2004.
- [10] CARNEIRO, Joaquim. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos: Sistemas Ligados à Rede e Sistemas Autônomos**. Departamento de Física, Universidade do Minho, Portugal, 2009.
- [11] Baterias Rainhas. Disponível em: < [www.bateriarainha.com.br](http://www.bateriarainha.com.br)> Acesso em: 19 out. 2016.
- [12] VIANA, Susana Filipa Almeida Castro. **Modelação de Micro-Sistemas Híbridos Fotovoltaicos/Eólicos para Produção Descentralizada**. Dissertação (doutorado). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa (Portugal), 2010.

- [13] FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. Grupo de Energia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [14] CHAGAS, Marcos Wilson Pereira. **Novas Tecnologias para Avaliação de Baterias**. Dissertação (Mestrado). IEP/LACTEC. Curitiba, 2007.
- [15] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 493, de 5 de junho de 2012**. Disponível em < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>> acesso em 05/10/2016.
- [16] CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Monografia. Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- [17] JÚNIOR, Orlando Lisita. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Estudo de Caso – 3 kWp instalados no Estacionamento do IEE-USP**. Dissertação (mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia/Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- [18] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em <[www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf](http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf)> acesso em 05/10/2016
- [19] BARBOSA, Claudomiro Fábio de Oliveira. et al. **Situação da Geração Elétrica através de Sistemas Híbridos no Estado do Pará e Perspectivas frente à Universalização da Energia Elétrica**. Agrener GD 2004, Campinas, 2004.
- [20] BARBOSA, Claudomiro Fábio de Oliveira. **Avaliação Tecnológica, Operacional e de Gestão de Sistemas Híbridos para Geração de Eletricidade na Região Amazônica**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em engenharia elétrica, Universidade Federal do Pará. Belém, 2006.
- [21] MCROBERTS, M. **Arduino básico**. 1 ed. Novatec. São Paulo 2011.
- [22] Página do Arduino na internet. Disponível em:  
<<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>> Acesso em: 06 de abr. 2015.
- [23] Página do Arduino na internet. Disponível em:  
<<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>> Acesso em: 15 abr. 2015.
- [24] MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados**. 1 ed. Novatec. São Paulo 2005.
- [25] Página do Arduino na internet. Disponível em:  
<[http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno\\_R3\\_Front.jpg](http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_R3_Front.jpg)> Acesso em: 14 abr. 2015.
- [26] Página do Arduino na internet. Disponível em:  
<<https://www.arduino.cc/en/Guide/Windows>> Acesso em: 22 ago. 2016.
- [27] MASSIMO, B. **Primeiros passos com arduino**. 1 ed. Novatec. São Paulo 2011.

[28] Wikipedia. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/ATmega328>> Acesso em: 12 ago. 2016.

[29] KARVINEN, K; KARVINEN, T, **Primeiros Passos com Sensores**. 1 ed. Novatec. São Paulo 2014.

[30] Página do Eletronicpiece na internet. Disponível em: <<http://electronicpiece.blogspot.com.br/2012/01/boas-hoje-venho-aqui-publicar-mais-um.html>> Acesso em: 14 abr. 2015.

[31] Página do Filipeflop na internet. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-6b901-sensor-de-movimento-presenca-pir.html?ct=41d97&p=1&s=1>> Acesso em: 14 abr. 2015.

[32] Página do Filipeflop na internet. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-6b84a-modulo-rele-5v-2-canais.html>> Acesso em: 25 abr. 2015.

[33] Página do Filipeflop na internet. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-6b854-real-time-clock-rtc-ds1307.html>> Acesso em: 28 abr. 2015.

[34] SunData – CRESESB – **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>> Acesso em: 16 jul. 2016.

[35] Página da Tecnologia do Globo na internet. Disponível em: <<http://www.tecnologiadoglobo.com/2012/11/tipos-de-fusiveis-como-escolher-fusivel-adequado/>> Acesso em: 10 abr. 2016.