

FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS –
UNIFTC / JEQUIÉ
CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

RUAN FRANCLIN ALMEIDA ARAGÃO
VALDEQUE SILVA DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO UTILIZANDO RASTREADOR
SOLAR**

JEQUIÉ
2021

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA UM SISTEMA FOTOVOLTAICO UTILIZANDO RASTREADOR SOLAR

Ruan Francin Almeida Aragão¹
Valdeque Silva dos Santos¹
Fabrício de Sousa Pinto²

RESUMO

Atualmente a demanda por energia de fonte renovável é cada vez maior, motivado pelo crescimento populacional, industrialização exponencial e conscientização ambiental. Por conta disso surge a necessidade de obter energia de novas fontes, mas que sejam menos poluentes e mais sustentáveis. Esta pesquisa visou demonstrar um rastreador solar controlado por um Arduino, que viabilize a máxima irradiação solar. Diferente do sistema fixo, com o seguidor solar a placa fica perpendicular ao sol, para aumentar a eficiência da placa. Foi desenvolvido um protótipo para denotar a capacidade do sistema em gerar mais energia, e após análise dos resultados obtidos corroboram que o rastreador solar é mais eficiente do que o padrão de placa fixa, por conta disso poderá diminuir os custos finais e diminuir o tempo de retorno, além de contribuir para o incremento de energia na matriz elétrica brasileira.

Palavras-chaves: Arduíno. Rastreador solar. Painel fotovoltaico.

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE FOR A PHOTOVOLTAIC SYSTEM USING SOLAR TRACKER

ABSTRACT

Currently, the demand for energy from renewable sources is increasing, motivated by population growth, exponential industrialization and environmental awareness. As a result, there is a need to obtain energy from new sources, but that are less polluting and more sustainable. This research aimed to demonstrate a solar tracker controlled by an Arduino, which enables maximum solar irradiation, as different from the fixed system, with the solar tracker the plate is perpendicular to the sun, as it increases the plate's efficiency. A prototype was developed to denote the capacity of the system to generate more energy, the results obtained corroborate that the solar tracker is more efficient than the standard fixed plate, because of that it can decrease the final costs and decrease the return time, besides to contribute to the increase in energy in the Brazilian electric matrix.

Keywords: Arduino. Solar tracker. Photovoltaic panel.

¹Discentes do curso de Sistemas de Informação do Centro Universitário UniFTC de Jequié (UniFTC/Jequié), e-mail: ruanfrancin@gmail.com, valdeque36@gmail.com

²Professor Orientador do Centro Universitário UniFTC de Vitória da Conquista (UniFTC;Conquista), e-mail: fabricio.pinto@ftc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Observando o crescimento demográfico e do desenvolvimento urbano nas últimas décadas, um problema que gera discussões e busca por soluções é a demanda energética. A acelerada procura por energia elétrica no Brasil incentiva a criação e melhoramento de novas fontes de energia. Alguns processos de geração de eletricidade podem ser obtidos através de fontes naturais que são reabastecidas naturalmente e denotam menor potencial negativo com o meio ambiente, são as fontes de energias renováveis como a eólica, geotérmicas, biomassa e fotovoltaica entre outras. Em decorrência desse contexto, ao longo do tempo houve uma crescente ampliação e o desenvolvimento de novas tecnologias de geração de energias limpas, dentre elas a energia solar, convertida através dos painéis fotovoltaicos. Nos últimos anos as políticas de incentivo governamentais contribuíram para a instalação de placas solares (LOPES, 2013).

A geração elétrica fotovoltaica é responsável por 1,46% da energia total produzida no país, tal fonte renovável cresceu mais de 212% em 2019 (ANEEL, 2020). Mesmo com a adesão de energia solar, ainda existem gargalos importantes que dificultam uma maior dissipação dessa tecnologia. Um dos entraves se refere aos baixos rendimentos que as placas fotovoltaicas comumente disponíveis possuem, pela eficiência que um painel transforma os raios solares em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Tendo em vista a perda de rendimentos da placa solar durante a translação da terra em torno do sol, pois a radiação solar no painel fotovoltaico inclinado e perpendicular ao sol é maior que na superfície horizontal estática (DGS, 2013).

Por conseguinte, esta pesquisa demonstrou que ampliando o benefício dos painéis fotovoltaicos, eles serão mais utilizados pelo aumento do custo benefício para uso de usinas solares, industriais e até residências.

Em relação ao irreversível aumento de demanda e encarecimento das tarifas, é importante tornar mais eficiente adotando uma estratégia de otimização no recebimento de raios solares nos módulos fotovoltaicos, conseqüentemente diminuirá o tempo de retorno do valor investido em relação ao atualmente, se for alavancado para a máxima absorção ao longo do dia através do sistema de seguimento solar. Este estudo visa investigar uma alternativa de melhoria da relação custo benefício de sistemas fotovoltaicos, melhorando assim a sua viabilidade e ajudando o seu crescimento como fonte de energia renovável no país.

Diante dessas considerações, emergiu a questão norteadora deste estudo: Como um sistema automatizado de captação solar de um painel fotovoltaico pode acompanhar a movimentação solar durante o dia, sem alto custo e com boa confiabilidade?

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um sistema automatizado de painel solar fotovoltaico com rastreador solar, que através da leitura em tempo real de sensores de luminosidade consiga se movimentar sempre numa posição perpendicular ao sol, para atingir uma melhor eficiência, conseqüentemente aumentando a captação energética. O estudo visou mensurar o ganho energético de um sistema automatizado de seguidor solar (*tracker*) em função da eficiência de captação com a de um painel de estrutura fixa.

