

# SISTEMA DE AQUISIÇÃO PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO DE DADOS EM SERVIDOR REMOTO UTILIZANDO PLATAFORMAS OPEN SOURCE RASPBERRY PI E ARDUINO

José Ilton de Oliveira Filho – ilton104@hotmail.com

Wilk Maia Coelho – wilkmaia@gmail.com

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Engenharia Elétrica

**Resumo.** Este trabalho consiste em um protótipo de um sistema de aquisição de dados interligado via rede sem fio para armazenamento de dados em servidor remoto. Neste estudo, são apresentadas a placa de aquisição e o princípio de funcionamento de todo o sistema desenvolvido, desde a medição até o armazenamento dos dados de um painel fotovoltaico em um servidor remoto. A utilização de um servidor remoto conectado à internet implica na possibilidade de análise, manipulação e controle dos dados em questão de qualquer lugar do mundo, com as configurações necessárias.

**Palavras-chave:** Painel Fotovoltaico, Aquisição, Servidor Remoto.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui um grande potencial de energia solar durante todo o ano, por ser um país localizado, em sua maior parte, na região intertropical (Tiba et al., 2000; Colle e Pereira, 1997). Com a utilização da energia solar, haveria benefícios a longo prazo, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em situações de estiagem, diminuindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo as emissões de gases poluentes na atmosfera, como estabelecido na Conferência de Kyoto (Martins et al., 2004).

Segundo Ranhotigamage e Mukhopadhyay (2011), há uma necessidade crescente do monitoramento do comportamento dos painéis fotovoltaicos. O entendimento dos diferentes fatores e das condições de luz são importantes para se extrair a máxima potência de um painel ou de uma matriz de painéis. Katsuya, Shigeyasu, e Go (2006) juntamente com Phelps, Lo e Michael (2004), afirmam que isto pode ser conseguido traçando as características I-V de painéis ou matrizes de painéis sob diferentes condições atmosféricas. Diversos trabalhos foram realizados para a medição da curva I-V-P, através de distintos tipos de sistemas de aquisição de dados e, em seguida, foram usados para controlar o ponto máximo de potência para assim ter-se um maior aproveitamento dos painéis (Griesbach, 1996).

A larga escala de integração dos recursos renováveis necessita de uma minuciosa análise dos seus impactos no sistema de geração elétrico. Um dos principais problemas relacionados a esses tipos de recursos é a estabilidade do sistema elétrico, devido às imprevisíveis variações dos recursos renováveis (Pérez-Arriaga, 2011). A saída dos geradores fotovoltaicos mostra variações determinísticas devido aos movimentos do sol, bem como imprevisíveis, devido às condições climáticas (Mills et al., 2009). Devido a isso, a estabilidade de um sistema fotovoltaico requer gravações de seus dados sobre grandes períodos (Petrescu, Lupu e Azzouzi, 2013).

Existem no mercado inúmeros sistemas de aquisição de dados e, na última década, houve o surgimento de vários trabalhos voltados a baratear e melhorar a eficiência desses sistemas. A maioria dos atualmente existentes utiliza conexão física para transferência de dados, além de que, em quase todos os casos, um computador é utilizado para fazer os cálculos ou gerenciar o armazenamento dos dados pertinentes, como gráficos e dados processados. Os microprocessadores, usados nesses sistemas, são usados apenas para a obtenção dos valores analógicos e convertidos para dados digitais. Parashar e Dhankhar (2014) propõem, em seu trabalho, o uso de uma rede sem fio, reduzindo significativamente o custo de comunicação de um sistema de aquisição em uma área geográfica pequeno. Em um trabalho recente, Y.L. Soon, K.B. Gan, & M. Abdullah (2015) propõem a substituição de um computador comum por um Raspberry Pi em sistema de aquisição de dados SID, levando a um barateamento e maior acessibilidade dos dados.

Este trabalho traz a proposta de apresentar um sistema viável e operacional para aquisição, armazenamento, processamento e controle de dados, sem a necessidade de um computador externo para processamento de dados e com toda a comunicação feita de forma sem fio.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Princípio de operação

Para este trabalho utilizou-se duas plataformas de desenvolvimento *open source*, as plataformas Arduino e Raspberry Pi. A plataforma Arduino é projetada com um microcontrolador que pode ser programado em linguagem

C++ com auxílio de bibliotecas próprias, possuindo uma rica biblioteca de exemplos de programas com funcionalidades de placa, disponíveis para download online (Arduino, 2015). As portas analógicas dessa plataforma são configuradas para aquisição de leituras instantâneas dos valores de tensão presentes nas mesmas. O microcontrolador (uC) Atmega328P, fabricado pela Atmel, é o responsável pelo processamento executado na placa Arduino.

