

# INSTALAÇÃO DO PIRANÔMETRO SOLAR: UM GUIA COMPLETO

Caio Henrique Silva Barbosa (Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA) E-mail: caio.barbosa@alunos.ufersa.edu.br

Romênia Gurgel Vieira (Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA) E-mail: romenia.vieira@ufersa.edu.br

Maria Izabel da Silva Guerra (Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA) E-mail: izabel.guerra@ufersa.edu.br

Magno Medeiros de Araújo (Instituto Federal de Educação Básica Técnica e Tecnológica - IFRN) E-mail: magno.medeiros@ifrn.edu.br

**Resumo:** A medição precisa da irradiância solar desempenha um papel fundamental na maximização da eficiência dos sistemas de aproveitamento da energia solar, sendo fundamental para garantir sua operação otimizada e contribuir para a construção de uma matriz energética mais sustentável. Além de sua aplicação prática, a coleta e análise detalhada desses dados desempenham um importante papel na pesquisa científica relacionada às mudanças climáticas e ao impacto da radiação solar no clima global. No entanto, a falta de recursos financeiros, especialmente em instituições de ensino, representa um desafio significativo, dificultando a realização prática dessas medições e comprometendo a experiência de aprendizado dos alunos e o desenvolvimento de pesquisas na área. Diante dessa realidade, a criação de um sistema de armazenamento de dados em nuvem, utilizando um registrador de baixo custo, torna-se atrativo. Este trabalho desenvolveu um sistema que permite a aquisição de dados em tempo real e o acesso remoto aos dados de irradiância e promove uma abordagem prática de aprendizado para estudantes e profissionais, bem como simplifica a condução de estudos sobre os efeitos da irradiância em sistemas fotovoltaicos, contribuindo assim para o avanço nas pesquisas na área de aproveitamento da energia solar. Após ser instalado, os dados do sistema serão validados realizando um comparativo com o piranômetro Instrutherm MES100, modelo já calibrado e disponível.

**Palavras-chave:** Piranômetro; Irradiância Solar; Datalogger.

## ***STEP-BY-STEP INSTRUCTIONS FOR INSTALLING A SOLAR PYRANOMETER***

**Abstract:** Accurate measurement of solar irradiance plays a fundamental role in maximizing the efficiency of solar energy utilization systems, being essential to ensure their optimized operation and contribute to the construction of a more sustainable energy matrix. In addition to its practical application, the collection and detailed analysis of these data play a key role in scientific research related to climate change and the impact of solar radiation on the global climate. However, the lack of financial resources, especially in educational institutions, represents a significant challenge, making it difficult to practically carry out these measurements and compromising the learning experience of students and the development of research in the field. Faced with this reality, the creation of a cloud data storage system, using a low-cost data logger, becomes attractive. This work developed a system that allows real-time data acquisition and remote access to irradiance data, promoting a practical learning approach for students and professionals, as well as simplifying the conduct of studies on the effects of irradiance on photovoltaic systems, thus contributing to the advancement of research in the field of solar energy utilization. After installation, the system data will be validated by comparing it with the Instrutherm MES100 pyranometer, a model that is already calibrated and available.

**Keywords:** Pyranometer; Solar Irradiance; Datalogger.

### **1. Introdução**

Com o avanço da tecnologia, a demanda global por energia elétrica tem experimentado uma expansão, impulsionada tanto pelo aumento demográfico quanto pela

intensificação das atividades econômicas. Nesse cenário, a transição para fontes de energia renováveis, notadamente a energia solar, não apenas enfrenta o desafio da demanda em crescimento, mas também responde aos imperativos urgentes de ordem ambiental e socioeconômica.

A medição precisa da irradiância solar assume uma grande importância por diversas razões neste contexto em transformação. Esta variável é fundamental para a contínua otimização do desempenho de sistemas de aproveitamento de energia solar, sobretudo na fotovoltaica, garantindo sua eficiência operacional e, por consequência, sua contribuição efetiva para a matriz energética sustentável (TAVARES; GALDINO, 2014). Além de seu papel prático, a coleta e análise desses dados são úteis para a pesquisa científica, permitindo uma compreensão mais profunda e minuciosa das variações sazonais e geográficas da irradiância, essencial para a abordagem de questões relacionadas às mudanças climáticas e à influência solar no clima terrestre.

Tendo em vista, por exemplo, que a irradiância solar é um dos parâmetros fundamentais para que os módulos fotovoltaicos operem em suas máximas condições, fica clara a necessidade da parametrização dessa grandeza a partir de sensores capazes de captar a incidência dos raios solares e converter em números para que possam ser analisados (ALVES et al., 2020).

Entretanto, a limitação financeira nas instituições de ensino representa um desafio significativo devido ao elevado custo dos equipamentos de medição de irradiância. A ausência desses materiais impede a realização prática de medições pelos alunos, comprometendo a assimilação e consolidação dos conhecimentos relacionados ao aproveitamento do recurso solar, bem como limita o avanço de pesquisas relacionadas ao aproveitamento deste parâmetro. Surge, assim, a necessidade da elaboração de sistemas de baixo custo que auxiliem no desenvolvimento prático dessas atividades educacionais, promovendo a acessibilidade e a efetiva aprendizagem no campo da energia solar (SHIBUYA; LEI, 2022).

