



MONITORAMENTO ON LINE DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA ATRAVÉS DO PROTOCOLO SNMP

Francisco Sérgio Santos¹, Odivaldo José Seraphim², Alexandre Alves Lima Ribeiro³ & William Duarte Bailo⁴

RESUMO: Rede de computadores são elementos fundamentais no processo de comunicação. Esses componentes exigem o acompanhamento constante de suas tarefas e são administrados por sistemas de informações que coletam os dados diariamente, para orientar os analistas de suporte na correção das falhas na infraestrutura: velocidade na transmissão de dados, desempenho de processadores, memórias de trabalho e armazenamento. E a ferramenta utilizada na gestão de recursos de rede de computadores é o protocolo SNMP. As infraestruturas de geração de energia elétrica também são elementos complexos e necessitam de acompanhamento. São utilizados sistemas de informação que disponibilizam dados para os usuários e responsáveis técnicos para avaliarem o funcionamento e corrigir as possíveis falhas: por descargas atmosféricas, falhas de equipamentos, colisão, interrupção do fornecimento de energia elétrica. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento on line para sistema de microgeração fotovoltaica utilizando o protocolo de rede de computadores Single Network Management Protocol (SNMP) para realizar a interface de comunicação com as variáveis de medições elétricas. O desenvolvimento do projeto compõe dois componentes: hardware e software. O software é um sistema Web. Nos componentes de hardware foram utilizados cinco microcontroladores Atmel AVR, (Arduino) todos ligados à sensores e programados para a leitura de geração e consumo de energia elétrica. Todos os experimentos foram realizados na central de microgeração distribuída fotovoltaica (MGD-PV) do Sítio Modelo da fazenda Lageado e no Laboratório de Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Rural, nas Faculdades de Ciências Agrônomicas da UNESP, campus de Botucatu. O laboratório de Energias Renováveis é o Servidor do sistema e as distâncias são muito variáveis entre todos os microcontroladores, de 32 metros a 260 metros e para realizar o processo de coleta dos dados nos diversos pontos e suprir essa distância foi necessário a construção e configuração de uma infraestrutura de comunicação baseada nas tecnologias ZigBee, para conectar os cinco microcontroladores. Os componentes de hardware e de software apresentaram rendimentos satisfatórios no processamento das informações através da interface criada pelo protocolo SNMP na comunicação e nas transmissões dos dados gerados pelos sensores, na configuração e mapeamento os objetos para construção da MIB para serem utilizados nas medições elétricas.

PALAVRAS-CHAVES: Protocolo SNMP, sistemas fotovoltaicos, Arduino, ZigBee.

ON-LINE MONITORING OF A PHOTOVOLTAIC MICROGENERATION SYSTEM THROUGH THE SNMP PROTOCOL

ABSTRACT: Computer networks are fundamental elements in the communication process. Such components demand constant supervision of their tasks and are managed by information systems, which daily collect data to guide support analysts when correcting glitches in the infrastructure, speed of data transmission, performance of processors, working and storage memories. Protocol SNMP is the tool used for managing resources of the computer network. The infrastructures of electric energy generation are also complex elements and require monitoring. Information systems are utilized, which provide data to users and technical professionals, so they can evaluate functioning and correct possible errors, by atmospheric discharges, equipment failures, collision, interruption of the electric power supply. This work aims at developing an online monitoring system for photovoltaic microgeneration using the Single Network Management Protocol (SNMP) to perform the communication interface with the variables of electrical measurements. The project development is composed of two elements: hardware and software. The software to be used on the Web. As to hardware, we used five microcontrollers Atmel AVR, (Arduino) connected to sensors and programmed for reading the production and consumption of electric energy. All experiments were carried out at the Distributed Photovoltaic Microgeneration Central (MGD-PV) on a Model Farm and at the Renewable Energies Laboratory of the Agronomy College at UNESP, in Botucatu. The Renewable Energies Laboratory is the server of the system and the distances among all microcontrollers vary from 32 to 260 meters. Therefore, in order to collect data from several locations and neutralize such distance, we needed to build and configure a communication infrastructure based on ZigBee technologies to connect the five microcontrollers. Hardware and software components showed satisfactory performance at processing information through the interface created by the SNMP protocol regarding communication and transmission of the data generated by sensors as well as on the configuration and mapping objects for the construction of the MIB to be used in electrical measurements.