Este artigo está assim organizado: Na seção 2 descreve a Metodologia, na seção 3 a Energia solar, na 4 sobre a Plataforma *Arduíno*, na 5 descreve como foi feito o protótipo, na seção 6 demonstra os Resultados e na seção 7 as Considerações finais.

2 METODOLOGIA

A classificação quanto ao estudo foi baseada na taxionomia de Vergara (2005), a qual considera a pesquisa quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins, trata-se de uma pesquisa intervencionista, pois pretende interferir na realidade estudada. Quanto aos meios, a pesquisa é de caráter experimental, pois visa submeter o sujeito de estudo a influência de variáveis.

Os sujeitos desta pesquisa foram os protótipos implementados, o projeto visou a obtenção de dados de dois módulos fotovoltaicos de mesmo protótipo, sendo que um é dotado de um eixo que o orientará automaticamente para o Sol, e outro instalado de forma fixa, o estudo visou realizar medições de rendimento, para assim promover uma análise baseada nos resultados.

O cenário da pesquisa foi ambiente aberto, sem sombra e ao alcance do sol, para que fossem feitas análises com o protótipo. A coleta de dados dessa pesquisa foi por meio automatizado pelo próprio sistema, que posteriormente foi utilizado para melhor leitura em gráficos.

3 ENERGIA SOLAR

A energia solar é uma fonte renovável que traz consigo várias vantagens ao meio ambiente, aos consumidores e empresas que podem diminuir os gastos com energia, além da possibilidade de reduzir as perdas nas linhas de transmissão e distribuição, contribuindo com

a geração energética descentralizada. Desde de 2012, a energia solar dentro da matriz elétrica no Brasil se tornou uma opção viável aos consumidores que queiram gerar a própria energia. Tais avanços se devem por conta da regulamentação feita pela ANEEL, através da Resolução Normativa nº 482/2012, a qual define o sistema de compensação de energia fotovoltaico conectado à rede. Dentre as medidas adotadas estão a autorização de isenção de ICMS nos investimentos em energia solar e promoção de leilões de ofertas específicas na área. Mas existem entraves como o custo e a eficiência, que são fatores que porventura diminuem a popularização desta tecnologia.

3.1 Potencial solar no Brasil

Segundo Pinho e Galdino (2014), a exploração da energia originada pelo Sol, é uma das alternativas mais promissoras para o desenvolvimento humano de forma sustentável. Sendo que o Sol é responsável pela fonte de boa parte das origens de energia da Terra.

O Brasil, por ser um país de clima tropical, tem grande potencial de geração de energia solar. Segundo o Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energia Solar (ISE, 2020), no ano de 2019 a participação da energia solar na matriz energética da Alemanha representava 8,2%, enquanto no Brasil, com maior radiação solar durante o ano, somente 1,46%. O potencial de energia solar no Brasil é enorme considerando que segundo o INPE (2017, p. 57) “no local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha”. O nordeste detém o maior potencial energético.

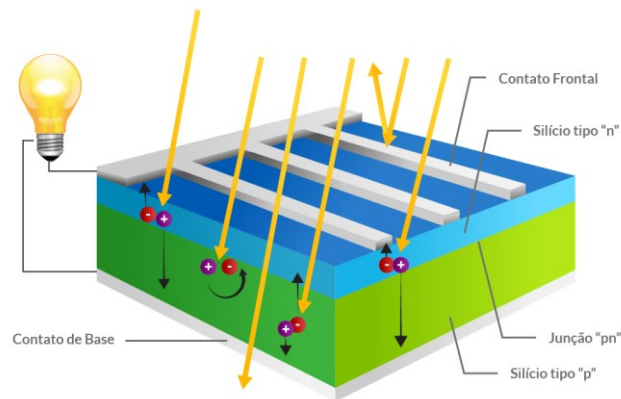
3.2 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico foi descoberto pela primeira vez pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839, ao constatar propriedades de materiais semicondutores, percebendo corrente elétrica quando exposto a radiação (NASCIMENTO, 2004).

A maioria dos painéis solares convencionais são do tipo N sobre P ou P sobre N, a Figura 01 denota o efeito, a corrente passa saindo do lado P (eletrodo positivo), transpassando pelo lado N (eletrodo negativo). A corrente elétrica gerada é proporcional ao tamanho da placa e a quantidade de irradiância solar (De PAULA, 2015).

As células dos painéis solares são atingidas diferentemente em função dos raios solares, sendo assim, a geração de energia é proporcional ao fluxo de fótons da reação, ou seja, sendo a capacidade de geração elétrica proporcional a irradiância, quanto maior for a eficiência de captação solar, melhor a geração de energia (COPPE, 2017).

Figura 01 - Representação da conversão de radiação solar em energia



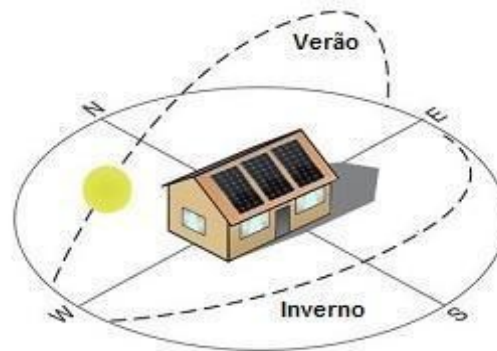
Fonte: Blue Sol Energia Solar - <<https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>>

3.3 Sistema fixo de painel solar

Os sistemas fixos de painéis que não apresentam nenhum tipo de rastreamento solar podem seguir bem posicionado com relação ao sol, desde que sejam feitos estudos da posição comum do ângulo otimizado. Em uma instalação padrão, a nível do mar, o ângulo seria um ponto de intersecção da variação do posicionamento solar, seja entre os sentidos norte-sul ou leste-oeste (SANJUAN, 2013), mas em residências segue o padrão do telhado.