Como proposto por (ACHLEITNER et al., 2014), o SIPS (*Solar Irradiance Prediction System*) trata-se de um método de monitoramento e aprendizado que a partir de uma rede de sensores sem fio, pode utilizar os dados coletados para realizar previsões sobre o comportamento da curva de irradiância durante os dias.

Diante do exposto, a proposta deste trabalho é a instalação de um piranômetro associado ao desenvolvimento de um sistema de coleta e armazenamento de dados (*datalogger*) em nuvem, sempre priorizando o baixo custo dos equipamentos utilizados. Este sistema desenvolvido servirá como base de dados em pesquisas sobre efeitos da irradiância em Sistemas Fotovoltaicos (SFV). O sistema de aquisição e armazenamento de dados foi desenvolvido a partir da plataforma *Google Sheets* em conjunto com a capacidade de conexão WiFi do microcontrolador ESP32, assim as informações podem ser acessadas de qualquer dispositivo com acesso à planilha.

## 2. Materiais e Métodos

Esta seção explica detalhadamente o funcionamento do sistema proposto neste trabalho, demonstrando todos os componentes necessários bem como procedimentos adotados para se chegar ao objetivo final. A Figura 1 é uma representação dos processos que os dados coletados passam até chegarem ao sistema de armazenamento.

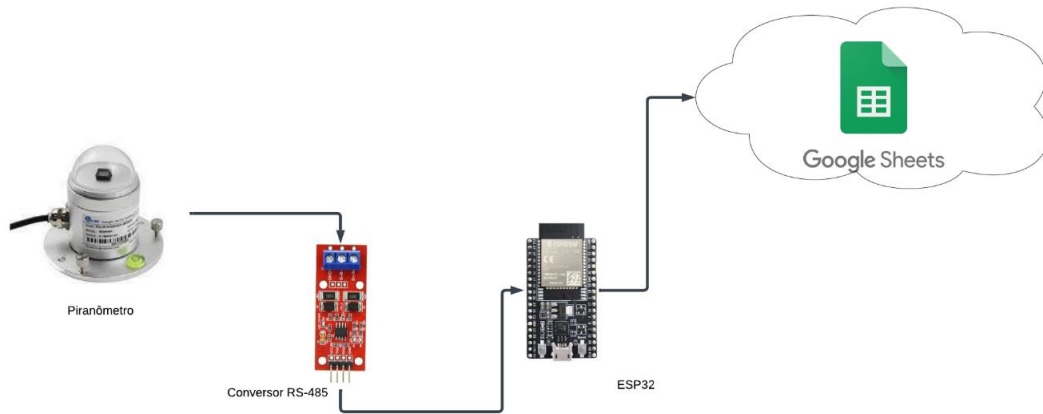


Figura 1 - Diagrama de processos do sistema

Na Figura 1 está exposto de maneira resumida o caminho percorrido pela informação colhida no sensor (piranômetro), que em seguida é traduzida pelo conversor RS485 para um formato de linguagem que o microcontrolador é capaz de entender. Após isso, o microcontrolador ESP32 faz a conversão final de *bytes* de dados para  $W/m^2$  e, por fim, essa informação é armazenada na nuvem representada pelo *Google Sheets*. Cada componente será abordado individualmente nas Seções 2.1, 2.2 e 2.3

### 2.1 Piranômetro e Comunicação RS485

O equipamento utilizado para medição da irradiância solar global foi o modelo SEM228A do fabricante SenTec, que é um piranômetro que utiliza uma fotocélula para realizar as medições, como mostrado na Figura 2. Este equipamento se destaca pelo baixo custo em sua versão sem a central de armazenamento, assim como alta precisão, alcance de medição de até  $1800 W/m^2$  e um tempo de resposta até 10 segundos (SENTEC, 2024)



Figura 2 - Piranômetro SEM228A. [6]

Vale ressaltar ainda que o sensor conta com algumas variações que implicam no modo de transmissão das leituras realizadas, sendo essas: sinal analógico ou através de *bytes* de dados, utilizando o protocolo Padrão RS485, com suas características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros técnicos do piranômetro

<b>Energia da fonte de alimentação</b>	7V~30Vcc (A tensão da fonte de alimentação do modelo com saída de 0-10V só pode ser 24Vcc)	
<b>Método de saída</b>	485 (Protocolo Modbus-RTU- padrão)	
	Saída de corrente	4-20mA
	Saída de tensão	0-5V, 0-10V
<b>Consumo de energia</b>	0,06W(RS485), 0,6W(saída analógica)	

Temperatura de operação	-25°C~60°C
Objeto de medição	Luz solar
Alcance de medição	0~1800W/m <sup>2</sup>
Resolução	1W/m <sup>2</sup>
Tempo de resposta	≤10s
Não linear	≤±3%
Estabilidade anual	≤±3%
Capacidade de carga	Saída de corrente: ≤ 600Ω, saída de tensão: ≤ 250Ω
Comprimento do cabo	60cm customizável

O modelo RS485 foi escolhido, pois, como mostra a Tabela 1, a resolução desse piranômetro já fornece os dados em W/m<sup>2</sup> não havendo necessidade de conversão por meio de fatores de correção.

