



## MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS BASEADO EM INTERNET DAS COISAS

V.L. Valadão\*<sup>1</sup>, W.M. Leão<sup>1</sup>, S.B. Silva<sup>1</sup>, O.C.N. Souto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NupSOL - Instituto Federal de Goiás - Itumbiara

**Resumo** - A utilização da internet para a integração dos mais diversos serviços em torno da eletrônica é conhecida como Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), esse movimento tem sido tratado como uma revolução tecnológica que vem reinventando a maneira como eletrônicos se comunicam e são pensados. A consolidação desse movimento depende dos esforços coletivos das mais diversas áreas da engenharia na criação de plataformas que confirmem a viabilidade dessa ideia. Nesse trabalho, a *IoT* estará presente na medição da energia elétrica gerada em painéis fotovoltaicos. Os dados obtidos serão transmitidos via *Wi-Fi* e posteriormente serão armazenados em um banco de dados disponível na internet, a fim de que esses dados sejam utilizados para as mais diversas aplicações. O medidor utilizará o chip ESP8266 que possui a capacidade de comunicação sem fio. Além disso, o mesmo possuirá como ferramenta de interação, um *Bot* para fins de visualização e monitoramento dos dados obtidos, utilizando o app para dispositivos móveis *Telegram*.

**Palavras-Chave** - medidor de energia elétrica sem fio; painel fotovoltaico; internet das coisas; *telegram bot*;

### ELECTRICAL ENERGY METER IN PHOTOVOLTAIC PANELS BASED ON THE INTERNET OF THINGS

**Abstract** - The use of the internet to integrate the most diverse services around electronics is known as Internet of Things (IoT), this movement has been treated as a technological revolution that has been reinventing the way electronic communicate and are thought. The consolidation of this movement depends on the collective efforts of the most diverse areas of engineering in the creation of platforms that confirm the viability of this idea. In this work, IoT will be present in the measurement of the electric energy generated in photovoltaic panels. The data obtained will be transmitted via Wi-Fi and later will be stored in a database available on the Internet, so that this data is used for the most diverse applications. The meter will use the ESP 8266 chip that has wireless capability. In addition, it will have as interaction tool, a BOT for the purpose of visualization and monitoring of the obtained data, using a mobile app called Telegram.

**Keywords** - wireless electrical energy meter; photovoltaic panel; internet of things; telegram bot;

### I. INTRODUÇÃO

A energia elétrica vem se tornando cada vez mais fundamental em nossa sociedade, o que tem causado crescimento contínuo de sua demanda. Atualmente, no mundo, a maior parcela da geração de energia elétrica se encontra em fontes não renováveis como: o petróleo, carvão e gás natural. Acredita-se que a dependência por esses recursos nos levará a uma crise energética [1]. É nesse momento que a utilização de fontes renováveis e limpas se mostram como o nosso futuro. Uma dessas fontes é a utilização de células fotovoltaicas para a geração de energia elétrica a partir da energia provida do Sol. Painéis fotovoltaicos são cada vez mais utilizados e a sua implementação tem se tornado cada vez mais barata [2]. O Brasil é um país com um dos melhores potenciais de irradiação solar, o que torna a opção pela utilização destes uma escolha bem viável [3].

A maioria das informações relevantes, para a quantificação da geração de energia elétrica através das placas fotovoltaicas, são obtidas através da obtenção da corrente e tensão produzida pela mesma. Porém a eficiência da geração é influenciada pela irradiação solar que incide na placa e a temperatura da mesma. Os distúrbios dessas variáveis são produtos de condições climáticas e o posicionamento da placa (local e apontamento). A maioria dos fabricantes de placas fotovoltaicas apenas consideram condições normais de temperatura e iluminação para a estipulação do desempenho das mesmas. Em aplicações reais, as placas fotovoltaicas quase sempre estão em condições não normais de operação [4].