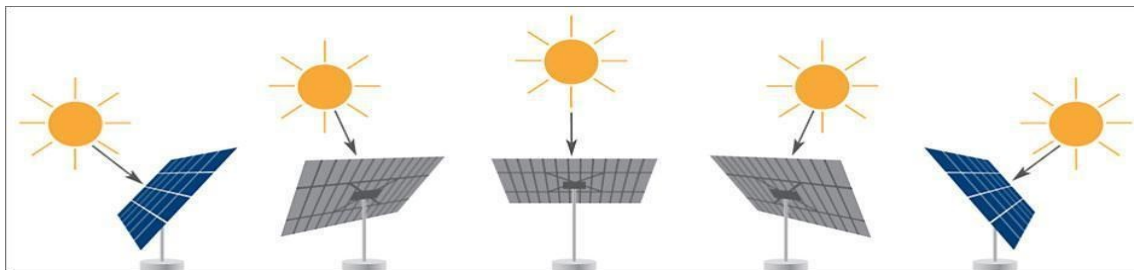
3.4 Rastreador solar

Uma das formas mais eficientes para melhorar a geração de energia é o seguidor solar em função do heliotropismo, que basicamente é o movimento natural que as plantas fazem ao buscar uma melhor captação solar para fazer fotossíntese, como o girassol. A posição do sol muda em função da translação da terra, por isso o sistema fixo perde eficácia na captação do solar, como é elucidado na Figura 02.

Figura 02 - Movimento solar

Fonte: MPPT SOLAR - <<http://www.mpptsolar.com/pt/orientacao-inclinacao-paineis-solares-fotovoltaicos.html>>

Os sistemas mecânicos podem possuir um ou dois eixos, a função do rastreador é posicionar o painel sempre mais perpendicular possível com os raios solares, para obter uma maior captação durante o dia (PRADO; ULHOA; DAMACENO et al., 2014). O rastreador solar funciona alternando o ângulo por diversas vezes durante o dia, o intuito é fazer com que os painéis fotovoltaicos continuem perpendiculares com o sol, para maximizar a produção de energia. A figura a seguir demonstra como funciona um seguidor solar.

Figura 03 - Seguidor solar de Eixo Único Inclinado

Fonte: Portal Solar - <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/seguidor-solar---tracker-vantagens-e-desvantagens-parte-1.html>>

3.5 Comparação sistema fixo e rastreável, pesquisas correlatas

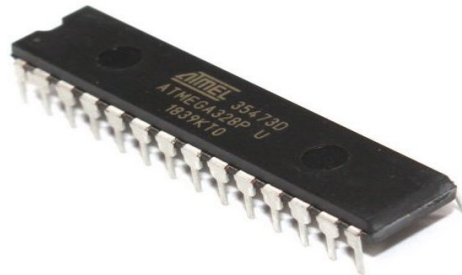
Estudos são feitos no meio acadêmico para comparar a eficácia dos sistemas fixo e rastreável, em 2013 foi testado por um ano na Alemanha, Reino Unido e Grécia, um sistema de rastreamento com dois eixos, que são os que têm uma maior movimentação, onde se obtiveram ganhos de 28,7%, 30,4% e 34,8% respectivamente, em comparação com os sistemas fixos (AXAPOULOS; FYLLADITAKIS, 2013). Estudo feito na USP utilizando sensores fotossensíveis obteve melhoria de 39% com relação ao fixo (TREVELIN; FELIPE, 2014).

4 PLATAFORMA ARDUINO

Nesta pesquisa, o foco foi a plataforma *Open Souce*, conhecida como *Arduino*. No início dos anos 2000 começou como um projeto de pesquisa do professor e pesquisador Massimo Banzi, e a partir de 2005 foi lançada na Itália a primeira placa *Arduino* com o intuito educacional para criação de sistemas eletrônicos. Ao longo do tempo se mostrou importante no meio acadêmico e para corporações (ARDUINO, 2018).

Segundo McRoberts (2011), o *Arduino* funciona como um computador compacto, que pode ser projetado facilmente para processar as entradas e saídas entre dispositivos e os componentes externos a ele conectados, ele é controlado por um Microcontrolador *Atmel AVR*, conforme exibido na Figura 04. A criação do *Arduino* foi um grande acontecimento no meio tecnológico, de acordo com Santos (2009), a repercussão se deu pela quantidade de possibilidades e pelo seu baixo custo.

Figura 04 – Microcontrolador Atmel AVR ATRMEGA 328P



Fonte: *Piscaled* <<https://www.piscaled.com.br/microcontrolador-atmega328p-atmega328p-pu>>

Por ser *Open Source* e livre sob a licença GNU (*General Public License*), a comunidade cresce com a quantidade de projetos e novas bibliotecas criadas pelos próprios desenvolvedores. A ideia básica do *Arduino* é criar uma atmosfera onde qualquer pessoa interessada possa participar e contribuir com pouco investimento (WARREN; ADAMS; MOLLE, 2011). Para desenvolver com *Arduino* se faz necessário o uso de um de uma *Integrated Development Environment* (IDE), um ambiente de desenvolvimento com programação em linguagem C++.