Desenvolvido para ser um sistema balanceado, o RS485 trata-se de um padrão de transmissão em *bits* por segundo (bps) de dados serial bastante conhecido e utilizado na área industrial por sua capacidade de implementação a longas distâncias e por se adequar bem a ambientes ruidosos. Este padrão é composto por uma comunicação em dois fios:

- Fio A: é o sinal positivo ou não invertido. Os dados transmitidos neste fio são enviados de forma direta, sem inversão de polaridade.
- Fio B: é o sinal negativo ou invertido. Os dados transmitidos neste fio são enviados com a polaridade invertida em relação ao fio A. Isso significa que, se o sinal no fio A estiver em um estado lógico alto (por exemplo, um nível de tensão positivo), o sinal correspondente no fio B estará em um estado lógico baixo (nível de tensão 0V) e vice-versa.

A comunicação diferencial oferecida pelos fios A e B no protocolo RS485 proporciona imunidade a ruídos elétricos e interferências. Ao utilizar esses dois fios em conjunto, o protocolo RS485 consegue transmitir informações a uma maior distância que os modelos com saída analógica e oferecer maior robustez (MAXIM, 2001).

O alcance máximo teórico em RS485 se aproxima dos 1200 m, e sua velocidade de transmissão é por volta de 10 Mbps. No entanto, existe uma relação inversamente proporcional entre o comprimento do cabo e a velocidade da comunicação, conforme descrito em (SOLTERO; ZHANG; COCKRILL, 2002) e (PERRIN, 1999).

## 2.2 Circuito com ESP32

O ESP32 é um microcontrolador do fabricante ESPRESSIF, que recentemente vem ganhando muita visibilidade em sistemas de automação devido sua alta capacidade de armazenamento, velocidade de processamento e principalmente na versatilidade de sua aplicação (MAIER; SHARP; VAGAPOV, 2017).

Diversos usos já comprovam a eficiência e praticidade de utilizar a compatibilidade *WiFi* deste microcontrolador, como mostrado por (ALLAFI; IQBAL, 2017) ao utilizá-lo para monitorar módulos fotovoltaicos através de sensores de tensão e corrente, ao mesmo tempo em que enviava os dados para a rede. É através da presença deste microcontrolador que uma estrutura de protocolo *Modbus* pode ser montada.

O protocolo *Modbus*, trata-se de um método para transmissão de dados numéricos, sejam esses dados sinais analógicos ou digitais. Uma estrutura *Modbus* é composta por

dispositivos definidos por duas funções: mestre e escravo. Escravo se refere ao componente alocado no ambiente responsável por realizar o sensoriamento de forma contínua, ele não possui autonomia para relatar situações sem que seja requisitado. Já o mestre é a peça principal do sistema, ele realizará uma consulta no dispositivo escravo, solicitando que os dados absorvidos lhe sejam enviados para dar prosseguimento à rotina de processos (THOMAS, 2008).

De acordo com (SURYAWANSHI et al., 2019), o ESP32 já possui compatibilidade comprovada com uma interface *Modbus* e boa performance de integração com a Internet das Coisas (*IoT*). A partir disso desempenhará o papel de mestre sendo o responsável pelo processamento das medidas de irradiância solar feitas pelo piranômetro (escravo). A Figura 3 demonstra o circuito montado para que a comunicação seja realizada.

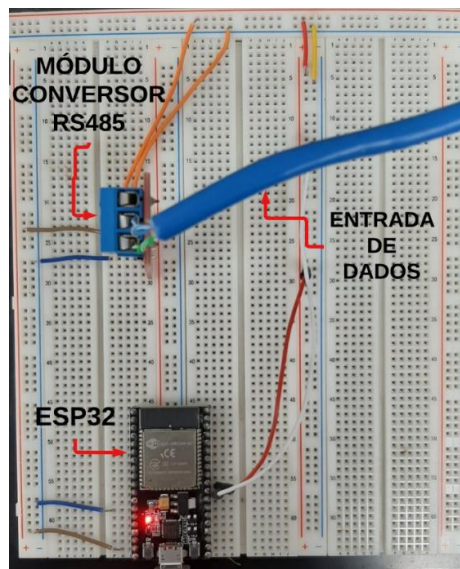


Figura 3 - Circuito do *datalogger*

Como apresentado na Figura 3, o circuito responsável por todo o processo de tradução e envio dos dados para a nuvem é compacto. No cabo de entrada de dados estão presentes os fios A e B do piranômetro, que chegam a central de processamento e se conectam ao módulo RS485, que transmite a informação ao ESP32. A Figura 4 demonstra como as conexões que devem ser feitas no circuito eletrônico.