KEYWORDS: SNMP protocol, photovoltaic systems, Arduino, ZigBee.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia solar ocorre através da conversão da radiação solar global incidente na superfície da Terra pelos equipamentos denominados Sistemas Fotovoltaicos (SF) que convertem a luz em tensão elétrica. Vários países como EUA, China, Alemanha e Brasil têm incorporado essa tecnologia a sua matriz

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo / Unesp FCA. E-mail: fsergio.santos@ifsp.edu.br

² Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências Agrônomicas – Botucatu-SP. E-mail: seraphim@fca.unesp.br

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. E-mail: alexandre.ribeiro@ifsp.edu.br

⁴ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências Agrônomicas – Botucatu-SP. E-mail: bailo@fca.unesp.br

energética na geração de energia elétrica. (KORONOWSKI, 2016; LAURENCE et al., 2015).

A utilização de SF nas unidades consumidoras apresenta um novo paradigma denominado de Geração Distribuída (GD), designação utilizada para o sistema de geração descentralizada de Energia Elétrica através de usinas de pequeno porte integradas à rede ou isoladas, ficando próximo ao consumidor final; com capacidade máxima entre 1 quilowatts à 30 megawatts e não faz parte de um sistema de energia central (ACKERMANN et al, 2007; PURCHALA et al, 2007).

À gestão de recursos de GD são utilizados Sistemas de Informação e microcontroladores: os Sistemas de Informação são programas de computador que executam tarefas relacionadas em um ambiente específico, denominados de Sistema de Apoio à Decisão (SAD), que tem como objetivo auxiliar o usuário na tomada de decisão e contribuir em suas escolhas sem o papel de substituir o julgamento humano, mas fornecer, recuperar dados relevantes para nortear os usuários na resolução de problemas (DUAH; SYAL, 2016).

E os microcontroladores são utilizados em automação e controle de equipamentos que permitem o acompanhamento em tempo real das grandezas numéricas geradas. (GUOZHENG, 2014; NAUMANNA et al., 2014; CAVALIERI; REGALBUTO, 2016).

A união dos SAD e os microcontroladores com os sistemas de GD trazem à luz do conhecimento as redes inteligentes (*Smart grids*), sistema de geração de energia elétrica automatizado que utiliza Tecnologia da Informação e Comunicação com o objetivo de aumentar a sua eficiência operacional (DUSA et al., 2015; CAVALIERI; REGALBUTO, 2016; GUOZHENG, 2014; NAUMANNA et al., 2014).

Os elementos que fornecem o controle, a qualidade da informação e a transferência de dados entre dois equipamentos ligados por meio de um sistema de comunicação são denominados de protocolo (KUROSE et al, 2010). Remanescentes da década de sessenta do século vinte para propiciar a comunicação de dados entre as bases militares de forma segura diante de um estado de guerra declarado. Esse impulso trouxe a evolução de vários protocolos, tais como Transfer Control Protocol – Internet Protocol, X.25, Frame-Relay, IPX/SPX e NetBIOS. Os protocolos DNP3 e o IEC-61850, criados para a gestão de recursos de geração de energia em subestações; quando aplicados nos *Smart Grids*, apresentam deficiências, não conseguindo contemplar todas as especificidades exigidas (GUOZHENG, 2014; CAVALIERI; REGALBUTO, 2016; NAUMANNA et al., 2014).

Com o desenvolvimento dos sistemas de rede de computadores, que permitiram a conexão de vários dispositivos nas empresas, foi criado o protocolo *Single Network Management Protocol* ou simplesmente SNMP com o objetivo de auxiliar o monitoramento dos diversos componentes interligados, sendo amplamente utilizado até a presente data. O SNMP é baseado no modelo cliente/servidor onde o servidor é um software denominado de “Gerente” com a finalidade de gerenciar a

base de dados da rede de computadores instalada; os “Agentes” são softwares instalados nos componentes que precisam ser monitorados e informam ao “Gerente” suas informações locais (objetos gerenciáveis), instalados nos diversos dispositivos de rede tais como placa de rede, roteadores, computadores de usuários, servidores de rede, servidores de comunicação, servidores de banco de dados, concentradores de conexão de rede (BERNAL FILHO, 2014; KUROSE et al., 2013).

O Gerente e Agente utilizam a estrutura de objetos denominada *Management Information Base* (MIB) para a troca de informações. Estas são padronizadas para ser usadas nos diversos dispositivos de rede disponíveis no mercado, cuja estrutura de dados inclua uma forma bem definida para atribuir nomes aos diversos objetos armazenados (BERNAL FILHO, 2014; KUROSE et al., 2013). A MIB é uma base de dados que contém os objetos monitorados e fornecem uma visão abstrata de um dispositivo da rede permitindo operações de leitura (*Read*), e de escrita (*Write*). Esses objetos possuem uma identificação única denominada Object Identification (OID), composta por uma sequência de números (por exemplo: 1.3.6.1.4.1.3.1) (BERNAL FILHO, 2014).