O Atmega328P é considerado um uC de alto desempenho, tendo baixo consumo, com uma corrente de trabalho em torno de 0,2mA. Ele possui 1KB de memória EEPROM, 2KB de SRAM, seis canais PWM, oito canais digitais e seis canais analógicos; sua tensão de operação é de 1.8 a 5.5volts, o clock pode ser de 0 à 20MHz e possui uma serial universal USART e interface SPI (Atmel, 2009; Mota et al, 2011).

Como servidor, utilizou-se o Raspberry Pi, um computador de baixo custo baseado em processador de arquitetura ARM, do tamanho de um cartão de crédito, que se conecta a um monitor ou TV e usa teclado e mouse comuns. É um pequeno dispositivo que permite pessoas de todas as idades explorarem a computação e aprender como programar em linguagens como Scratch e Python. Com ele, você é capaz de fazer tudo o que se espera de um desktop, desde navegar na internet, reproduzir vídeos em alta definição a criar planilhas, documentos e jogar jogos (Raspberry Foundation, 2015).

Utilizando o Arduino, elaborou-se um sistema de aquisição de dados de uma série de sensores acoplados aos painéis fotovoltaicos. Após a aquisição dos dados, os dados são, então, enviados por um transmissor RF ao servidor. A Fig. 1 mostra esse sistema:

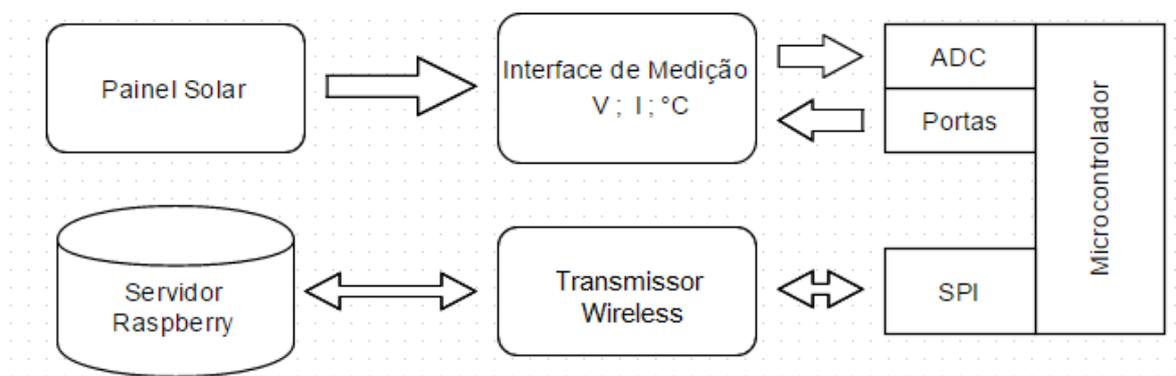


Figura 1- Topologia do Sistema.

## 2.2 Detalhes da implementação do sistema

A aquisição de dados enfocou 3 variáveis do sistema: a temperatura, a corrente e a tensão. Para aquisição da tensão, utilizou-se um divisor de tensão, projetado com um fator de 1/6 entre o nível captado, enviado ao microcontrolador, e a saída do painel fotovoltaico. Para a medição de corrente, utilizou-se um resistor de potência em série com a carga do sistema e se mediu o nível de tensão sobre ele. A corrente foi, então, calculada de acordo com a Lei de Ohm. Empregando o sensor LM35, um circuito integrado cuja saída é linear e proporcional à temperatura em graus celsius, foi aferida a temperatura do painel. O esquemático da placa de aquisição é mostrado na Fig. 2.