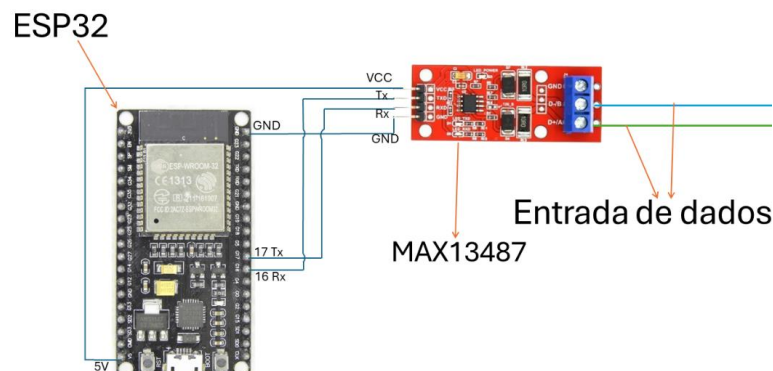


Figura 4 - Esquemático de conexões do circuito

No esquema apresentado na Figura 4, é possível notar que os pinos Tx e Rx (17 e 16) do ESP32 estão ligados aos pinos Rx e Tx do MAX13487, respectivamente. Essa ligação é necessária para que haja uma comunicação bidirecional entre o microcontrolador e o

sensor, já que o mestre precisa tanto enviar quanto receber informações.

O ESP32, é projetado para comunicação serial TTL (*Transistor-Transistor Logic Level*), onde o nível lógico baixo é representado por tensões de 0V a 0,8V e o nível lógico alto de 2V a 3,3V ou 5V. No entanto, o protocolo RS485 adota uma comunicação diferencial, onde os dados são transmitidos em relação à diferença de potencial entre duas linhas (A e B). Como o ESP32 e o RS485 têm requisitos de comunicação incompatíveis, é necessário o MAX13487, um módulo conversor RS485 para TTL.

O módulo MAX13487 atua como uma ponte entre o ESP32 e os dispositivos que usam RS485, traduzindo os níveis de tensão, adaptando a comunicação diferencial e garantindo uma transmissão de dados eficiente. Esses módulos contêm um chip que faz a conversão adequada para que o ESP32 possa compreender e processar os sinais RS485 corretamente.

Em seu modelo com entrada micro-USB o ESP32 possui antena interna, que é utilizada para amplificar a qualidade do sinal WiFi. Além disso o ESP32 possui um pino de saída 5V que elimina a necessidade de utilizar um módulo específico de tensão inferior.

### 2.3 Google Sheets

O *software* desenvolvido pelo Google<sup>®</sup> surge como um repositório digital dinâmico para os dados capturados pelo piranômetro. A API (Interface de Programação de Aplicações) do *Google Sheets* desempenha um papel fundamental nessa integração. Ao fornecer uma interface de programação acessível, ela permite que haja a conexão direta à planilha online, possibilitando a transmissão de dados do piranômetro em tempo real, ampliando significativamente as possibilidades de coleta e análise de dados.

A plataforma tem sido bastante utilizada em projetos IoT com ESP32, atuando como central de armazenamento para registro de dados colhidos por sensores.

A programação envolvida no ambiente da API tem uma funcionalidade mais simples que o código implementado no ESP32. Utilizando o fuso horário local, ao receber a atualização de que uma informação foi registrada na coluna de destino da planilha, o algoritmo identifica a data em que o dado foi enviado e grava na célula ao lado, transformando-se assim em um algoritmo completamente automatizado no qual não há interferência do usuário depois que o processo tem início.

Além disso, a visualização de dados é aprimorada com a capacidade de criar gráficos e relatórios diretamente na interface do *Google Sheets*. Isso facilita a interpretação dos resultados, tornando o processo de análise mais acessível e eficiente.

### 2.4 Lógica de programação

A lógica de programação desempenha um papel fundamental na implementação bem-sucedida de um sistema *Modbus* no ESP32, constituindo a base que dita o comportamento e a funcionalidade do projeto. A capacidade de interpretar e processar os dados de maneira coerente e em conformidade com os padrões *Modbus* é essencial para assegurar a comunicação entre os componentes do sistema. Desta forma, ao se iniciar a programação deste modelo é preciso incluir as bibliotecas necessárias: WiFi, HTTPClient e HardwareSerial.

As bibliotecas WiFi e HTTPClient desempenham papéis fundamentais no algoritmo implementado para o ESP32. A biblioteca WiFi é essencial para estabelecer e gerenciar conexões sem fio, permitindo que o ESP32 se conecte a redes WiFi específicas, além de

configurar o dispositivo para se conectar à rede WiFi utilizando as credenciais previamente definidas (TEIXEIRA, 2019). Já a biblioteca HTTPClient é crucial para a comunicação com servidores web. Ela possibilita que o microcontrolador realize solicitações HTTP, essenciais para enviar dados coletados pelo sensor piranômetro a um servidor remoto (MCKERRELL; MCEWEN, 2015).

