

PROJETO E MONTAGEM DE UMA BANCADA DIDÁTICA HÍBRIDA, EÓLICA E SOLAR

Geronimo Barbosa Alexandre (IFPE) - geronimo.alexandre@garanhuns.ifpe.edu.br

Wilker Victor da Silva Azevêdo (IFPE) - wilker.azevedo@garanhuns.ifpe.edu.br

Eduardo Felipe Laurindo Vieira (IFPE) - eflv@discente.ifpe.edu.br

João Henrique de Araújo Rodrigues (IFPE) - jhar@discente.ifpe.edu.br

Tarcizio André Alves de Barros (IFPE) - taab@discente.ifpe.edu.br

Vitoria Borges Santana (IFPE) - vbs@discente.ifpe.edu.br

Resumo:

O presente Trabalho tem como objetivo descrever o projeto e a construção de uma bancada didática de energia híbrida, solar e eólica de baixo custo, para utilização em estudos na área de fontes renováveis. Com esta ferramenta didática é possível a realização de aulas práticas, projetos de pesquisa / extensão e capacitação da comunidade externa. O protótipo didático possui um sistema de monitoramento local das variáveis físicas e elétricas: corrente, tensão, potência e temperatura em tempo real. Para confecção da bancada foram requeridos conhecimentos sobre dimensionamento de aerogeradores e painéis fotovoltaicos off-grid. Em seguida foi iniciada a instalação dos painéis solares, banco de baterias, sistema de proteção e controle, programação do microcontrolador, calibração dos sensores e testes experimentais. Em paralelo a instalação da bancada foram feitos sete guias de experimentos que podem ser utilizados pela comunidade interna e externa do IFPE Campus Garanhuns, abordando as tecnologias empregadas. O sistema de supervisão local foi desenvolvido usando o software Eclipse SCADA DEMO associado ao microcontrolador Arduino UNO R3 por meio do padrão de comunicação RS485. O diferencial do trabalho está em: (1) supervisão local de dados; (2) baixo custo; (3) baixo consumo de energia pelos componentes utilizados no protótipo; (4) caráter didático. O protótipo realizou medições da energia gerada ininterruptamente por 30 dias, com intervalos de medições de 30 em 30 minutos. O sistema de monitoramento mostrou-se confiável e eficiente nas medições permitindo o acompanhamento do consumo, bem como enviando mensagens para celular de algum surto de tensão ocorrido.

Palavras-chave: *Protótipo Didático, Energia Híbrida, Instrumentação*

Área temática: *Outras fontes renováveis de energia*

Subárea temática: *Simulação, análise, equipamentos e sistemas de conversão eólica para eletricidade*

PROJETO E MONTAGEM DE UMA BANCADA DIDÁTICA HÍBRIDA, EÓLICA E SOLAR

Eduardo Felipe Laurindo Vieira – eflv@discente.ifpe.edu.br

João Henrique de Araújo Rodrigues – jhar@discente.ifpe.edu.br

Tarcízio André Alves de Barros – taab@discente.ifpe.edu.br

Vitoria Borges Santana – vbs@discente.ifpe.edu.br

Wilker Victor da Silva Azevêdo – wilker.azevedo@garanhuns.ifpe.edu.br

Gerônimo Barbosa Alexandre – geronimo.alexandre@garanhuns.ifpe.edu.br

Instituto Federal do Pernambuco – Campus Garanhuns, Departamento de Engenharia Elétrica