Atualmente, o monitoramento da mesma é tido como crucial para a otimização da performance do sistema fotovoltaico [5]. A supervisão da constante geração de energia em de painéis fotovoltaicos irá permitir uma real constatação do desempenho do sistema considerando todos os distúrbios possíveis. Assim, é possível analisar esses dados e utilizar com maior eficiência o sistema fotovoltaico em questão, prevendo possíveis manutenções, gerenciando a distribuição da energia gerada e até mesmo otimizando o arranjo das placas fotovoltaicas [6].

A maioria dos sistemas de monitoramento só medem os valores totais da geração de um determinado grupo de placas fotovoltaicas, mas para que se tenha um melhor estudo sobre

\*lunarti@gmail.com

elas é preciso medi-las separadamente [7]. Para isso, esse trabalho propõe a elaboração de um medidor que tenha comunicação sem fio *Wi-Fi* acoplado a cada placa fotovoltaica.

Todos os medidores estarão em uma mesma rede enviando as informações coletadas para um servidor, isso implica em uma maior robustez para o sistema já que a perda de comunicação por um painel não interromperá todo sistema de comunicação. Uma vez armazenadas as informações em um banco de dados, isto resultará em um *big data*, para futuras utilizações em pesquisas.

Além disso, a utilização da proposta Internet das Coisas, torna possível o sistema de monitoramento possuir alta adaptabilidade, já que a adição de novos instrumentos de medida é de simples implementação. Um sistema de monitoramento tem de ser escalável e fácil de usar [7]. Também é tido que utilização da transmissão de dados sem a utilização de fios e a robustez que o sistema possui fará com que a proposta do trabalho esteja bem situada no conceito de *IoT* [8].

## II. PROJETO

O foco principal desse trabalho é a elaboração de um sistema embarcado que meça a geração de energia elétrica de cada painel fotovoltaico. Além disso, essa estrutura possibilitará que a informação obtida seja difundida em tempo real via comunicação sem fio (*broadcast*) para o armazenamento em um servidor dedicado e para usuários (professores ou alunos).

O projeto também contará com um *Bot*, diminutivo de *Robot*, que consiste em uma aplicação de determinado software para simular ações humanas repetidas vezes, da mesma forma que faria um robô. Nesse caso, o *Bot* utilizará o *software Telegram*, concorrente do *Whatsapp*, um aplicativo para smartphones e computadores.

A utilização do módulo ESP8266 *NodeMCU* que basicamente é um microprocessador com *Wi-Fi* embutido é justificado pelo o mesmo apresentar uma significativa evolução ao movimento *IoT* devido ao seu baixo custo e alta gama de aplicações, o qual pode ser gravado com a *IDE (Integrated Development Environment)* do Arduino, outra grande vantagem já que o mesmo já é uma ferramenta consolidada.

Para a tecnologia de informação, foi definido que a utilização da ferramenta *MySQL*, um sistema de gerenciamento de banco de dados, permitirá agregar diversas possíveis expansões ao funcionamento do aparelho, como a comunicação com um website para exibição dos dados armazenados e também a fácil introdução de novas variáveis a serem armazenadas pelo medidor.

Inicialmente, esse projeto prevê a medição das grandezas de corrente e tensão, para o conhecimento da potência ativa gerada pelo painel. Dessa maneira, podemos observar os principais aspectos da geração de um painel fotovoltaico, além disso é necessário o registro da data de cada informação. Portanto, os seguintes elementos serão constituintes do projeto: o chip ESP8266 *NodeMCU*, o Circuito Integrado (CI) MCP3208, o sensor de corrente ACS712, o gerenciador de banco de dados *MySQL*, o CI *Real Time Clock* DS3231 e o *Telegram Bot*.