Este trabalho tem o propósito de inserir um conceito de gestão em rede de computadores fornecida pelo protocolo SNMP para a gestão da produção de energia elétrica através de placas fotovoltaicas.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 MATERIAL

O trabalho foi realizado nas dependências do Sítio Modelo nas coordenadas “-22° 51’ 11.22””, “- 48° 25’ 49.20””, da Fazenda Lageado e no Departamento de Engenharia Rural, no laboratório de Energias Renováveis na Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, campus Botucatu.

O projeto Micro Geração Distribuída Fotovoltaica (MGD-PV) é um SF, com potência de 1.536 Wp; as células são do modelo policristalino e direcionada para o norte geográfico com inclinação de 30° conforme recomendado pela literatura consultada (VILLALVA; GAZOLI, 2012), ilustrado na Figura 1.



Figura 1 - Casa de Equipamento do MGD-PV.

O MGD-PV é composto 12 placas fotovoltaicas de 130 Wp, cada uma gerando diariamente 7,5A e tensão de 17,4V; cada uma possui 1,44 m de altura e 0,62 m de largura com uma área total de 0,8928 m². O MGD-PV é constituído de seis painéis, cada um contém duas placas fotovoltaicas, cinco painéis estão ligados em série e um em paralelo, cada painel possui uma área útil de 1,7856

m² e a área útil total dos seis painéis, é de 10,7136 m², ilustrado na Figura 2.

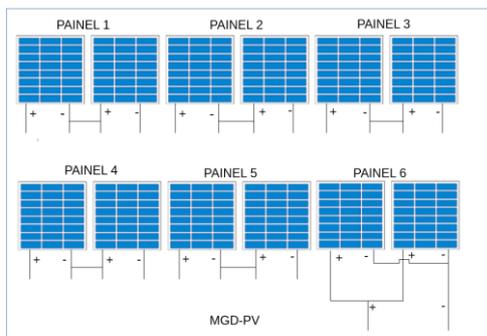


Figura 2 - Esquema elétrico MGD-PV.

Os componentes do sistema de monitoramento são compostos de dois elementos: O *software* monitoramento utilizado é do tipo SAD que realizou as operações de gravação das informações em banco de dados para posterior consulta da geração de energia; *hardware* são os elementos físicos utilizados para monitoramento dos sensores que realizam leitura nos painéis fotovoltaicos utilizados no MGD-PV, conforme configuração apresentada na Figura 11 e 12.

O Arduino Mega-2560 é uma placa de desenvolvimento de circuito impresso que permite a utilização do microcontrolador ATMEGA 2560, que contém 54 pinos de entrada e saída digitais (D), 15 pinos para modulação e interrupção externa conhecidos pela sigla PWM e 16 pinos analógicos (A) apresentados na Figura 3 (BESSION et al., 2016; KORNUTA et al., 2013).



Figura 3 - Arduino Mega 2560.

Outro recurso importante na elaboração de projetos com a tecnologia do Arduino é a adição de (acessórios), componentes construídos em placas de circuito impresso que agregam funcionalidade e serviços como, por exemplo, conexão com uma rede de computadores Figura 4.



Figura 4 - Módulo de rede WS5100 Arduino.

O shield ainda facilita o serviço de conexão dos sensores através da acessibilidade aos pinos, gravação de

informações em disco e comunicação de dados, demonstradas na Figura 5.



Figura 5 - Mega Sensor Shield facilita acesso e configuração das portas analógicas digitais do Arduino.

O ACS712 é um sensor de efeito Hall para medir CA ou CC em aplicações comerciais, residenciais e sistemas de comunicação e atua nos seguintes segmentos: controle de motores, sensores de sobrecarga, consumo de energia, conforme as suas características de funcionamento: baixo nível de ruído; velocidade de resposta em 5µs; porte reduzido; erro de saída de 1,5% a 25°C e 4% à temperatura de -40°C a 85°C; sensibilidade da saída de 66 a 185 mV/A para o ACS712-30. Trabalha com tensão proporcional à corrente CA e CC no intervalo de -30A a +30A, a velocidade de resposta é instantânea operando nas faixas de tensão de 0 V a 5 V em suas portas analógicas, onde 0 representa -30 A e 5 representa +30 A (ALLEGRO, 2015), ilustrado na Figura 6.