De forma mais simples, a biblioteca HardwareSerial serve para declarar de maneira rápida quais das portas serial do ESP32 serão utilizadas como de transmissão e recepção de dados.

A combinação dessas bibliotecas permite que o ESP32 opere de forma integrada em um ambiente *Modbus*, onde a comunicação eficiente é crucial. A capacidade de conectar-se à redes *WiFi*, enviar dados para servidores remotos e receber comandos ou atualizações online torna-se uma base sólida para projetos de IoT.

O ESP32 possui compatibilidade com o ambiente de desenvolvimento Arduino® *Integrated Development Environment (IDE)*, o que facilita a implementação do algoritmo devido à simplicidade da plataforma de programação. Quando se trata de comunicação serial, o microcontrolador oferece várias configurações padrão de portas UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) para transmissão e recepção de dados, que geralmente consiste em duas linhas de comunicação: Transmissão (Tx) e Recepção (Rx).

No contexto de estabelecer uma conexão *Modbus*, é preciso escolher as portas apropriadas para constituir o circuito. Vale ressaltar que o ESP32 possui algumas portas UART previamente programadas, mostradas na Figura 5.

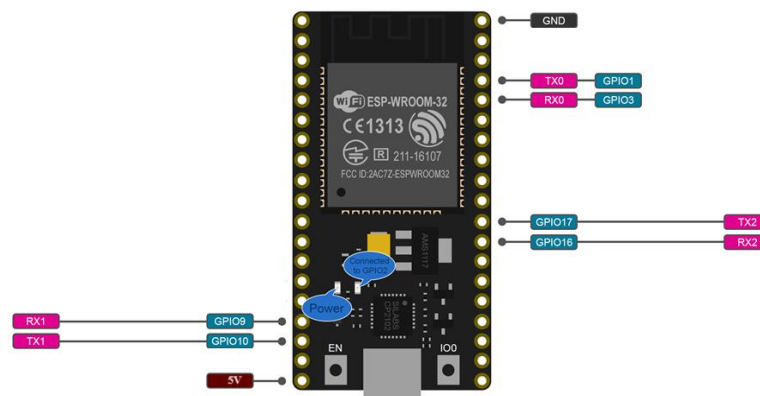


Figura 5 - Pinos UART do ESP32

Conforme a Figura 5 apresenta, são três entradas do tipo UART disponibilizadas, além da possibilidade de configurar outros pinos para que também possam essa capacidade de comunicação. Neste projeto foram tomadas como base as entradas UART padrões do ESP32, sendo os pinos 17 e 16, correspondentes a Tx2 e Rx2, respectivamente.

Na Figura 6 é apresentado, em forma de diagrama de blocos, o algoritmo do sistema responsável por todo o processo de aquisição e transmissão de dados. Seguindo o fluxograma, o código deve começar inicializando os módulos presentes no circuito, ao passo que, realiza a conexão com a rede *WiFi*, caso essa conexão não seja estabelecida após um período pré-determinado o dispositivo reinicia.

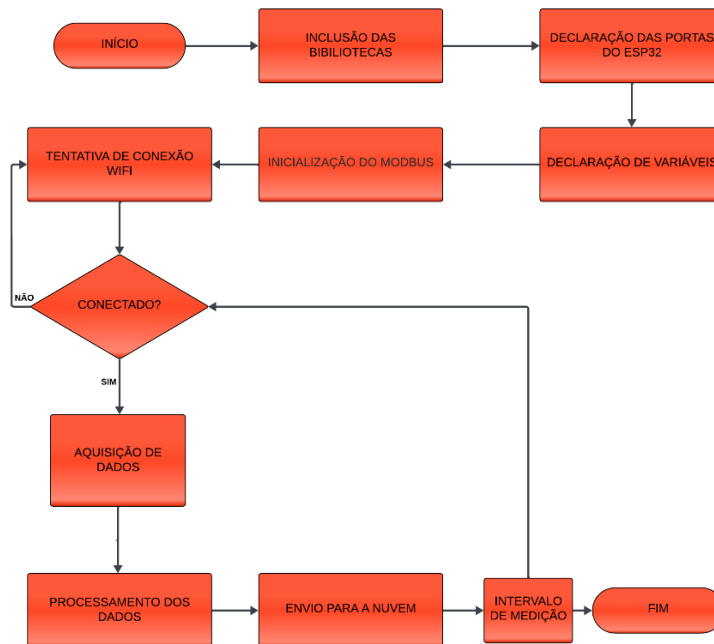


Figura 6 - Fluxograma do código

A Figura 6 descreve o passo a passo para a montagem do sistema. Ele possui como procedimentos iniciais a inicialização das bibliotecas e portas do microcontrolador que serão utilizadas. Logo em seguida é necessário fazer a declaração de todas as variáveis a serem utilizadas no algoritmo, sendo elas: limites de tempo para a conexão com a Internet, endereço da planilha a ser usada, certificado de autenticação para garantir uma conexão segura com o servidor e, principalmente, uma variável para armazenar o endereço que o ESP32 deve acessar para recolher os dados de irradiância do piranômetro. A Tabela 2 corresponde ao endereço fornecido pelo fabricante.