Os programas de software, chamados de esboços, são criados em um computador usando o *Arduino* integrado ao ambiente de desenvolvimento (IDE). O IDE permite escrever e editar código e converter este código em instruções que o hardware *Arduino* entende. O IDE também transfere essas instruções para a placa *Arduino* (MARGOLIS, 2012).

De acordo com Santos (2009) pode-se designar o Arduino simplesmente como uma peça de Hardware ou um Software de desenvolvimento, mas é muito mais que isso. São várias possibilidades que podem ser usadas com o *Arduino*, em decorrência do hardware e software livres, o que vem a ser uma das melhores qualidades de um sistema *open source*. O *Arduino* tem várias possibilidades de conexão com computadores, outros *Arduinos*, microcontroladores e até smartphones (CAMPOS, 2014). Essas facilidades fazem com que o *Arduíno* seja escolhido como controlador principal do projeto.

4.1 Arduino UNO R3

Existem vários modelos de placas *Arduíno*, que se diferem pelo seu tamanho e quantidade de portas e dispositivos compatíveis, os chamados *shilds*. A que foi utilizada nesta pesquisa foi o modelo UNO, por atender a todos os requisitos deste projeto, a Figura 05 demonstra a placa.

Figura 05 – Arduino UNO



Fonte: Arduino Oficial - <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>

A placa *Arduíno* UNO é composta por um microcontrolador ATmega 328, que possui 28 pinos, 14 portas de digitais, 6 portas analógicas, além de uma entrada USB que pode ser usada como forma de conexão com um hospedeiro para programar ou interagir em tempo real.

5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO PARA UM SISTEMA FOTOVOLTAICO UTILIZANDO RASTREADOR SOLAR

Esta seção descreve como foi feita a construção do protótipo e a análise dos dados obtidos através de um experimento. O funcionamento e as especificações dos módulos e dispositivos utilizados no projeto, também será elucidado como foi elaborada a base e suporte para a placa solar. O sistema foi desenvolvido, além do Arduino Uno, com 4 sensores LDR, um Sensor de Tensão DC, 2 servo motores, alguns cabos Jumper e uma placa solar.

5.1 Sensor de luminosidade LDR

O LDR, da sigla em inglês de *Light-Dependent Resistor*, que significa resistência dependente de luz. Segundo Araújo (2014), o LDR tem material fotossensível que faz com que dependendo da luminosidade incidente no LDR varie a resistência.

Segundo Araújo (2014), o responsável é um eletrodo em formato de “S”, localizado na parte superior do dispositivo, como pode ser visto na Figura 06. Esse eletrodo é composto por um semicondutor, o de sulfeto de cádmio. Os quatros LDR foram colocados acima da placa solar.

Figura 06 – Sensor LDR.



FONTE: Pcboard -<<https://www.pcboard.ca/gl5528-light-dependent-resistor>>

5.2 Servo motor

Os servos transformam a energia elétrica, através dos comandos, em energia mecânica. Como a estrutura do protótipo não exigirá muita força do servo motor, pois a placa solar pesa menos 50g, por isso foi utilizado o *Servo motor* SG 90g, com torque de 1,2 kg-cm, suporta cerca de 700 gramas cada, sendo capaz de suprir as necessidades do projeto, sendo o modelo idêntico ao da Figura 07. O sistema tem 2 servos para fazer o movimento vertical e horizontal da placa solar.

Figura 07 - Servo motor.

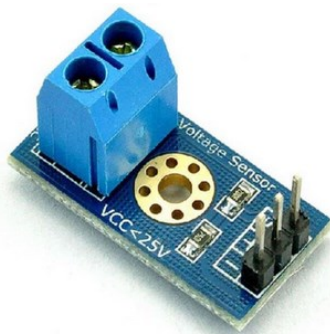


Fonte: Curto Circuito- <<https://www.curtocircuito.com.br/servo-motor-sg90.html>>

5.3 Sensor de tensão DC

O Sensor de tensão DC converte a tensão da entrada através de dois resistores, como pode ser visto na Figura 08. Com potencial de redução de fator 5 a entrada de tensão de até 25 volts. O dispositivo converte como saída de 0 a 1023 em valores inteiros, usando uma porta analógica. Para transformar o dado gerado para volts é só reconverter. O módulo se mostra de suma importância para para o protótipo em detrimento da comparação entre os sistemas de captação fixa e rastreável.

Figura 08 – Sensor de tensão DC.



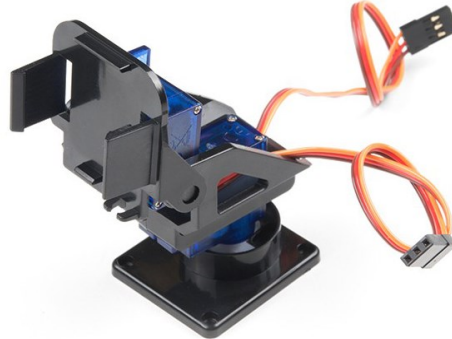
Fonte: Byteflop- <<https://www.byteflop.com.br/modulo-sensor-de-tensao-0-25v-dc>>

5.4 Suporte para Placa Solar

Foi utilizado um suporte *Pan/Tilt servo motor* sg90 voltado para câmera portátil, como pode ser visto na Figura 09, pois comporta os dois servos perfeitamente e consegue

carregar a placa. Para segurar a placa numa posição condizente com o proposto pela pesquisa foi necessário adaptar um suporte para celular onde seria colocado uma câmera no *Pan/Tilt*.