Figura 6 - Sensor de corrente ACS712

O sensor de tensão trabalha com entradas e saídas de CC lineares na faixa de 0 a 25 V, com resolução de 0,00489 (5V/1023); as saídas analógicas condicionam o sinal entre 0 a 1023 em binário, respectivamente entre 0V e 5V equivalente a 25 V, (ANE, 2016), apresentado na Figura 7.



Figura 7 - Sensor de Tensão

O módulo XBee-PRO 900HP-S3B utiliza o sistema de comunicação conhecido como ZigBee, é uma tecnologia de transmissão sem fio que usa pequenos rádios digitais de baixa potência. É definido por uma aliança de empresas denominada de "ZigBee Alliance" e transmite uma baixa taxa de dados, possibilitando o uso de baterias com longo período de tempo em aplicações de

monitoramento e controle em bandas de frequência livre. As distâncias suportadas por essa tecnologia podem variar entre 100 m até 14 km com o auxílio de antenas visadas; é um dispositivo de baixa potência que opera a 900 MHz, e a sua velocidade de transmissão varia de 20 a 250 Kbps, com fonte de alimentação entre 3,0 e 3,6 Vcc o que a torna adequada para uma transmissão de dados periódicos ou intermitentes e pode ser empregada em diversos tipos de aplicações como controle de processos, automação residencial e comercial entre outros (SHARIFF; RAHIM; PING, 2015; USMAN et al., 2013, VIKACONROLS, 2015), (Figura 8).



Figura 8 - Módulo de transmissão de dados sem fio modelo XBee Pro S3B

2.1 MÉTODO

O projeto é composto por dois componentes: software e hardware. O software desenvolvido é um sistema de monitoramento (SAD) que tem como objetivo disponibilizar as informações monitoradas para o usuário através da Internet. Figura 9.

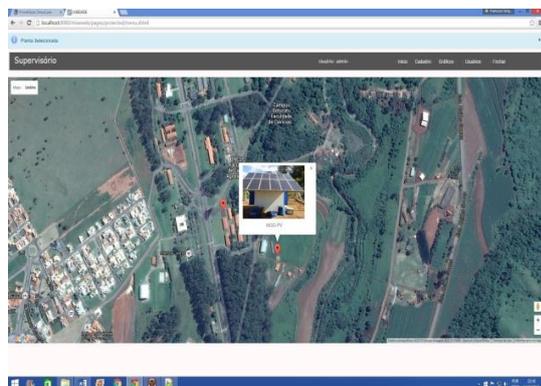


Figura 9 - Sistema de monitoramento do MGD-PV - SAD

O hardware é composto por cinco elementos denominados de MS1, MC1, MC2, MC3 e MC4, em três, com distâncias superiores a 100 metros, (Figura 10). Somente os elementos Módulo Servidor 1 (MS1) e Módulo Cliente 1 (MC1), foram utilizados para a leitura dos sensores. O MS1 foi alocado no laboratório de Energias Renováveis a 260 metros do MGD-PV, e para realizar o processo de coleta dos dados foi utilizado uma infraestrutura de comunicação sem fio baseada nas tecnologias ZigBee, (Figura 8), responsável pela comunicação entre o MS1 e o MC1. Os dados foram coletados entre 23 setembro de 2016 à 28 fevereiro de 2017 em intervalos regulares de cinco minutos, das 7h00 até as 17h00.



Figura 10 - Visão das posições dos módulos, adaptado do Google Maps.

O MS1 é o elemento central da arquitetura, cuja função é o Agente que responde a todas as requisições ao Gerente, utilizando a MIB, base de dados que armazena e disponibiliza todas as informações à rede de computadores da FCA, de forma que, de qualquer ponto, o “Gerente” possa acessar, em tempo real, o que está acontecendo com os sensores distribuídos no projeto ilustrado na Figura 11.

Além do SAD o MS1 é composto por um Arduino Mega, (Figura 3), um WS5100, (Figura 4), e um Mega Sensor Shield, (Figura 5).

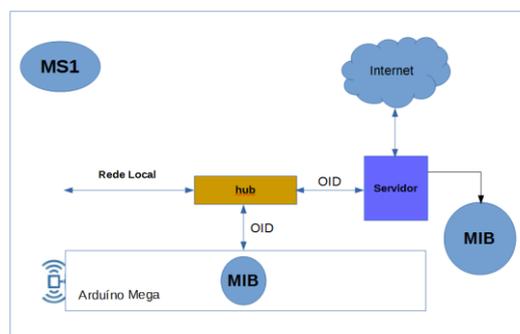


Figura 11 - Arranjo do MS1.