Tabela 2 - Endereço de Irradiância solar no piranômetro

Quadro de Consulta: Código da função do valor lido 03/04					
Código de endereço	Código de função	Endereço inicial	Comprimento de dados	CRC baixo	CRC alto
0x01	0x03	0x00 0x00	0x00 0x01	0x84	0x0A

A Tabela 2 trata-se de uma representação dividida em bytes, no formato hexadecimal, em que cada um representa uma função de acesso ao valor de irradiância. Com todas as variáveis criadas, a tentativa de conexão com a rede é feita pelo ESP32, este loop de conexão só é liberado caso a tentativa seja bem-sucedida ou se o limite de tempo for atingido, assim o processo se reinicia.

Ao estabelecer conectividade, o algoritmo segue para a aquisição de dados do piranômetro, este processo é feito a partir de um outro loop que percorrerá todos os 8 bytes presentes no endereço, armazenando em um vetor as respostas retornadas pelas solicitações. Partindo para o processamento, onde é convertida a informação em formato hexadecimal para  $W/m^2$ , basta organizar os bytes mais significativos reconstruindo em um único valor inteiro, essa é uma reconstrução padrão para protocolos de comunicação via bytes como CAN (*Controller Area Network*) e RS485. Com auxílio da Tabela 2, determina-se os valores mais significativos como sendo 03/04, ou seja, '0x00 0x00', portanto o código da irradiância no piranômetro é '0000'. A reconstrução desse valor é feita a partir de um deslocamento do byte mais



significativo para a primeira posição e ao declarar esse resultado como uma variável inteira, será expresso o valor final no sistema decimal de medida, em  $W/m^2$ .

Por fim, através da biblioteca *HTTPClient* e suas funções implementadas, o valor de irradiância traduzido pelo ESP32 é escrito em um URL (*Uniform Resource Locator*), ou seja, um endereço eletrônico que, quando enviado para a rede, faz o registro da irradiância no *Google Sheets*. Com o fim dos passos apresentados, o algoritmo deve iniciar o tempo de espera determinado pelo programador, até que possa realizar a próxima medição.

### **2.5 Instalação do Piranômetro**

Para garantir a precisão e eficácia do piranômetro, é fundamental instalar o dispositivo em um local aberto, livre de qualquer obstrução que possa interferir na recepção direta da luz solar. Construções, árvores ou outras estruturas que projetam sombra sobre o piranômetro podem comprometer significativamente sua capacidade de monitorar com precisão a irradiância solar.

A instalação em um ambiente propenso a bloqueios de luz solar não apenas prejudicará a capacidade do sensor de capturar dados precisos, mas também distorcerá as leituras, levando a conclusões errôneas sobre os padrões de radiação solar na área em questão. Portanto, é essencial selecionar cuidadosamente o local de instalação do piranômetro, garantindo que ele esteja exposto a uma quantidade máxima e consistente de luz solar ao longo do dia.

A Figura 7 mostra o local provisório selecionado para a instalação do piranômetro utilizado nos testes do presente trabalho.



Figura 7 - Fluxograma do código

Como mostra a Figura 7, apesar de não se tratar de um local alto, ao analisar o trajeto da luz solar foi observado que nesta posição o sensor está sendo diretamente atingido pela luz solar desde o amanhecer até o anoitecer, captando os valores de irradiância solar a cada 15 minutos.

Juntamente ao piranômetro, nota-se que foi anexada uma caixa de comando a prova d'água para abrigar as conexões do sensor, é nela que está alocada a fonte de força do sensor.

### 3. Resultados e Discussões

Com base nos procedimentos apresentados, esta seção volta-se para a análise dos resultados obtidos a partir do desenvolvimento do projeto.

Com a fixação do piranômetro e ligação de todos os componentes necessários ao funcionamento do circuito, observa-se que se trata de um sistema compacto, com poucos componentes, o que reduz o número de possíveis falhas e otimiza o tempo de manutenção, uma vez que é composto apenas por ligações elétricas simples.

O sistema de aquisição de irradiância solar tem se destacado pela sua eficiência, registrando os dados menos de 1 minuto após a leitura. Essa rápida capacidade de captura e processamento de dados é essencial em diversas aplicações que exigem respostas em tempo real, como previsão meteorológica, monitoramento de sistemas de energia solar e controle de processos industriais sensíveis à luz solar.

Com relação ao sistema de armazenamento, o uso do *Google Sheets* foi de grande valor, sua extensa disponibilidade de memória aliada à simplicidade na montagem de fórmulas o transformou também em um sistema de análise de dados. A

Ao serem realizadas comparações entre o dispositivo instalado e o piranômetro Instrutherm MES100 as leituras realizadas se confirmavam, acrescentando um grau maior de confiabilidade aos resultados. Essa capacidade de fornecer leituras precisas e confiáveis é fundamental para a tomada de decisões informadas em uma variedade de setores. A Tabela 3, mostra a comparação entre resultados coletados.