7.3 Estudos e capacitação em energias renováveis

Resumo. O presente Trabalho tem como objetivo descrever o projeto e a construção de uma bancada didática de energia híbrida, solar e eólica de baixo custo, para utilização em estudos na área de fontes renováveis. Com esta ferramenta didática é possível a realização de aulas práticas, projetos de pesquisa / extensão e capacitação da comunidade externa. O protótipo didático possui um sistema de monitoramento local das variáveis físicas e elétricas: corrente, tensão, potência e temperatura em tempo real. Para confecção da bancada foram requeridos conhecimentos sobre dimensionamento de aerogeradores e painéis fotovoltaicos off-grid. Em seguida foi iniciada a instalação dos painéis solares, banco de baterias, sistema de proteção e controle, programação do microcontrolador, calibração dos sensores e testes experimentais. Em paralelo a instalação da bancada foram feitos sete guias de experimentos que podem ser utilizados pela comunidade interna e externa do IFPE Campus Garanhuns, abordando as tecnologias empregadas. O sistema de supervisão local foi desenvolvido usando o software Elipse SCADA DEMO associado ao microcontrolador Arduino UNO R3 por meio do padrão de comunicação RS485. O diferencial do trabalho está em: (1) supervisão local de dados; (2) baixo custo; (3) baixo consumo de energia pelos componentes utilizados no protótipo; (4) caráter didático. O protótipo realizou medições da energia gerada ininterruptamente por 30 dias, com intervalos de medições de 30 em 30 minutos. O sistema de monitoramento mostrou-se confiável e eficiente nas medições permitindo o acompanhamento do consumo, bem como enviando mensagens para celular de algum surto de tensão ocorrido.

Palavras-chave: Protótipo Didático, Energia Híbrida, Instrumentação.

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica mediante fontes renováveis vem ganhando cada vez mais espaço no cenário mundial, uma vez que os recursos provenientes da geração de energias não renováveis estão ficando cada vez mais escassos e consequentemente aumentando assim as buscas e os preços de tais recursos. Esse fato começa a impactar negativamente as grandes unidades geradoras de energia, principalmente pelo fato que as principais matrizes energéticas mundiais são provenientes de recursos não renováveis, segundo a última pesquisa feita pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2016) a matriz energética mundial era formada apenas por 13,7% de fontes renováveis, eólica com 82520ktep e solar com 52867ktep, fontes como óleo e carvão se destacaram no cenário mundial ocupando 58,6% de toda matriz energética mundial. De 1973 para o ano de 2015 a matriz energética relacionada ao óleo e carvão houve uma redução de 10,8% no âmbito mundial e esta redução tende a aumentar visto que estes recursos estão cada vez mais difíceis de serem obtidos elevando assim o uso de outras fontes energéticas como hidráulica, solar e eólica (MME, 2016).

O Brasil em sua totalidade contém 79,3738% da sua matriz energética oriunda de fontes renováveis (ANEEL, 2019). Essa característica é devido ao potencial hidrográfico, solar e eólico que o país tem, estima-se que o Brasil possui cerca de 12% de todas as reservas mundiais de água doce sendo assim o país que mais contém este recurso (ANA, 2019) condição favorável para a implantação das unidades hidroelétricas. Já quando se analisa a velocidade dos ventos no Brasil observa-se que na costa do Nordeste (zona costeira) está na classe 4, classificação que indica que na mata, campo aberto, zona costeira, morro e montanha a velocidade dos ventos está entre 6,5 e 8 m/s, condição ideal para implantação de usinas de geração eólica (ANEEL, 2015). E quando se volta os olhares para a geração proveniente do sol é inegável que o potencial brasileiro para energia solar é enorme contendo os maiores valores de irradiação solar mundial, com grande estabilidade e irradiação, o Nordeste sendo a região que mais se destaca, só na Bahia chegou em 6,5kWh/m²/dia e ainda com baixo potencial de tempos nublados. A irradiação média anual brasileira varia entre 1200 e 2400kWh/m²/dia bem acima da média da Europa (MME, 2016).