O MC1 é responsável pela leitura dos sensores de corrente, (Figura 6), e de tensão, (Figura 7), distribuídos nos painéis fotovoltaicos. Composto por dois Arduínos Mega, (Figura 3), e um Mega Sensor Shield, (Figura 5). Todos os sensores estão conectados a portas analógicas numeradas de 1 a 15. Em virtude da grande quantidade de sensores monitorados, 29 no total, foi necessário dividir em dois Arduínos Mega, uma vez que o mesmo tem uma limitação física de portas analógicas. O Arduíno Mega 1 faz a leitura em todos os sensores ímpares do sistema e o Arduíno Mega 2 faz a leitura em todos os sensores pares. Isso foi necessário devido à construção do SF, que não permitiu unir as referências nulas (GND) dos painéis em série com o painel em paralelo (Figura 12).

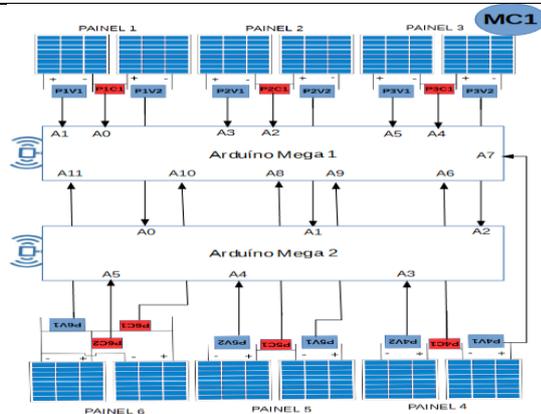


Figura 12 - Arranjo geral da configuração dos componentes físicos do MC1 conectados ao MGD-PV.

O posicionamento dos sensores de corrente e dos sensores de tensão está distribuído no SF para conhecer em detalhe o comportamento de cada componente fotovoltaico que constitui o sistema. É possível saber a energia gerada por cada painel de forma independente, o total global, sendo possível identificar qual painel apresenta defeito ou parou de forma definitiva.

A letra (P) representa o painel seguida da numeração do mesmo, sendo o seu posicionamento no SF; a letra (C) identifica o sensor de corrente; e a letra (V), o sensor de tensão; o número final é a quantidade daquele sensor no painel, (Figura 13). A relação das OID que compõem a MIB com os elementos monitorados podem ser observados na Tabela 1. Os respectivos cálculos para cada OID estão apresentados nas fórmulas 5 a 7.

Tabela 1 - Identificação das OIDs com o serviço monitorado pelo SAD através do protocolo SNMP no módulo MC1

OID	Serviço monitorado	Sensor
1.3.6.1.4.1.1.7.0	Potência (W)	
1.3.6.1.4.1.1.8.0	Corrente (A)	P1C1
1.3.6.1.4.1.1.9.0	Tensão (V)	P1V1
1.3.6.1.4.1.1.10.0	Tensão (V)	P1V2
1.3.6.1.4.1.1.11.0	Potência (W)	
1.3.6.1.4.1.1.12.0	Corrente (A)	P2C1
1.3.6.1.4.1.1.13.0	Tensão (V)	P2V1
1.3.6.1.4.1.1.14.0	Tensão (V)	P2V2
1.3.6.1.4.1.1.15.0	Potência (W)	
1.3.6.1.4.1.1.16.0	Corrente (A)	P3C1
1.3.6.1.4.1.1.17.0	Tensão (V)	P3V1
1.3.6.1.4.1.1.18.0	Tensão (V)	P3V2
1.3.6.1.4.1.1.19.0	Potência (W)	
1.3.6.1.4.1.1.20.0	Corrente (A)	P4C1
1.3.6.1.4.1.1.21.0	Tensão (V)	P4V1
1.3.6.1.4.1.1.22.0	Tensão (V)	P4V2

O protocolo SNMP é embarcado no Arduíno MS1 constituído pela MIB, responsável pela coordenação de todas as OIDs que identificam cada um dos sensores do sistema, (Figura 11). Cada OID é identificada por uma chave única cuja função é realizar todas as requisições do usuário, Tabela 1.

O sistema realiza a devolução do valor monitorado da respectiva OID para o usuário de forma concisa e organizada. Desse modo, o usuário consegue gerenciar todos os recursos oferecidos pelo MGD-PV (Figura 1).