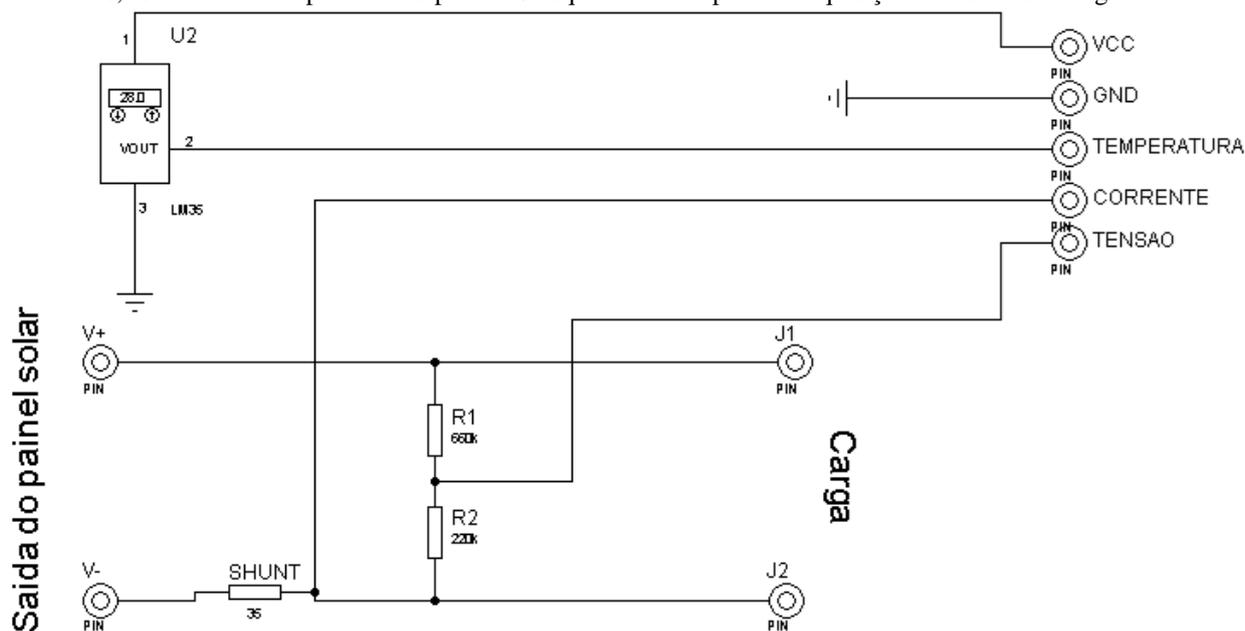


Figura 2- Esquemático da placa de aquisição.

Instalou-se a distribuição Arch Linux ARM 2014.06 num cartão microSD de 2GB, para ser usado em um Raspberry Pi modelo B (rev. 2). As ferramentas de desenvolvimento foram atualizadas e foram instalados os pacotes da linguagem Python e a biblioteca de controle das portas de entrada e saída para essa linguagem e para a linguagem C. Instalou-se, também, a biblioteca RF24, *open source*, para interface entre o sistema operacional e o módulo transreceptor nRF24L01+ (Seow, 2014). Finalmente, instalou-se o pacote apache para implementação de um servidor http, possibilitando acesso remoto aos dados coletados sem necessidade de conhecimentos específicos em ambiente Linux.

Usando o módulo transreceptor nRF24L01+, interfaceado pela conexão SPI do Raspberry, foi implementada uma topologia de rede do tipo estrela, como é mostrada na Fig. 3, baseando-se no modelo DHCP, onde o servidor registra cada novo cliente com um código local para comunicação, análogo ao IP.