A produção de energia elétrica através do vento e da radiação solar são promessas para o futuro da matriz energética brasileira. O Nordeste Brasileiro como já mencionado é a região com maior potencial para a implantação de parques eólicos e também usinas fotovoltaicas, pois apresenta sol abundante durante o dia e rajadas de vento ideais durante a noite. Com investimentos adequados, principalmente em pesquisas que possam focalizar estudos buscando o melhor uso dos módulos fotovoltaicos e aerogeradores de forma individual e integrada, o custo da geração da energia elétrica

proveniente de fontes alternativas pode diminuir, atuando assim em um dos principais eixos da eficiência energética, essa diminuição dos custos solucionaria uma das principais desvantagens das energias renováveis eólicas e fotovoltaicas que é o alto valor de implantação frente às fontes de energias mais usadas no cenário nacional como a hidráulica e termelétrica. Estudos na área de geração dessas energias além de melhorar a eficiência energética, também podem proporcionar mão de obra qualificada para a região, pode-se realizar análises dos impactos que essa geração causa em um sistema elétrico de energia de uma região para alguma concessionária e também estudos na área da qualidade da energia elétrica (QEE) gerada são importantes para avanços tecnológicos da energia solar e fotovoltaica.

É válido observar que estudos e aprendizagem nessa linha de energias limpas são importantes para sua expansão e aceitação no mundo, porém são feitos muitos estudos visando as fontes de maneira individual, e não há muitos estudos integrando a energia dos ventos com a solar. A área de energia híbrida, solar e eólica, traz consigo uma ideia inovadora e interessante porque durante a noite quando a atmosfera encontra-se estavelmente estratificada ocorrem os sota-ventos que são promissores para aproveitamentos eólicos (SECTI, 2013) e de dia, o Brasil por estar localizado na linha do equador contém as irradiações solares mais intensas do mundo sendo interessante para aproveitamentos solares. Então a implementação das duas energias, uma complementando a outra de modo eficiente tem potencial de se tornar viável tecnicamente e economicamente.

O estudo da energia híbrida se faz importante em cursos de Engenharia apesar da pouca discussão a seu respeito em sala de aula. Um fato que torna difícil o processo de ensino-aprendizagem das energias renováveis nos cursos de graduação é o custo das bancadas didáticas comerciais que podem chegar a 80 mil reais, outro fato que complica são as dificuldades enfrentadas pelos docentes na elaboração de experimentos didáticos para essas bancadas.

Neste contexto, o presente trabalho tem como principal finalidade projetar e construir uma bancada didática a baixo custo integrando energia fotovoltaica e eólica para auxiliar os discentes dos cursos da área da elétrica e também de outros cursos do Instituto Federal de Pernambuco – Campus Garanhuns. Com a construção da bancada é possível realizar aulas práticas, a coleta de dados experimentais da produção de energia elétrica, comparação dos dados teóricos de geração com os dados experimentais, estudos dos ventos no município de Garanhuns - PE, treinamento das tecnologias envolvidas para a comunidade acadêmica e a difusão das fontes renováveis de energia no Agreste Pernambucano por meio de treinamentos a comunidade externa. Além de promover a discussão sobre energia híbrida no Agreste Meridional Pernambucano, a bancada híbrida confeccionada serve como auxílio para o desenvolvimento de projetos de pesquisa e trabalhos de conclusão de curso e suporte para aulas experimentais na Graduação em Engenharia Elétrica. O diferencial da bancada projetada quando comparada aos modelos comerciais é a supervisão local de dados em tempo real, baixo custo, baixo consumo de energia pelos componentes utilizados no protótipo e o design projetado para evitar futuros furtos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha dos componentes utilizados na bancada didática híbrida foi feita visando o baixo custo quando comparados à kits e bancadas didáticas comerciais. Uma das principais ferramentas que compunham a bancada é a placa UNO R3, que é um microcontrolador de baixo custo, em média 54,00 R\$, que apresenta plataforma Open Source, rica literatura na área, fácil de encontrar na rede mundial de computadores e compatibilidade com os mais diversos sensores, incluindo os necessários para a bancada. Os materiais utilizados com maior custo foram: o aerogerador, o módulo fotovoltaico e as baterias estacionárias.