Para a geração de carga no módulo MC1, foi utilizado um resistor variável com capacidade de 3.7 kW, cuja resistência é de 3,42 Ω e corrente de 21,6 ampères. Foi ajustado manualmente (multímetro) para trabalhar com uma resistência 2,5 Ω para produzir uma potência próxima a 454,27 W, dada pela Equação (1), conforme ilustrado na Figura 13.

$$P = I^2 * R \quad (1)$$

Em que:

P = Potência do resistor em Watts; I = Corrente de entrada em ampères; R = Resistência da carga em Ohms.

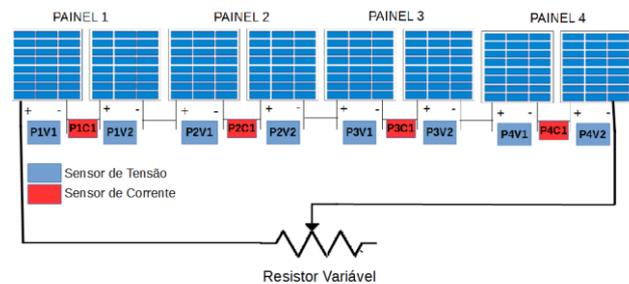


Figura 13 - Conexão dos sensores com o Resistor variável conectado MGD-PV.

Com o resistor variável conectado ao MGD-PV, foram realizadas as leituras dos sensores de corrente e de tensão para o cálculo da potência instantânea em Watts. Com esses dados, é possível conhecer a energia produzida aproximada em Watts hora. O cálculo da potência (W) produzida pelos painéis ligados e numerados de 1 a 4 é dada pela Equação (5).

$$P_n = (I_n * (V_{1n} + V_{2n})) \quad (5)$$

Em que:

P_n = Potência elétrica do painel em W; I_n = Corrente elétrica em ampères; V_{1n} = Tensão elétrica em V; V_{2n} = Tensão elétrica em V.

Para o cálculo da potência gerada total (PG) pelo SFI, foi utilizado a Equação (6), somatório de todas as potências de cada painel fotovoltaico.

$$PG = \sum_{i=1}^{n=4} p_i \quad (6)$$

Em que:

PG = Potência elétrica total em W; p_i = Potência de cada painel em W.

Para o cálculo da energia gerada aproximada (EG) pelo SF MGD-PV, foi utilizada a Equação (7):

$$EG = \sum_{1}^{120} (PG * T_i) \quad (7)$$

Em que:

EG = Energia gerada pelo painel em Wh; PG = Potência elétrica do painel em W; $T_i = \frac{1}{12}$ - relação minutos/hora.

Para o cálculo da energia produzida aproximada, foi utilizada a relação minutos/hora, Equação (7). Com leitura a cada cinco minutos de uma hora, 5/60 ou 1/12 igual a 0.08333333.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos gerados pelo SAD evidenciam que as informações geradas pelos sensores de corrente de tensão foram coletadas e processadas pelo protocolo SNMP, o total de registros até o dia 07/02/2017 foram 593.863, oriundos de uma diversidade de informações coletadas em campo.

No escopo desse projeto, é possível afirmar que o protocolo SNMP pode ser utilizado para gestão de recursos de um SF, monitorando a quantidade de energia produzida, conseqüentemente a energia consumida em tempo real, ou a partir de consultas realizadas no banco de dados fornecido pela MIB, permitindo entender o comportamento e desempenho do MGD-PV, auxiliando no processo decisório por parte dos usuários, atendendo plenamente os objetos de um sistema com características de um SAD.

Verificou-se comportamento de cada painel do MGD-PV conectados à carga, à geração da potência (W) e à energia acumulada (Wh), no dia 19/12/2016. O início da geração da potência instantânea e da energia se dá às 9h45. O pico da geração está entre 12h00PM e 3h00PM (Figuras 13 a 16).

O painel 1 tem energia acumulada em 560 Wh no final no período (Figura 14).

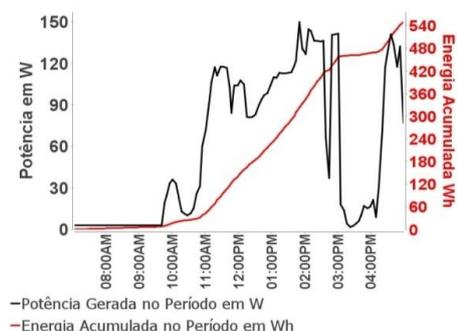


Figura 14 - Potência Gerada e Energia Acumulada no período de leitura dos sensores de corrente e sensores de tensão.

O painel 3 tem energia acumulada em 475 Wh no final do período (Figura 16).