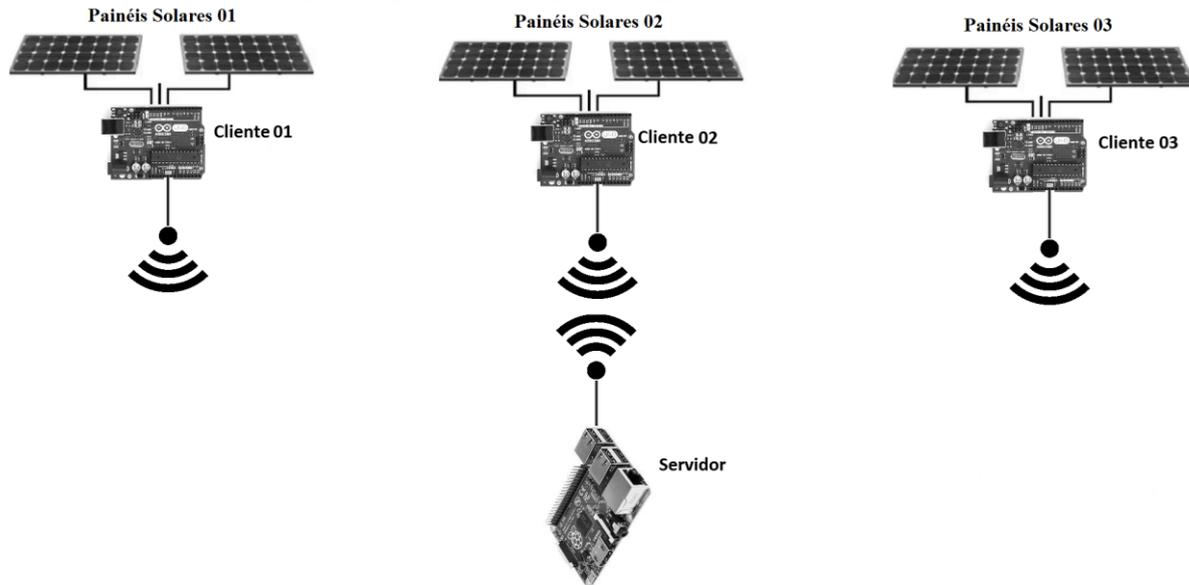


Figura 3- Network do tipo estrela entre Arduino e Raspberry.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema descrito na seção anterior foi implementado e, durante o período de 08:30 às 18:00 de um dia, a cada 5 minutos, dados de tensão, temperatura e corrente foram colhidos pelo sistema de aquisição implementado com o Arduino e enviados ao servidor remoto. O servidor ficou, então, responsável por armazenar esses valores em arquivos de texto para análise posterior.

Gerou-se gráficos dos resultados obtidos utilizando a ferramenta *matplotlib* (Hunter, 2007), em linguagem Python. Esses são expostos na Fig. 5, à medida que a Fig. 4 dá uma visão geral do sistema concebido e utilizado para as aferições.

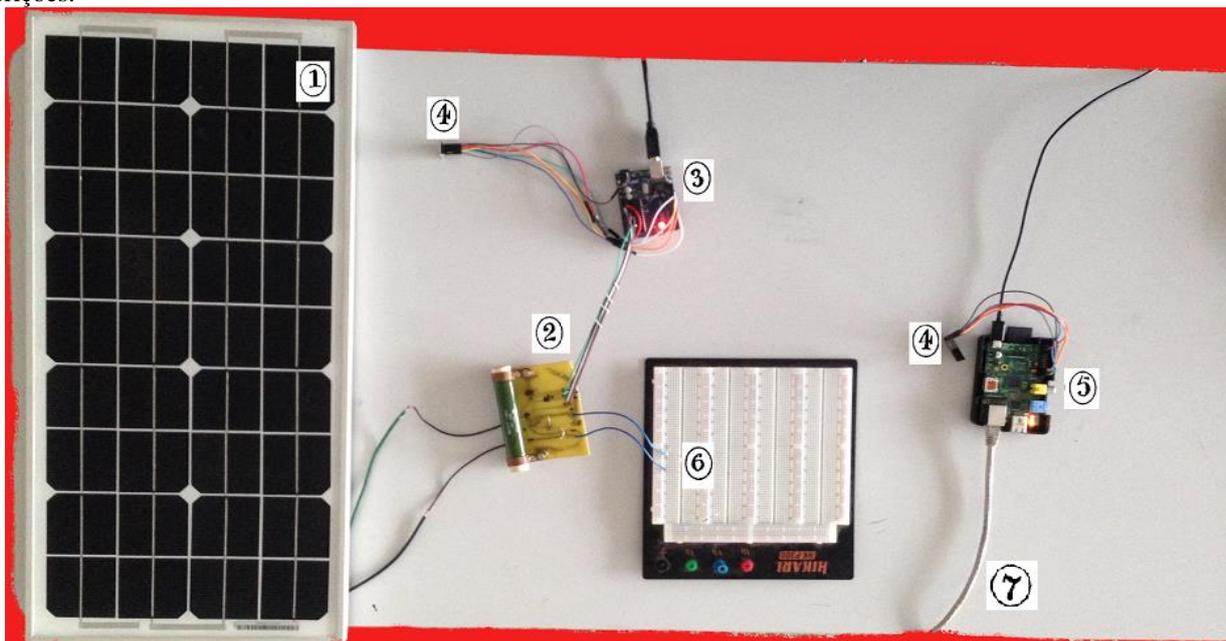


Figura 4 – (1) Painel Fotovoltaico; (2) Módulo de aquisição de dados; (3) Arduino; (4) Módulo de transmissão Wireless 2.4Ghz; (5) Raspberry; (6) Conexão de saída para carga; (7) Cabo RJ45 para conexão com internet.