Tabela 3 - Comparação entre Instrutherm MES100 e SEM228A

Data	Instrutherm MES100	SEM228A
11/04/2024 14:40	630	655
11/04/2024 15:15	649	619
11/04/2024 15:30	550	543
11/04/2024 15:45	480	451
11/04/2024 16:00	360	376
16/04/2024 14:05	701	682
16/04/2024 14:20	115	109
17/04/2024 11:22	1422	1410
17/04/2024 11:38	1423	1411
17/04/2024 13:23	1120	1115

Ao analisar os dois sensores, nota-se uma pequena variação nos resultados, chegando a no máximo 7,1% de diferença entre as medições. Uma possível causa para esse desvio, pode ter sido a diferença na calibração dos dois sensores, porém, é visto que os valores possuem coerência ao serem comparados entre si, não havendo uma disparidade entre as leituras.

Na Figura 8, são apresentados os gráficos gerados pelo sistema nos dias 04/02/2024 e 05/02/2024, os quais ilustram a variação da irradiância solar ao longo do dia. Essa representação visual dos dados permite identificar tendências, padrões e anomalias com facilidade, possibilitando uma análise mais detalhada e informada. Além disso, os gráficos podem ser personalizados de acordo com as necessidades do usuário, tornando a ferramenta ainda mais versátil e adaptável a diferentes contextos de análise.

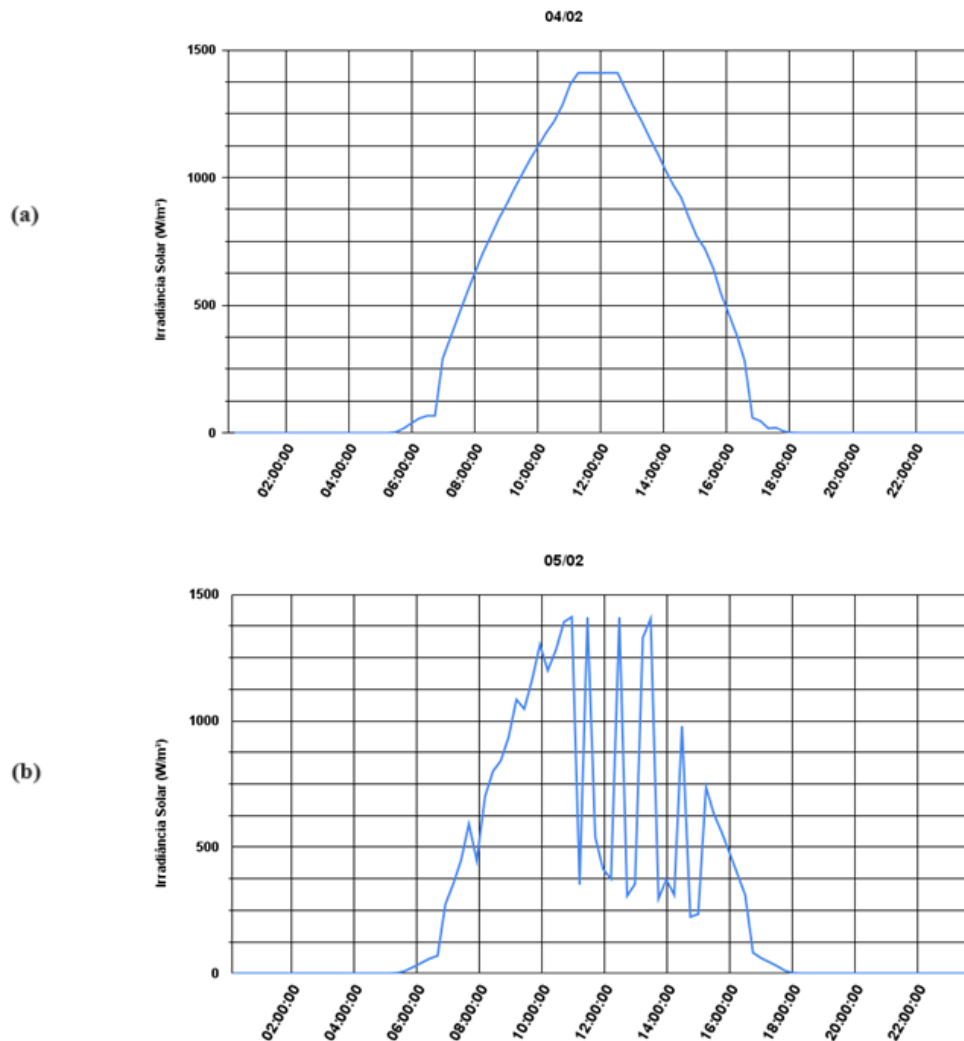


Figura 8 - Curvas de irradiância solar (a) dia 04/02/2024 e (b) dia 05/02/2024

Ao analisar a Figura 8 (a) é possível notar linearidade no desenvolvimento da curva, isso se dá devido ao baixo sombreamento causado pelas nuvens que passam e encobrem o Sol. Na Figura 8 (b), essa característica está bem mais evidenciada no dia 05, pode-se observar que neste dia houve uma alta incidência de nuvens sombreando o local. A depender da aplicação que será feita na área abrangida pelo sensor, um alto índice de sombreamento pode ser um fator prejudicial, por exemplo, uma planta de módulos fotovoltaicos tem sua produção reduzida com baixos índices de luz solar. Assim, este é um importante fator que comprova a importância da realização desta pesquisa.