2.1 Materiais

Os materiais utilizados para a montagem da bancada didática e seus respectivos valores foram os seguintes:

- Aerogerador 0.3/0.6kW, (1) no valor de R\$ 1.000,00;
- Conversor / Charge Controller of Wind Generator SF-12-24-A, (1) no valor de R\$ 65,00;
- Painéis Solares 265W / Yingly YL250P-29b, (2) no valor de R\$ 600,00 cada unidade;
- Conector MC4 (par) – Staubli, (1) no valor de R\$ 22,90;
- Cabo Flexível 2,5mm² azul, (40m) no valor de R\$ 0,65 o metro;
- Controlador de carga – solar / PWM Solar Charge Controller GT285, (1) no valor de R\$ 70,00;
- Baterias estacionárias – 12V-220Ah / Moura Clean 12MF220, (2) no valor de R\$ 850,00 cada unidade;
- Bateria de moto 12V-5Ah / GTI GTX 5BS, (1) no valor de R\$ 90,00;
- Módulo Micro SD Card, (1) no valor de R\$ 7,90;
- Placa de circuito impresso, (1) no valor de R\$ 10,00;
- Sensores / LM35 (temperatura) e ACS 712 (corrente) no valor de R\$ 8,00 e R\$ 25,00 respectivamente;
- Placa Arduino UNO R3, (1) no valor de R\$ 54,00;
- Controlador de carga – aerogerador / PMW Solar Charge Controller LS1024E, (1) no valor de R\$ 80,00;
- Lâmpada 60W, (1) no valor de R\$ 10,00;
- Disjuntor / UNIC PIAL, (2) no valor de R\$ 10,00 cada unidade;
- Softwares (Arduino IDE, AutoCAD versão estudante, Sketchup).

Totalizando um valor de R\$ 4.374,80 para confecção da bancada didática híbrida de fontes renováveis.

2.2 Métodos

A metodologia utilizada consistiu nas seguintes etapas: (A) dimensionamento do arranjo híbrido com desenhos e esquemas elétricos, lista de execução do tipo DE-PARA e lista de materiais; (B) compra dos equipamentos; (C) montagem física do arranjo híbrido e instalação do sistema de proteção; (D) construção e validação do sistema de medição, aquisição e armazenamento de dados; (E) projeto e validação do sistema de supervisão local. Como fonte renovável foram instalados um aerogerador de pequeno porte que possuem cinco pás, capaz de produzir uma potência de 0,3/0,6 kW e uma placa solar de 265 Wp da marca Canadian. A escolha do local foi feita de maneira estratégica não distando da sala de comando e operação.

Em seguida o aerogerador foi interligado a um conversor CA-CC, pois a tensão produzida é variante no tempo devido à instabilidade da velocidade do vento, possibilitando uma saída com tensão em CC variante. Após foi inserido um controlador de carga para regular/fixar em 12 VCC a tensão fornecida à bateria estacionária, já a placa solar está ligada a um controlador de cargas 24 VCC/20A, associado a este estão duas baterias estacionárias (12VCC cada) em série, conectado ao banco de baterias está o sistema de proteção composto por fusíveis e diodos, em paralelo com cada bateria foi instalado um conversor CC-CA para alimentar cargas monofásicas. Entre os controladores e as baterias estacionárias foi projetado um circuito de comando via botoeira para associação das fontes, podendo inseri-las em série ou em paralelo. O circuito de comando foi composto por uma contactora 220 VCA com dois contatos (um NF e um NA), e um botão para comandar a associação em série ou paralelo das fontes distribuídas. Os geradores foram instalados na laje do banheiro dos servidores distando de 4,5 m do solo (3,5 m do pé direito da edificação e 1,0 m da base de sustentação), e 10 m de distância da sala de supervisão. Para ligação elétrica entre os equipamentos foram utilizados 40 m de cabo flexível 2,5 mm² azul, já para proteção foram utilizados dois disjuntores de 32A monopolar.