Figura 09 – Suporte Pan/Tilt para servo sg90.

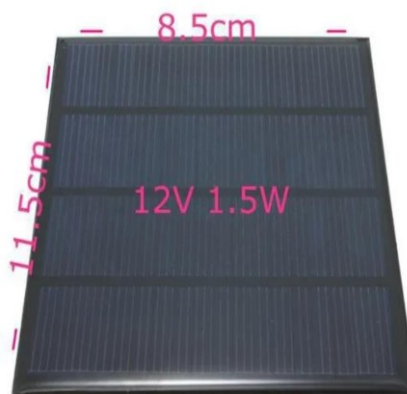


Fonte: Compel - <<https://compeljundiai.com.br/produto/suporte-pan-tilt-servo-motor-s90g/>>

5.5 Placa Solar

Foi utilizada uma placa de 12 volts, com tensão máxima de 17 volts, corrente de até 0,125mA e potência de 1,5w (máximo de 3,5w), com tamanho de 85 por 115 milímetros, como denota a Figura 10. Com as especificações da placa é possível calcular a corrente e potência através da resistência estimada da 96 ohm, utilizando o cálculo da 1ª lei de Ohm ($R=U/I$), o Sensor DC recebe a tensão em tempo real. A placa foi acoplada ao suporte de celular no Pan/Tilt por uma moldura de papelão, seu peso com a moldura são de 45g.

Figura 09 – Placa solar.



Fonte: Casa da robótica - <<https://www.casadarobotica.com/fonte-e-conversores/fontes/geradores/mini-painel-placa-celula-solar-energia-fotovoltaica-12v-1-5w>>

5.6 Funcionamento do sistema

O rastreamento em tempo real foi idealizado para sempre colocar o painel solar numa posição perpendicular ao sol, para que garanta a melhor captação de irradiação solar, o protótipo usa os dois servos motores em função dos sensores *LDR*. Os 4 quatros sensores de luminosidade foram posicionados na parte superior imediata a placa solar, separados um dos outros, com uma altura suficiente que proporcione sombra aos outros desde que o painel esteja mal posicionado, pois dessa forma o valor analógico do sensor só é igual se os sensores estiverem perpendiculares ao sol, os quatros *LDR* são separados por norte e sul (para movimentar o servo motor vertical), esquerda e direita (para movimentar o servo motor horizontal). Os servos vão se movimentando até encontrar uma posição ideal, desde que a diferença seja maior que a tolerância de cerca de 5% , a tolerância foi criada para que o sistema não faça movimentações com pouca efetividade.

O sistema funciona normalmente seguindo o sol, mas a cada 1 hora ele salva os valores de ângulo do servo horizontal e vertical, também envia o valor gerado pelo Sensor de tensão para memória do microcontrolador do *Arduíno*, usando a biblioteca *EEPROM*, o *Arduíno* não suporta um valor maior que 255, como o valor da tensão convertida varia de 0 a 1023 é necessário usar comandos para converter os valores em dois bytes. Após esses procedimentos o painel vai apontar para o norte com uma inclinação de 20°, que é um ângulo similar aos telhados residenciais, após um segundo o sistema envia para a memória *EEPROM* a tensão gerada pela placa e retorna para a última posição salva pelo rastreador solar, dessa forma será possível realizar o teste com o sistema fixo e rastreável ao mesmo tempo. Para a leitura dos dados salvos foi feito um código que converte os bytes em um único valor. A partir da leitura dos dados será possível fazer a análise de dados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O protótipo consiste em um *pan tilt* que serve para câmera, mas foi acoplado no lugar da câmera um suporte para celular, a placa solar foi fixada no suporte, o conjunto foi colocado numa caixa mais alta para fazer os movimentos livremente, ilustrado na Figura 10, os demais componentes necessários para montagem ficaram próximos a caixa.

Figura 10 – Protótipo montado.

Fonte: Os autores

Com o projeto montado, foram realizados testes para avaliar a eficiência do painel solar com rastreador em detrimento do sistema fixo. Os ensaios foram realizados em um local aberto, no fundo de uma casa situada no Bairro São Luis, na cidade de Jequié-Ba, entre os dias 26 a 28 de maio de 2021. O nascer do sol foi às 05:57 e o pôr às 17:19, em decorrência disso, os testes foram realizado das 7h às 18h, como já foi mencionado, o sistema colheu os dados com intervalo de uma hora, na Tabela 1 é elucidada as variações de potência do sistema fixo e rastreável durante o dia 28, o dia fez 30° com poucas nuvens.