### A. Chip ESP8266 e o Circuito Integrado MCP3208

O ESP8266 é um chip *SoC (system on a chip)* revolucionário quando se trata de embarcados, seu baixo custo e capacidade de comunicação *Wi-Fi* faz com que diversas aplicações se tornem mais simples e economicamente viáveis. Por ser um chip bastante completo, requer a adição de poucos componentes. A seguir, podemos ver mais características do mesmo:

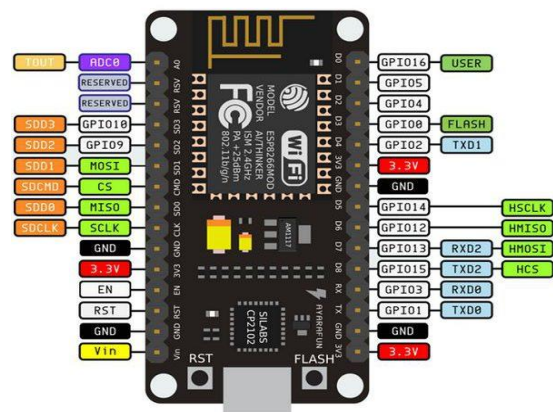
- Tem conectores GPIO, barramentos I2C, SPI, UART, entrada ADC, saída PWM e sensor interno de temperatura;
- CPU que opera em 80MHz, com possibilidade de operar em 160MHz;
- Arquitetura RISC de 32 bits;
- 32KBytes de RAM para instruções;
- 96KBytes de RAM para dados;
- 64KBytes de ROM para boot;
- Possui uma memória Flash SPI Winbond W25Q40BVNIG de 512KBytes;

Figura 1: ESP8266.



Para facilitar o uso desse chip, vários fabricantes criaram módulos e placas de desenvolvimento. Essas placas variam em tamanho, número de pinos ou tipo de conexão com computadores. A placa de desenvolvimento a ser utilizada neste trabalho é a *NodeMCU*, os motivos que levaram a esta escolha foram: facilidade durante o processo de gravação e a regulação dos níveis de tensão já que o nível lógico do ESP8266 é 3,3V, o que se faz necessário a adequação de sinais para a comunicação com outros circuitos de diferentes níveis lógicos, como Arduino e seus *shields*. Outro empecilho encontrado foi a existência de apenas uma porta analógica ADC como pode ser visto a seguir nas conexões da placa *NodeMCU*:

Figura 2: NodeMCU.



O projeto irá utilizar dois sensores analógicos, a medição de corrente e tensão, logo para este caso foi necessário a utilização de um CI chamado MCP3208 o qual é um conversor

ADC de 10 bits e 8 canais, com comunicação SPI. Conferindo assim a adição de 8 entradas analógicas ao projeto. A seguir podemos visualizar a encapsulação e as características do mesmo:

- Resolução de 12 bits;
- 8 Canais de entrada;
- Entrada analógicas simples ou de par diferencial;
- Comunicação SPI;
- 100ksps máxima taxa de amostragem operando com  $V_{DD} = 5V$ ;
- 50ksps máxima taxa de amostragem operando com  $V_{DD} = 2.7V$ ;
- Faixa de temperatura de operação:  $-40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$ .

Figura 3: MCP3208.

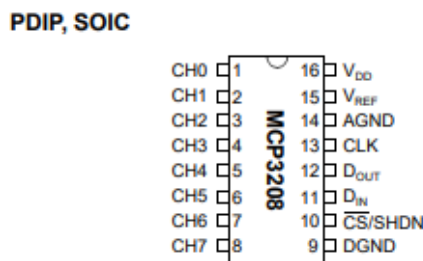


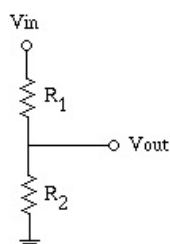
Tabela 1: Função dos Pinos do CI MCP3208

Nome	Função
VDD	+2.7V – 5.5V Fonte de Alimentação
DGND	Terra Digital
AGND	Terra Analógico
CH0-CH7	Entradas Analógicas
CLK	Serial Clock
Din	Entrada Serial Dados
Dout	Saída Serial Dados
CS/SHDN	Chip Select/Shutdown
Vref	Tensão de Referência

### B. Medidas de tensão e corrente

Para a medição da tensão produzida pelo painel fotovoltaico será utilizado um circuito Divisor de Tensões, que converte valores de tensão de 0 a 100 volts em valores na faixa de 0 a 5 volts. Para a aplicação é recomendado que R2 tenha o valor de 100k ohms para atender as limitações da entrada analógica.

Figura 4: Circuito divisor de tensão.