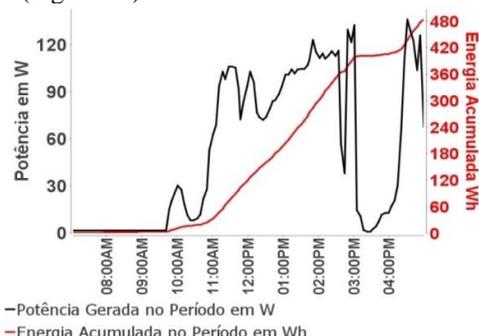


Figura 16 - Potência Gerada e Energia Acumulada no período de leitura dos sensores de corrente e sensores de tensão

Os gráficos gerados pelo SAD apresentam um comportamento polinomial por partes, em função das mudanças repentinas ocorridas ao longo do período monitorado, em razão das condições climáticas que interferem diretamente na geração de energia (temperatura, chuva, vento). Em dias nublados há baixa ou nenhuma incidência da irradiância solar, os materiais utilizados na construção são influenciados pela temperatura, quando maior for a temperatura, menor é o valor da voltagem (V) no SF, o vento pode contribuir para a queda da temperatura, dessa forma favorecendo a geração de energia, teste de eficiência das células solares são realizadas em condições controladas com temperatura a 25 °C, irradiância de 1000 W/m² o que geralmente não ocorre no ambiente externo (DUBEY et al., 2012). E nesse dia em particular, apresentou o céu nublado com período de melhorias, onde o pico da geração de energia ocorre as 3h00, com uma queda acentuada, evidenciando que o céu ficou “fechado” com ocorrência de chuva por quase uma hora, mas mesmo assim os painéis produziram energia e o total acumulado nesse período se manteve estável, voltando a subir após as 4h00PM. Observou-se comportamento semelhante em cada painel, mas com cargas acumuladas distintas (Figura 14 a Figura 17). E o total de energia acumulada no final do período foi de 2.010 Wh.

O painel 2 tem energia acumulada em 525 Wh no final do período (Figura 15).

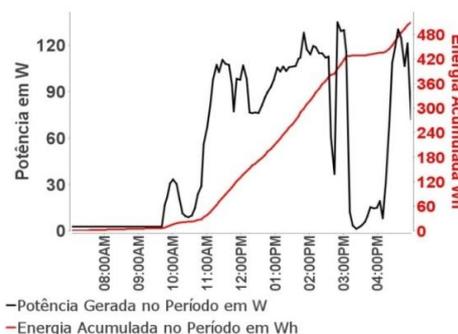


Figura 15 - Potência Gerada e Energia Acumulada no período de leitura dos sensores de corrente e sensores de tensão.

O painel 4 tem energia acumulada em 450 Wh no final do período (Figura 17).

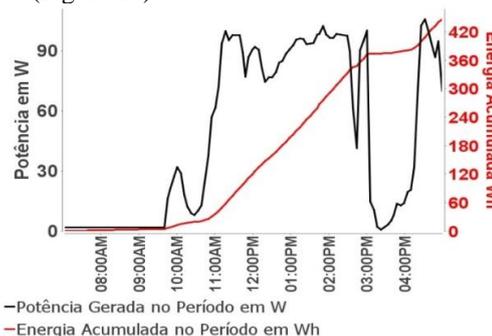


Figura 17 - Potência Gerada e Energia Acumulada no período de leitura dos sensores de corrente e sensores de tensão.

4 CONCLUSÕES

- ✓ O SAD desenvolvido funcionou de forma adequada, coletou diversos tipos de dados provenientes dos sensores instalados no MGD-PV.
- ✓ Observou-se pelos gráficos gerados pelo SAD o funcionamento do protocolo SNMP como interface de comunicação entre o MGD-PV (sensores), embora não tenha sido projetado para trabalhar nesse tipo de infraestrutura, sendo assim, uma possibilidade real na sua implementação como ferramenta na gestão de recursos fotovoltaicos.
- ✓ Outro elemento favorável na utilização do protocolo é a sua gratuidade, é uma tecnologia que pode ser utilizada livremente.
- ✓ A MIB permitiu a organização dos dados, atuando como um facilitador, transformando-os em informações estruturadas, requisito essencial para tomada de decisão.

5 REFERÊNCIAS

ACKERMANN, T. Distributed resources and re-regulated electricity markets. **Electric Power Systems Research**, v. 77, Issue 9, p. 1148–1159, jul 2007. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 28 jun. 2015.

ALLEGRO MICROSYSTEMS INC. **ACS712 - Datasheet**, 08 jul. 2015. ISSN 0. Disponível em: <www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS714-Datasheet.ashx>. Acesso em: 08 jul. 2015.