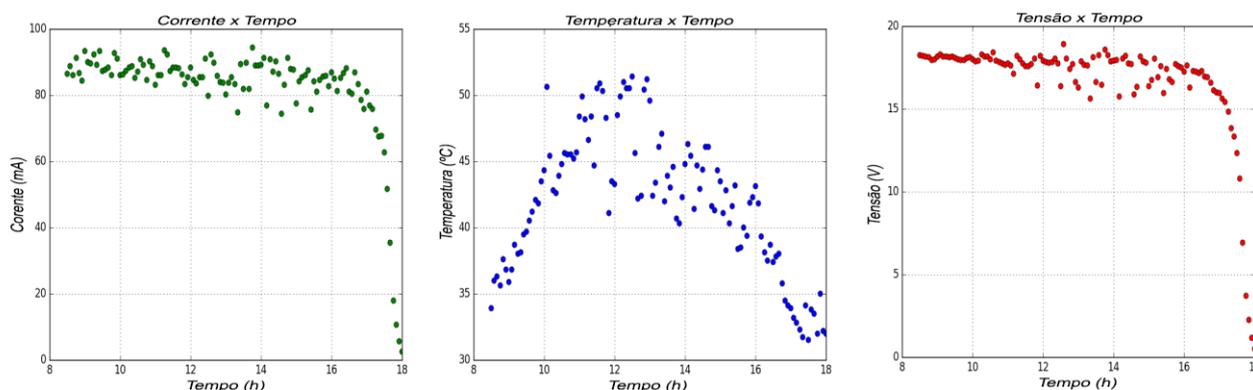


Figura 5 – Dados adquiridos pelo sistema durante um período de 11 horas e 30 minutos. Corrente em verde, temperatura do painel fotovoltaico em azul e tensão em vermelho.

Os resultados obtidos mostram uma consistência nos valores de tensão obtidos pelo painel durante o período de aferição, com alguns pontos destoando levemente dos demais, no período das 11 às 16 horas. Um efeito similar é encontrado no gráfico de corrente. Isso implica numa constância na potência fornecida pelo sistema durante o dia, até cerca de 16:30.

Esperar-se-ia um aumento na potência fornecida pelo painel nos horários de pico de incidência solar. Contudo, nesses horários, há um aumento considerável na temperatura do painel fotovoltaico. Esse fato pode explicar o motivo da queda de rendimento na transformação de energia solar em energia elétrica, visto que um aumento de temperatura tem efeito negativo nesse processo de conversão.

#### 4. CONCLUSÃO

O sistema será usado para criar uma base de dados, em um período a ser determinado, onde sua aquisição irá resultar num levantamento de potência gerada pelo painel em pequenos intervalos de tempo, entre 5 à 10 segundos. Onde estes dados são necessários para estudar o impacto da variabilidade da energia fotovoltaica e a sua estabilidade nos sistemas de energia. Além disso, esta base de informações irá fornecer dados úteis para os estudos sobre o uso de sistemas de armazenamento de energia para aumentar a compatibilidade das centrais fotovoltaicas com os requisitos do sistema de energia.

Tem-se, no sistema desenvolvido, um barateamento dos sistemas já existentes, uma vez que não se é necessário a utilização de um computador convencional para armazenamento e tratamento dos dados, mas sim um módulo Raspberry Pi. Além do barateamento, nota-se melhoria na infraestrutura de transmissão de dados, através do uso de transmissão sem fio, facilitando a inclusão de novos pontos na rede e de mudança de localização. A aquisição de dados de toda uma matriz de painéis solares se torna possível através da topologia de rede configurada em estrela.

O sistema proposto faz uso de um servidor administrado por um Raspberry Pi, à medida que os sistemas existentes no mercado utilizam um computador mais caro, superdimensionado para as necessidades do projeto. Isso proporciona uma diminuição de custos na implementação do projeto, haja vista o investimento inferior necessário para aquisição de um módulo Raspberry Pi, quando comparado a um computador convencional.

Há, ainda, a possibilidade de se utilizar o servidor central conectado à rede como fonte de dados remota, através da internet. Dessa forma, os dados obtidos pelo sistema de aquisição podem ser salvos em servidores remotos ou acessados à distância; e mesmo alguma técnica de controle remoto, com ação ou supervisão humana, pode ser implementada sem a necessidade da presença física de um técnico junto ao sistema, ideal para regiões de difícil acesso.