Onde:

$V_{out}$  – Ligado ao ADC

$V_{in}$  – Tensão da Placa Fotovoltaica

Agora, para medir a corrente produzida pelo painel fotovoltaico é necessário a utilização de um CI baseado em Efeito Hall para medições de corrente, denominado ACS712. A seguir, as características do mesmo:

- 80 kHz bandwidth;
- Erro total de 1.5% em temperatura ambiente igual a  $25^{\circ}C$ ;
- $1.2 m\Omega$  resistência interna de condução
- 2.1 kVRMS isolamento mínima;
- 66 a 185 mV/A de sensibilidade;
- Leituras DC ou AC;
- Quase zero histerese magnética.

Figura 5: Shield ACS712.



Ambas as medidas são realizadas através da média de 1.000 amostragens feitas em laço de repetição.

### C. Gerenciador de banco de dados MySQL

O banco de dados será gerenciado pela ferramenta *MySQL* que utiliza a linguagem *SQL (Structured Query Language)* para suas operações. Atualmente ele se encontra como uma das ferramentas mais utilizadas em todo mundo em sua área de aplicação. Entre os usuários do banco de dados *MySQL* estão: NASA, Friendster, Banco Bradesco, Dataprev, HP, Nokia, Sony, Lufthansa, U.S. Army, U.S. Federal Reserve Bank, Associated Press, Alcatel, Slashdot, Cisco Systems, Google, entre outros [9].

Para a utilização do banco de dados *MySQL* será utilizado o *XAMPP*, um *software* que consiste em um servidor de determinados serviços como: *Apache*, *MySQL*, *PHP* e *Perl*. O mesmo é um grande facilitador para a criação de servidores web local para fins de teste.

### D. Shield Real Time Clock DS3231

O último eletrônico adotado é o *RTC DS3231*, um CI capaz de fornecer informações de data e hora para fins de backup em redundância. O mesmo possui pilha independente a fim de melhorar a confiabilidade das informações.

Figura 6: Shield RTC DS3231.



- Precisão de  $\pm 2\text{ppm}$  de  $0^\circ\text{C}$  a  $+40^\circ\text{C}$ ;
- Precisão de  $\pm 3.5\text{ppm}$  de  $-40^\circ\text{C}$  a  $+85^\circ\text{C}$ ;
- Sensor de temperatura digital:  $\pm 3^\circ\text{C}$  de precisão;
- Rápida (400kHz) Interface I2C de comunicação;
- Faixa de temperatura de operação: Comercial ( $0^\circ\text{C}$  até  $+70^\circ\text{C}$ ) e industrial ( $-40^\circ\text{C}$  até  $+85^\circ\text{C}$ ).

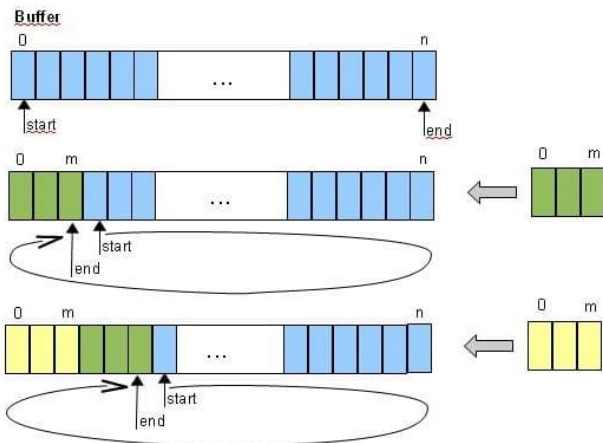
### E. Estratégias e Fluxograma

Por fim, foi desenvolvido o código a ser utilizado, que possui um sistema de armazenamento de médias em *buffer* circular para diminuir as perdas de informações que a transmissão de dados que o método escolhido possui, devido a possíveis falhas de conexão à rede sem fio. A partir do fluxograma definido, na Figura 9, o módulo ESP8266 *NodeMCU* envia requisições *HTTP* que é interpretado de uma página *PHP*, realizando comandos *SQL* na rede *Wireless* para o que servidor armazene os dados no banco de dados *MySQL*. Os pacotes de dados que são inseridos nesse *buffer* serão ordenados pela ordem chegada, de forma que a retirada é feita nessa mesma ordem.