ANE – Absolute Native Electronics. **Voltage Sensor Module 25V**. Disponível em: <http://www.baboon.co.in/eshop/sensors/64-voltage-sensor-module-25v-.html>. Acesso em: 20 dez. 2016.

BESSON, T. et al. Low cost venom extractor based on Arduino® board for electrical venom extraction from arthropods and other small animals. In: **Toxicon**, Amsterdam, v.118, p.156–161, ago 2016. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 10 out. 2016.

BERNAL FILHO, H. Simple Network Management Protocol (SNMP). **TELECO – Inteligência em Telecomunicações**. Disponível em: <www.teleco.com.br/>. Acesso em: 20 jul. 2015.

CAVALIERI, S.; REGALBUTO, A. Integration of IEC 61850 SCL and OPC UA to improve interoperability in Smart Grid environment. In: **Computer Standards & Interfaces**, Amsterdam, v. 47, p.77–99, ago 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em 14 fev 2016.

DUBEY, S. et al. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World. In: PV ASIA PACIFIC CONFERENCE, 2012. **Energy Procedia**, Amsterdam, n. 33, p. 311-321, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em 02 jan. 2017.

DUSA, P. et al. Configuration a meter data management system using axiomatic design. In: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON AXIOMATIC DESIGN (ICAD 2015), **Procedia CIRP**, Amsterdam, n. 34, p. 174-179, 2015.

DUAH, D.; SYAL, M. Intelligent decision support system for home energy retrofit adoption. In: **International Journal of Sustainable Built Environment**, Amsterdam, v, 5, p. 620–634, dez 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em 20 dez 2016.

GUOZHENG, H. An open communication architecture for distribution automation based on IEC 61850. In: **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, Amsterdam, v. 54, p. 315-324, January 2014. Disponível em: <www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 05 jul. 2015.

KORNUTA, J. A. et al. Low-cost microcontroller platform for studying lymphatic biomechanics in vitro. In: **Journal of Biomechanics**, Amsterdam, v, 46, p. 183–186, jan 2013. Disponível em: <www.sciencedirect.com/>. Acesso 10 nov 2016.

KUROSE, J.; ROSS, K. **Rede de computadores e a Internet – Uma abordagem Top Down**. 5. ed. São Paulo: Pearson Education, 2013.

KORONOWSKI, R. Energia solar nos EUA criou mais empregos do que o setor de petróleo e gás. **RBS Magazine, Revista Brasileira de Energia Solar** Fotovoltaica, Nova Rússia, n. 8, p. 12-14, jan./fev. 2016.

LAURENCE, D. et al. Pricing retail electricity in a distributed energy resources world. **The Electricity Journal**, Amsterdam, v. 28, n. 3, p.112-121, Apr. 2015. Disponível em: <www.sciencedirect.com/015000470>. Acesso em: 27 jun. 2015.

NAUMANNA, A. et al. Smart grid automation using IEC 61850 and CIM standards. In: **Control Engineering Practice**, Amsterdam, v. 25, p. 102-111, Apr. 2014. Disponível em: <www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 07 jul. 2015.

PING, YI et al. Puppet attack: a denial of service attack in advanced metering infrastructure network. In: **Journal of Network and Computer Applications**, Amsterdam, v. 59, p. 325–332. Jan. 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 13 jun.2016

PURCHALA, K. et al. Distributed generation and the grid integration issues. In: European Sustainable Electricity; Comprehensive Analysis of Future European Demand and Generation of European Electricity and its Security of Supply, 6; 2007, Leuven, **Publisher: EU-SUSTEL Project (European Sustainable Electricity)**. Disponível em: <http://www.eusustel.be/public/documents_public/WP>. Acesso em: 24 jun. 2015

SHARIFF, F.; RAHIM, N. A.; PING, H. W. Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system. In: **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 3, p. 1730-1742, 2015. Disponível em: <http://repository.um.edu.my/100420/1/Zigbee%20Based%20PV%20Monitoring.pdf>. Acesso em: 13 out. 2015.

USMAN, A. et al. Evolution of communication technologies for smart grid applications. In: **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Amsterdam, v. 19, p.191-199, Mar. 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 19 nov. 2015.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica**. Conceitos e aplicações – Sistemas isolados e conectados à rede. São Paulo: Érica, 2012.

VIKACONTROLS. **Módulos XBee**. Disponível em: <<http://vikacontrols.com.br/>>. Acesso em: 08 ago. 2015.