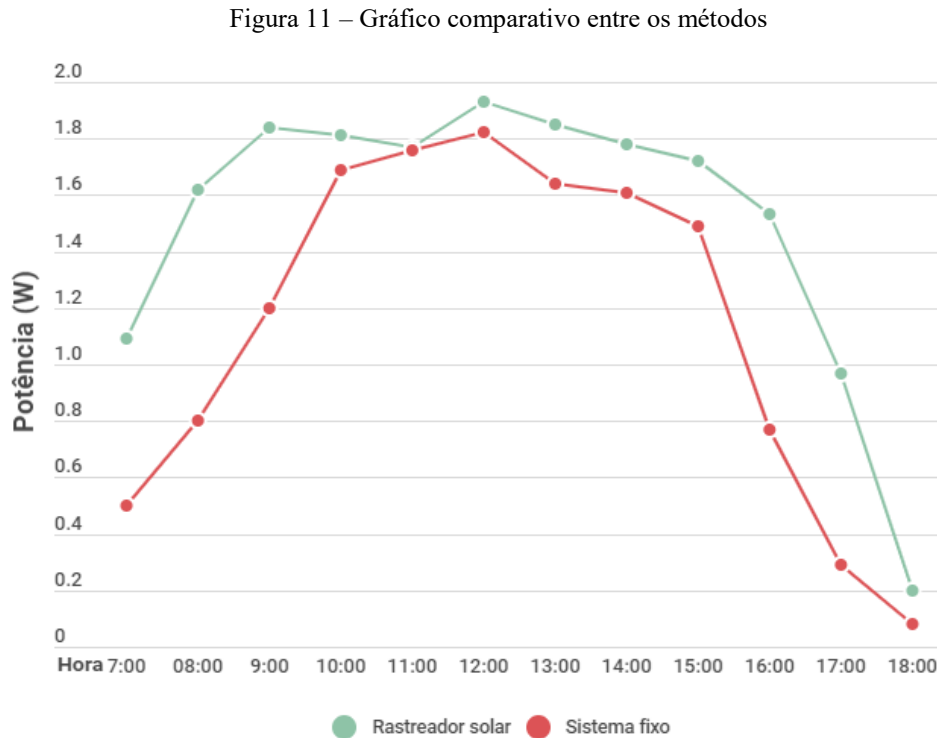
Tabela 1 – Valores obtidos por ambos sistemas

Hora	Rastreador solar Potência (W)	Sistema fixo Potência (W)
07:00	1,09	0,50
08:00	1,62	0,80
09:00	1,84	1,20
10:00	1,81	1,69
11:00	1,77	1,76
12:00	1,93	1,82
13:00	1,85	1,64
14:00	1,78	1,61
15:00	1,72	1,49
17:00	1,53	0,77
17:00	0,97	0,29
18:00	0,20	0,08

Fonte- Elaboração dos autores 2021

Com o intervalo de uma hora, a tensão é lida pelo sistema e mandada para a memória interna do Arduino, os dados são salvos de forma intercalada pelo sistema rastreável e logo em seguida o fixo, para a posterior leitura é necessário colocar o *Arduino* ligado a um

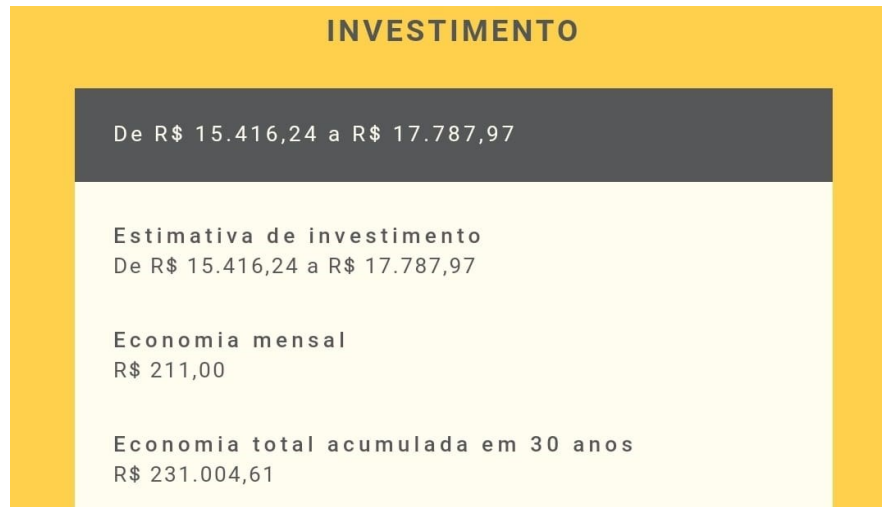
notebook através da porta usb e carregar um código novo no *Arduíno*, o código que foi realizado para fazer a leitura e cálculo de potência foi colocado no Apêndice 2, a Figura 11 ilustra a comparação de potência entre os dois sistemas.



Após a análise dos dados obtidos, constatou-se que o sistema com rastreador teve uma média de geração de 1,52W contando os 12 períodos de avaliação, somando 18,11 watts, enquanto a placa fixa obteve uma média nos 12 períodos de 1,13W, somando 13,65W, a comparação dos dois sistemas em função dos valores somando os períodos demonstrou que o sistema com rastreador produziu 32,67% a mais que o fixo, apesar de fatores como algumas nuvens pela manhã no dias de testes, além da sensibilidade dos sensores LDR não serem muito precisos, o sistema se mostrou mais eficiente que o fixo.

A título de demonstrar a viabilidade de um sistema com rastreador solar, utilizando os resultados obtidos como parâmetro, foi simulado, no *site* Neosolar (2021), a instalação de um sistema solar fixo para uma residência com consumo estimado em 320 KWH, pagando R\$ 250 por mês (tarifa de R\$ 0,78 da Bahia), como ilustra a Figura 12. Após colocar o Estado da residência e valor pago em Reais, o site faz um valor estimado de quantos watts são necessários para suprir a demanda, considerando a estimativa de investimento de R\$ 15.416,24, o tempo para pagar o investido seria de 73 meses, e média de R\$ 211 de economia por mês.

Figura 12 – Estimativa de investimento, calculadora solar.