Durante o algoritmo foi utilizado a ferramenta de interrupções por *timer*, para assegurar intervalos fixos de amostragem. Os *timers* definidos para a realização das médias foi de 1 minuto, ou seja, a cada 1 minuto o medidor realiza a média de cerca de 8 a 10 amostragens, mínimo intervalo de tempo em que o processador consegue realizar os cálculos em períodos fixos, obtido de maneira empírica. Estas amostragens foram obtidas através da média de 1.000 medições. Sendo assim a cada 1 minuto, o medidor teve a capacidade de realizar de 8.000 a 10.000 medições para variável a ser medida, no caso, corrente e tensão. No total, de 16.000 a 20.000 medições em um intervalo de 1 minuto.

Sobre a utilização do *buffer* circular, sua vantagem está no ponto em que virtualmente não ocorre *overflow* (estouro) da área de dados reservada para depositar as variáveis, pois caso se encontre o fim da área de dados, ele automaticamente aponta para o começo dessa mesma área e sobrescreve o conteúdo mais antigo [10]. A figura a seguir demonstra como funciona de forma intuitiva a lógica do *buffer* circular utilizado.

Figura 7: *Buffer* Circular



### F. Telegram Bot

Por fim, temos a elaboração de um *Bot* utilizando a ferramenta *Telegram*, este *Bot* terá a capacidade de responder mensagens de texto enviadas pelo *Telegram*, um software de *chat online* similar ao *Whatsapp*, aplicativo (app) já consolidado no mercado, possibilitando uma interação com medidor. O *Bot* foi desenvolvido em *Python*, o código utiliza consultas *SQL* diretamente no banco de dados para o seu funcionamento. Inicialmente, foi estabelecido as seguintes funções para o *Bot*: *\status*, *\day*, *\month*. Quando enviado o texto '*\status*' para o contato do *Bot* ele responderá com os níveis de bateria, horário presente no *RTC* e as últimas leituras dos sensores instalados no medidor.

Quando enviado '*\day*', o *Bot* enviará o quantitativo da energia elétrica gerada no último dia pelo painel e por fim quando enviado '*\month*' será retornado à produção dos últimos 30 dias. Futuramente, será estudado uma maneira de que o *Bot* analise os dados captados pelos sensores ao longo de um dia ou mês e saiba avaliar criticamente a produção do painel fotovoltaico e envie esta análise diariamente ao usuário, concluindo se a produção foi boa, ruim ou moderada de acordo com um retrospecto de produção da mesma, e também, identificando os possíveis problemas associados a geração de acordo com a curva desenhada pelo monitoramento da produção ao longo do dia.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os códigos e diagramas desenvolvidos podem ser encontrados no seguinte endereço: <https://github.com/lunarti/medi-doriotpibiti>. A ferramenta de *Bot*, ainda não é disponibilizada a público por não possuir interface para larga escala de usuários. O projeto se encontra em fase de prototipagem e o próximo objeto é a alimentação do sistema desenvolvido com dados reais obtidos pela sua implementação. A alimentação do sistema atualmente é feita pela entrada micro USB da placa *nodeMCU*.

Como previamente estabelecido pelo projeto temos a seguir uma prévia do funcionamento do *Telegram Bot*:

Figura 8: Funcionamento *Telegram Bot*.



Figura 9: Fluxograma do Medidor.