#### 4. Conclusão

Finalizadas todas as etapas do desenvolvimento do *datalogger*, desde a seleção dos materiais necessários até a instalação do sensor in loco, seguido pela análise das leituras realizadas, conclui-se que o objetivo principal de criar um armazenamento em nuvem funcional para os dados de irradiância solar foi cumprido. Além da funcionalidade, é dado destaque ao sistema pela sua precisão, compacidade e velocidade na transmissão de dados.

Com a realização deste trabalho é esperado que haja um aumento no número de pesquisas que necessitam de leituras de irradiância solar, sendo este um fator

determinante na realização de diversas atividades e que com a finalização deste projeto, o alto custo dos materiais não seja mais um obstáculo.

Para futuros trabalhos, a fim de aperfeiçoar o projeto pode ser desenvolvida uma plataforma própria para armazenamento. A criação de um novo ambiente é adequada, pois pode ser criada uma interface que se adeque aos dados que o usuário está guardando, a partir disso o sistema pode ser expandido e utilizado para armazenar mais de uma variável.

### Referências

ACHLEITNER, S. et al. **SIPS: Solar Irradiance Prediction System**. IPSN-14 Proceedings of the 13th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks. **Anais...** Em: 2014 13TH ACM/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION PROCESSING IN SENSOR NETWORKS (IPSN). Berlin: IEEE, abr. 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6846755/>>. Acesso em: 20 mar. 2024

ALLAFI, I.; IQBAL, T. **Design and implementation of a low cost web server using ESP32 for real-time photovoltaic system monitoring**. 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC). **Anais...** Em: 2017 IEEE ELECTRICAL POWER AND ENERGY CONFERENCE (EPEC). Saskatoon, SK: IEEE, out. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8286184/>>. Acesso em: 27 fev. 2024

ALVES, P. V. et al. Uso do Arduíno como um sistema alternativo para medir radiação solar global e práticas educacionais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. e20190304, 2020.

K, F. **ESP32: Detalhes internos e pinagem**. , 6 mar. 2018. Disponível em: <<https://www.fernandok.com/2018/03/esp32-detalhes-internos-e-pinagem.html>>. Acesso em: 9 abr. 2024

MAIER, A.; SHARP, A.; VAGAPOV, Y. **Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things**. 2017 Internet Technologies and Applications (ITA). **Anais...** Em: 2017 INTERNET TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS (ITA). Wrexham: IEEE, set. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8101926/>>. Acesso em: 2 fev. 2024

MAXIM, I. (ED.). **Guidelines for Proper Wiring of an RS-485 (TIA/EIA-485-A) Network**. , nov. 2001. Disponível em: <<https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN763.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2024

MCKERRELL, J.; MCEWEN, A. **GitHub Biblioteca HTTPCLIENT**. , 3 jul. 2015. Disponível em: <<https://github.com/amcewen/HttpClient>>. Acesso em: 23 fev. 2024

PERRIN, B. *The Art and Science of RS-485*. 1999.

SENTEC. **SEM228A Photoelectric Solar Radiation Transmitter Sensor**. , 2024. Disponível em: <<https://cdsentec.com/product/sem228a-photoelectric-solar-radiation-transmitter-sensor/>>. Acesso em: 2 fev. 2024

SHIBUYA, M.; LEI, G. **DESENVOLVIMENTO DE MEDIDOR DE IRRADIÂNCIA E IRRADIAÇÃO SOLAR DE BAIXO CUSTO PARA FINS DIDÁTICOS**. . Em: ANAIS CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR 2022. 16 ago. 2022. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1083>>. Acesso em: 1 fev. 2024

SOLTERO, M.; ZHANG, J.; COCKRILL, C. 422 and 485 Standards Overview and System Configurations. jun. 2002.

SURYAWANSHI, S. et al. IOT GATEWAY DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR MODBUS PROTOCOL. **International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology**, v. 04, n. 06, p. 103–107, 1 dez. 2019.

TAVARES, J. P.; GALDINO, M. A. L. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. [s.l.: s.n.].

TEIXEIRA, G. **ESP32 WIFI: COMUNICAÇÃO COM A INTERNET**. , 20 maio 2019. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/esp32-wifi-comunicacao-com-a-internet/>>. Acesso em: 5 mar. 2024

THOMAS, G. *Introduction to Modbus Serial and Modbus TCP*. v. 09, n. 05, 2008.