Fonte: NeoSolar - < <https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica>>

Com o sistema rastreador à 32,6% de eficiência com relação ao fixo, uma placa menor (242KWH) com investimento de R\$ 11.465,49 seria capaz de gerar a mesma potência de 320KWh, a placa seria paga em menos de 55 meses, com o pagamento mensal do investimento da placa de R\$ 211 (o mesmo valor da placa fixa), além de gerar maior economia total até os 25 anos de rendimento de ambas as placas, esta estimativa não contabiliza o valor dos componentes necessários para fazer o rastreador, mas perto da economia gerada, o custo deve ser menor do que com o sistema fixo, como também pode ser melhorado em pesquisas posteriores, até atingir seu limite de viabilidade e consequentemente reduzir mais ainda o seu tempo de retorno.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa pesquisa foi possível demonstrar a utilidade de um protótipo de rastreador solar, que apresenta o intuito de aumentar a eficácia do rendimento elétrico, e que por conta disso pode diminuir os custos finais e diminuir o tempo de retorno, além de contribuir para o incremento da energia solar na matriz energética brasileira, o método proposto gerou 32,6% a mais de energia comparando com o painel fixo. Os conhecimentos adquiridos durante a graduação foram de suma importância para realização deste projeto, perante o uso, entre outros, de programação além do aprofundamento na seara da energia solar e circuitos eletrônicos. Outra experiência obtida foi a realização deste projeto seguindo as normas exigidas por regulamentos técnicos.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n.435/2011**. Brasília, A Agência, 2011.

ANEEL. **Brasil alcança 170 mil megawatts de capacidade instalada em 2019**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-alcanca-170-mil-megawatts-de-capacidade-instalada-em-2019/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 20 mai. 2020.

ARAÚJO, T. **Série Sensores: Sensor LDR com Arduino**. 2014. Disponível em: <<https://blog.fazedores.com/sensor-ldr-com-arduino/>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

ARDUINO. **About Us**. 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>>. Acesso em: 12 jun. 2020.

AXAOPOULOS, P.J.; FYLLADITAKIS, E D. **Energy and economic comparative study of a tracking vs. a fixed photovoltaic system**. European Scienti Journal, v. 9, n. 12, 2013.

CAMPOS, R.A.F. **Automação residencial utilizando arduino e aplicação web**. 2014. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia da Computação, Centro Universitário de Brasília - Uniceub, Brasília, 2014.

COPPE, E.F. **Efeito fotovoltaico**. Disponível em: <<http://www.solar.coppe.ufrj.br/efeito/index.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

DE PAULA, S.E.A. **Estudo do Ganho de Energia Elétrica em Painéis Fotovoltaicos Usando Rastreamento Solar Baseado em Sistemas Embarcados** / S. E. A. de Paula -- versão corr. -- São Paulo, 2015.

FRY, B.; REAS, C.S. **Puff and Hands-Free Switches**. 2016. Disponível em: <<https://processing.org/>>. Acesso em: 13 de jun. de 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª ed. São José dos Campos - SP, 2017.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LOPES, R. **Efeito do Sombreamento nos Paineis Fotovoltaicos**. Dissertação. Lisboa: ISEL, Dez. 2013.

MARGOLIS, M. **Arduino Cookbook**. 2ª ed. Sebastopol: O'Reilly, 2012.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011. 456 p.

NASCIMENTO, C.A. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. 2004. Monografia – Programa de Pós-graduação em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, 2004. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2020.

NEOSOLAR. **SIMULADOR SOLAR - CALCULADORA SOLAR FOTOVOLTAICA** .

Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica-resultado-resultado/>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; GONÇALVES, A.R. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, 2ª ed. INPE. São José dos Campos - SP. 2017.

PINHO, J.; GALDINO, M.A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

PORTAL SOLAR. **Como Funciona o Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 10 jun. 2020.

PRADO, G.O.; ULHOA, T.F.; DAMASCENO, J.J.R. et al. **Estado da arte em mecanismos de rastreamento solar**. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis - SC, Brasil, 2014.

SANJUAN, L.B.T. **Desenvolvimento de um rastreador solar para placas fotovoltaicas**. v. 1, Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2013.

SANTOS, N. **Arduino – Introdução e recursos avançados**. 2009. Dissertação – Departamento de Engenheiros Navais – Ramo de armas e electrónica, 2009. Disponível em: <<http://www.isegi.unl.pt/docentes/vlobo/>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

SONNENENERGIE, D.G.F. **German Solar Energy Society. Planning and Installing Photovoltaic Systems**. Alemanha: Routledge, 2013.

TREVELIN, F.C. **Estudo comparativo entre métodos de rastreamento solar aplicados a sistemas fotovoltaicos**. São Carlos, 2014.

WARREN, J.; ADAMS, J.; MOLLE, H. **Arduino Robotics**. 1ª ed. New York: TIA, 2011.