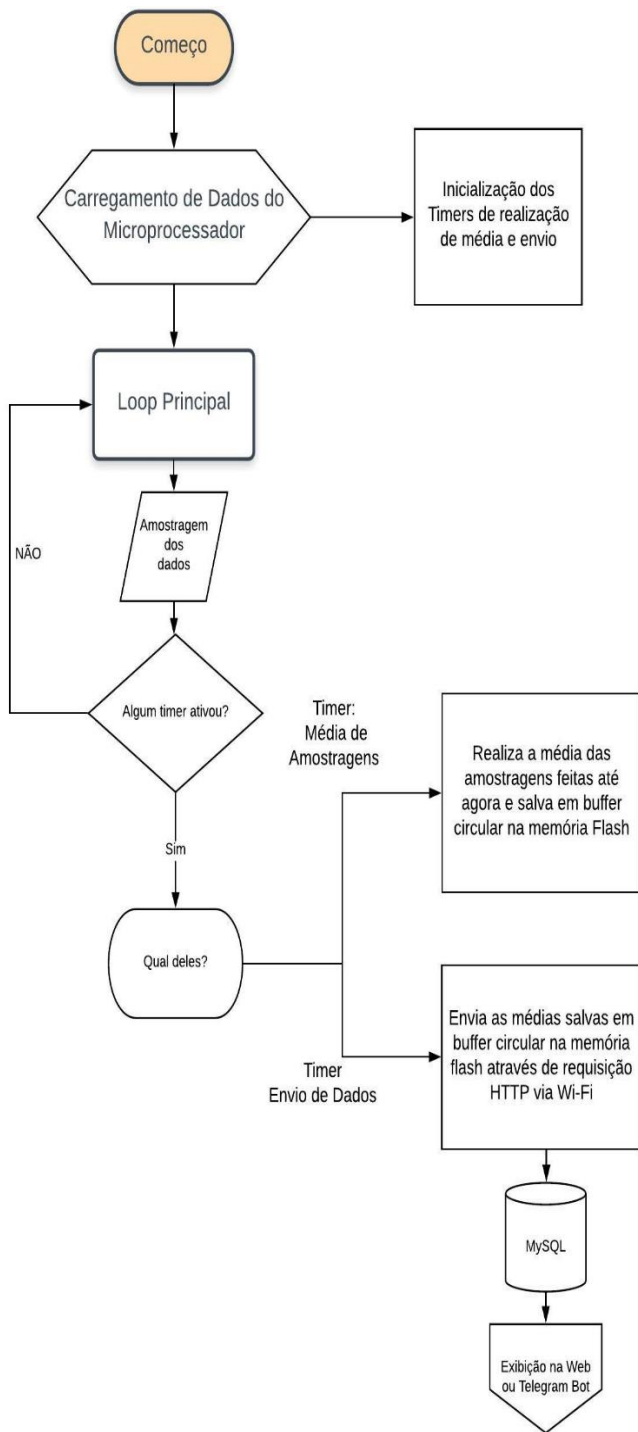


Figura 10: Exibição Web Grandezas x Tempo.