#### REFERÊNCIAS

- Arduino (2015). Arduino®. Disponível em: <http://arduino.cc/>. Acesso em: 22/ 07/ 2015.
- ATMEL, 8161D-AVR (2009). MICROCONTROLLER with 4/8/16/32k bytes in-system programmable flash. Disponível em: < <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf> >. Acesso em: 22/05/2015.
- Blasques, L. C. M., Vale, S. B., Pinho, J. T., 2007. Sistema Solar Fotovoltaico para Geração de Eletricidade na Estação Científica Ferreira Penna do Museu Paraense Emílio Goeldi, Caxiuana – Pará, I CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.
- Burger, B., Rüther, R., 2006. Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature, Solar Energy, vol. 80, n. 1, pp. 32-45.
- Colle, S., Pereira, E.B., 1998. Atlas de Irradiação Solar do Brasil. Primeira Versão para Irradiação Global Derivada de Satélite e Validada na Superfície, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Brasília, pp. 58.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.

- Griesbach, C. R., 1996. "Fault-tolerance solar array control using digital signal processing for peak power tracking," in Proc. 31st Intersociety Energy Conversion Eng. Conf., vol. 1, pp. 260–265, DOI:10.1109/IECEC.1996.552881.
- Hunter, J. D., 2007. Matplotlib: A 2D graphics environment. Computing In Science & Engineering, IEEE COMPUTER SOC.
- Katsuya, H., Shigeyasu, H., Go, O., 2006. "Development of a high-speed system measuring a maximum power point of PV modules," in Proc. IEEE 4th World Conf. Record. Photovoltaic Energy Conversion, pp. 2262–2263.
- Martins, F. R., Pereira, E. B., Echer, M. P. S., 2004. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário - o Projeto Swera, Revista Brasileira de Ensino de Física. vol.26 no.2 São Paulo.
- Mills, A. et al., 2009. "Understanding variability and uncertainty of photovoltaics for integration with the electric power system," Research report, Lawrence Berkeley National Laboratory, December 2009.
- Mota, A. A., Mota, L.T.M; Oliveira, V. C.; Trocopio, E. T., 2011. Implementação de Medidor de Energia Elétrica em Plataforma de Hardware Livre Para Estudos de Comportamento de Redes Inteligentes. XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia-COBENGE.
- Oliveski, R. C., 2000. Análise Numérica e Experimental dos Campos de Temperatura e Velocidade em Armazenadores Térmicos, Tese de Doutorado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- Pérez-Arriaga, I. J., 2011. "Managing large scale penetration of intermittent renewables," MIT Energy Initiative Symposium Framework paper, April 20, 2011.
- Petrescu, C., Lupu, C., Tudor, F.S., Azzouzi, M., 2013. Data Acquisition System for Recording of Photovoltaic Panel Power, 2nd International Conference on Systems and Computer Science (ICSCS) Villeneuve d'Ascq, France, August 26-27, 2013.
- Phelps, R., Lo, B., Michael, S., 2004. "Evaluation and testing of the solar cell measurement system onboard the naval postgraduate school satellite NPSAT1," in Proc. 22nd AIAA Int. Commun. Satellite Syst. Conf. Exhibit (ICSSC), Monterey, CA, May 9–12, pp. 1–8.
- Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi. Disponível em <https://www.raspberrypi.org/>. Acesso em: 22/03/2015.
- Seow, S., 2014. Arduino and Raspberry Pi driver/libraries for nRF24L01. Disponível em: < <https://github.com/Stanleyseow/RF24>>. Acesso em: 28/10/2015.
- Tiba, C. et al., 2000. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres, Editora Universitária da UFPE, Recife.

#### ACQUISITION SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC PANELS WITH DATA STORAGE IN REMOTE SERVER PLATFORMS USING OPEN SOURCE AND RASPBERRY PI ARDUINO

**Abstract.** *This paper consists of a prototype of a data acquisition system connected via wireless network for data storage on remote server. In this study are presented the acquisition board and the operating principle of the whole system developed from the measurement data until storage of a photovoltaic panel on a remote server. Using a remote server connected to the Internet implies the possibility of analysis, manipulation and control of such data from anywhere in the world, with the necessary settings.*

**Key words:** *Photovoltaic panel, Acquisition, Remote Server.*