WIRING. **Wiring**, 2017. Disponível em: <<http://wiring.org.co/>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

WIRTH, H. **Recent Facts about Photovoltaics in Germany**. Fraunhofer ISE, 2020. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/recent-facts-about-pv-in-germany.html>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CÓDIGO DO RASTREADOR SOLAR

```
#include <EEPROM.h>
```

```
#include <Servo.h>
```

```
Servo horizontal;
```

```
int servoh = 05; //define valor inicial do servo
```

```
int servohmax = 170; //limite maximo de movimento
```

```
int servohmin = 05; //limite minimo de movimento
```

```
Servo vertical;
```

```
int servov = 20; // Valor inicial
```

```
int servovmax = 150; //limite maximo de movimento
```

```
int servovmin = 13; //limite minimo de movimento
```

```
int ldrec = 2; // Ligação das portas analogicas dos LDR
```

```
int ldrdc= 0;
```

```
int ldreb = 3;
```

```
int ldrdb = 1;
```

```
unsigned long timer = 30000 ;// temporizador começa com 30 segundos, mas depois incrementa a cada hora funcionando como timer
```

```
const int pinoSensor = A4; //Pino sensor DC
```

```
int cont = 0;
```

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  horizontal.attach(8); //servo horizontal porta digital 8
  vertical.attach(9); // servo vertical porta digital 9

  horizontal.write(05); // Posição inicial
  vertical.write(20);

  pinMode(pinoSensor, INPUT); //sensor dc como entrada
  delay(2000); //delay de tempo para começar
}

void loop()
{
  int ec = analogRead(ldrec); // superior esquerdo)
  int dc = analogRead(ldrc); // superior direito)
  int eb = analogRead(ldreb); // inferior esquerdo)
  int db = analogRead(ldrdb); // inferior direito)

  int tol = 50; //tolerancia de diferença para não movimentar o servo

  int avt = (ec + dc) / 2; // media dos sensores de cima
  int avd = (eb + db) / 2; // media dos sensores de baixo
  int avl = (ec + eb) / 2; // media sensores do lado esquerdo
  int avr = (dc + db) / 2; // media sensores do lado direito
```

```
int dvert = avt - avd; // Diferença entre sensores de cima e baixo

int dhoriz = avl - avr; // Diferença entre sensores de esquerda e direita

if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // verifica a diferença acima da tolerada entre posições
verticais

{

if (avt > avd)

{

servov = ++servov;

if (servov > servovmax)

{

servov = servovmax;

}

}

else if (avt < avd)

{

servov = --servov;

if (servov < servovmin)

{

servov = servovmin;

}

}

vertical.write(servov);

}
```

if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) // ver1 fica a diferença acima da tolerada entre posições horizontais

```
{
if (av1 > avr)
{
servoh = --servoh;

if (servoh < servohmin)
{
servoh = servohmin;
}
}
else if (av1 < avr)
{
servoh = ++servoh;

if (servoh > servohmax)
{
servoh = servohmax;
}
}
horizontal.write(servoh);
}
```

if((millis()) > timer) //se o tempo (millis) for maior que o timer, entra na condição

```
{
//acrescenta mais tempo

timer += 360000 ;//1 hora em milissegundos

gravador();// função para salvar dados do sensor de tensão
```

```

    fixo();//função para salvar dados referentes ao painel fixo
}

delay(100);

}

void gravador(){//função para gravar dados na memória eeprom

int SDC = analogRead(A4);//SDC recebe valor analógico do Sensor de

Serial.println("gravou cont \n");

byte hiByte = highByte(SDC);

byte loByte = lowByte(SDC);

//Escreve o byte mais aencode SDC na EEPROM no endereço de cont

EEPROM.write(cont, hiByte);

//Escreve o byte mais baixo de SDC na EEPROM em cont+1

EEPROM.write(cont+1, loByte);

//Avança de dois em dois

cont += 2;//pois cada SDC ocupa 2 bytes de da memoria

delay(1000);

}

void fixo(){//função voecada para o painel fixo

horizontal.write(90);// painel fixo para o norte

vertical.write(40);

```

```
delay(2000);//segundos para estabilizar  
gravador();//salvar valor referente ao painel fixo  
vertical.write(servov);//coloca o painel de voeca na úcima posição antes de ir para o fixo  
horizontal.write(servoh);  
}
```


APÊNDICE B – CÓDIGO PARA LEITURA DA MEMÓRIA DO ARDUINO

```

#include <EEPROM.h> // incluir a biblioteca

int cont = 0; //Endereço de escrita da memoria do arduino
int valorsensor; //recebe valor
float valorR1 = 30000.0; // Resistor 1 do sensor
float valorR2 = 7500.0; // resistor 2 do sensor
float Tentrada = 0.0; //variável para armazenar o valor de tensão de entrada do sensor
float tensao = 0.0;
double corrente = 0;
double potencia = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Inicializa o canal de comunicação serial
  Serial.println(" Valor rastreador:\n Tensão V   Potencia W");
}

void loop(){
  byte hiByte = EEPROM.read(cont);
  byte lowByte = EEPROM.read(cont + 1);
  valorsensor = word(hiByte, lowByte); //converte 2 bytes em um unico valor
  Tentrada = (valorsensor * 5.0) / 1024.0; //Calculo da tensao media considerando sensibilidade
  de 5/1023
  tensao = Tentrada / (valorR2/(valorR1+valorR2)); //Valor da tensão em volts
  corrente= tensao / 96; //calculo de corrente usando a resistência 96 Ohm
  potencia = tensao * corrente; //Calculo da potência
  Serial.print(" ");
  Serial.print(tensao,2);
  Serial.print("\t\t");
  Serial.println(potencia);

  delay(500);
  cont = cont + 4; //pula para o enreço intercalado da EEPROM
  //quando terminar de ler os dados de um metodo, inicia-se o outro

  if (cont >= 48) { //Vai até a ultima posição rastreavel
    cont = 2; //recomeça do 2, so para pegar os dados do painel fixo
    Serial.println(" Valor estático:\n Tensão V   Potencia W");
  }
}

```