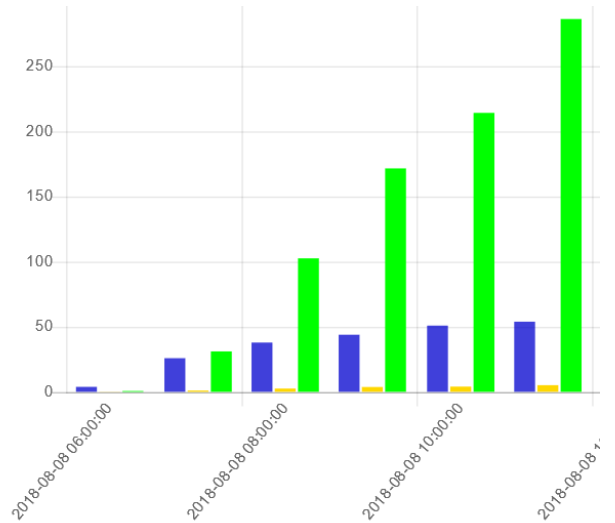
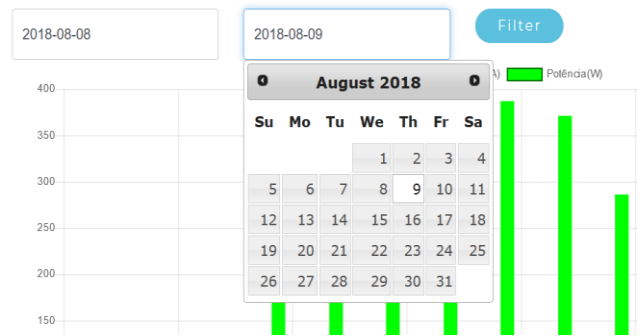
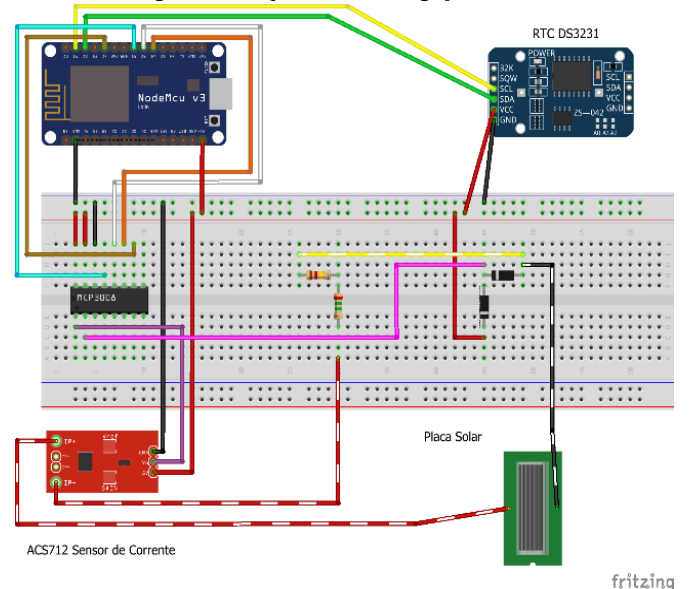


Figura 11: Exibição Web Seleção do Intervalo de Tempo.



A página desenvolvida pode ser acessada através do endereço: <http://nupsol.eco.br/page19.php>.

Figura 12: Esquemático de Ligações Elétricas.



O medidor desenvolvido possui uma certa flexibilidade para adições de novas ferramentas como a medição de novas grandezas ou funcionalidades de visualização e análise, ex: visualização local e não dependente do acesso à Internet. Também é notável o seu elevado grau de acessibilidade devido a sua disponibilidade na Internet.

Para a exibição em website foi desenvolvida páginas *PHP* que utilizam os recursos de *HTML* e *JavaScript*. Os gráficos a serem desenhados por tal aplicação, possuem em seu eixo X os valores de data, e em seu eixo Y, os valores que as variáveis a serem exibidas atingem. A seguir, podemos conferir as funcionalidades disponíveis para este tipo de consulta:

Figura 13: Detalhes Ligação NodeMCU.

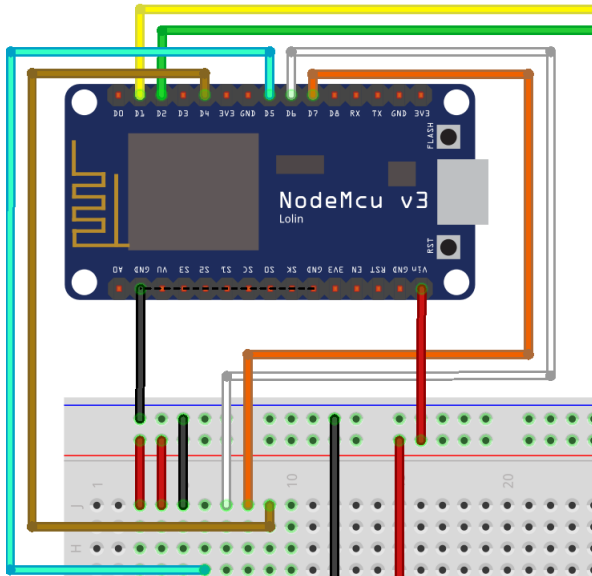
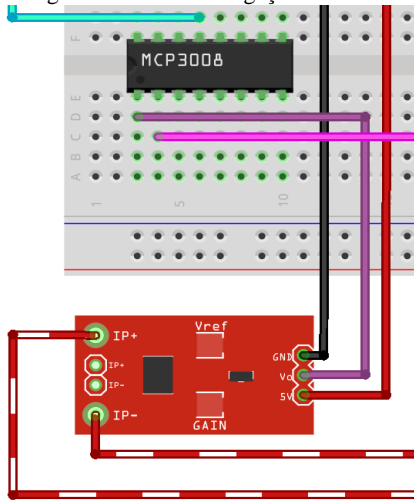
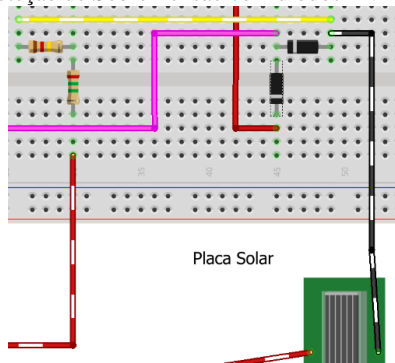


Figura 14: Detalhes Ligação ACS712.



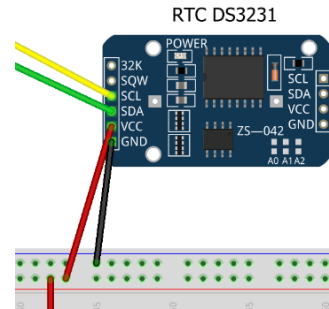
ACS712 Sensor de Corrente

Figura 15: Detalhes Ligação Placa Solar e Divisor de Tensões com proteção de Sobre Tensão com diodos 1N4148.



A necessidade de medir a grandeza de tensão elétrica leva a intrusão ao circuito elétrico da placa fotovoltaica, o que faz o eletrônico desenvolvido se tornar suscetível a resultados inesperados como Sobre Tensão e possíveis defeitos.

Figura 16: Detalhes Ligação RTC.



#### IV. REFERÊNCIAS

- [1] GOLUBOVIC, Edin; SABANOVIC, Asif; ÜSTÜNDAĞ, Bariş Can. Internet of things inspired photovoltaic emulator design for smart grid applications. In: *Smart Grid Congress and Fair (ICSG), 2015 3rd International Istanbul*. IEEE, 2015. p. 1-6.
- [2] ADHYA, Soham, et al. An IoT based smart solar photovoltaic remote monitoring and control unit. In: *Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC), 2016 2nd International Conference on*. IEEE, 2016. p. 432-436.
- [3] ROSA, Carmen Brum; SILUK, Julio Cezar Mairesse; MICHELS, Leandro. Proposal of the Instrument for Measuring Innovation in the Generation Photovoltaics. *IEEE Latin America Transactions*, 2016, 14.11: 4534-4539.
- [4] MEEKHUN, Dariga, et al. An automated and economic system for measuring of the current-voltage characteristics of photovoltaic cells and modules. In: *Sustainable Energy Technologies, 2008. ICSET 2008. IEEE International Conference on*. IEEE, 2008. p. 144-148.
- [5] FREEMAN, Janine, et al. Using measured plane-of-array data directly in photovoltaic modeling: Methodology and validation. In: *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2016 IEEE 43rd*. IEEE, 2016. p. 2653-2656.
- [6] STIFTER, Matthias; KATHAN, Johannes. Sun Power City—Innovative measures to increase the demand coverage with photovoltaics. In: *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES*. IEEE, 2010. p. 1-6.
- [7] KANG, Mi-Seon; KANG, HyunWoo; CHOI, Eun-Chang. Monitoring technology available for measuring multiple-photovoltaic panel arrays. In: *TENCON Spring Conference, 2013 IEEE*. IEEE, 2013. p. 460-464.
- [8] SMART, George, et al. Energy harvesting for the Internet-of-Things: Measurements and probability models. In: *Telcommunications (ICT), 2016 23rd International Conference on*. IEEE, 2016. p. 1-6.
- [9] Wikipédia (2016) MySQL. Acedido em 8 de Agosto de 2018, em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/MySQL>
- [10] Embarcados (2016). Buffer circular para Sistemas Embarcados. Acedido em 8 de Agosto de 2018, em: <https://www.embarcados.com.br/buffer-circular-para-sistemas-embarcados/>