Para o monitoramento das grandezas físicas do sistema, foi desenvolvida uma plataforma de aquisição de dados, inserindo medidores em pontos estratégicos da planta didática. As grandezas mensuradas são monitoradas localmente pelo supervisório desenvolvido no software Elipse SCADA Versão DEMO e enviadas via Wi-fi para o monitoramento remoto no ThingSpeak. A instrumentação utilizada foi um sensor de corrente contínua ACS 712, um circuito integrado ao microcontrolador para aferição de tensão contínua no aerogerador e na placa, um dimmer para regulação da intensidade luminosa que será incidida na placa para futuros estudos, um módulo micro SD Card para coleta dos dados mensurados pelo microcontrolador, um sensor de temperatura LM35 com conexão com o microcontrolador. No microcontrolador a linguagem C é a utilizada para programação da IDE Arduino, a ligação física da placa UNO R3 com o computador é feita por meio de um cabo de comunicação serial o RS232. O software Elipse SCADA DEMO foi instalado no mesmo computador que está funcionando a IDE Arduino, desta forma os dois softwares acessam a mesma porta de comunicação serial, impossibilitando o uso simultâneo do Serial Monitor e da tela de supervisão do SCADA.

O sistema de medição e supervisão de dados medidos na planta de geração híbrida é composto de duas partes: o hardware e o software. O hardware é composto pelos sensores espalhados na planta didática e o microcontrolador. Já a parte de software é constituída do supervisório local, do servidor Web, do aplicativo para dispositivos móveis e do gerenciador do banco de dados MySQL.

Em paralelo com a criação da bancada foram desenvolvidos 7 guias experimentais para que os professores do Campus possam executar aulas práticas com os alunos de nível técnico e graduação. Os guias foram feitos tentando abordar o máximo de informação possível relacionado à energia fotovoltaica e eólica, tanto quando se analisa os parâmetros estruturais dos equipamentos, quando se analisa as diversas formas de funcionamento de todos equipamentos da bancada indo dos componentes de maior porte como os módulos solares até os componentes de menor porte como os sensores de monitoramento local. Enfatizou-se nos guias o uso dos dados coletados em tempo real, pois em muitos cálculos de viabilidade técnica e econômica, dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e de aerogeradores são utilizados dados disponibilizados pelos fabricantes contendo assim uma margem de erro razoável, então com o uso dos sensores de monitoramento local e em tempo real os dados utilizados para os cálculos são mais condizentes com a realidade podendo assim haver maior precisão nos estudos das energias.

A estruturação dos guias foi feita para que o leitor pudesse ser autodidata e consiga fazer os experimentos propostos, o guia é composto por descrição da temática, objetivos, material utilizado, conhecimento prévio, experimento proposto e os anexos que serão necessários para a coleta de dados assim que houver a finalização dos experimentos. Uma das metodologias de ensino utilizadas para o desenvolvimento dos guias foi a do Plano de Dalton ou Método de Laboratório em que o aluno deixa de participar apenas das aulas teóricas propriamente ditas para dar um enfoque maior na construção do seu próprio laboratório cujo qual poderá ser utilizado por outras pessoas posteriormente. Sendo assim após a realização dos sete guias de experimento o estudante terá como obrigação deixar parte dos resultados obtidos registrados de maneira formal em um banco de dados que estará localizado na sala de monitoramento da bancada e estas informações servirão como base para estudos futuros no laboratório, contribuindo então com a estruturação da bancada híbrida.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figs. 1 e 2 é ilustrado o diagrama elétrico e o esquemático 3D da bancada didática respectivamente, A descrição da plataforma de aquisição de dados elétricos e climáticos da planta de geração eólica desenvolvida é ilustrada na Fig. 3.

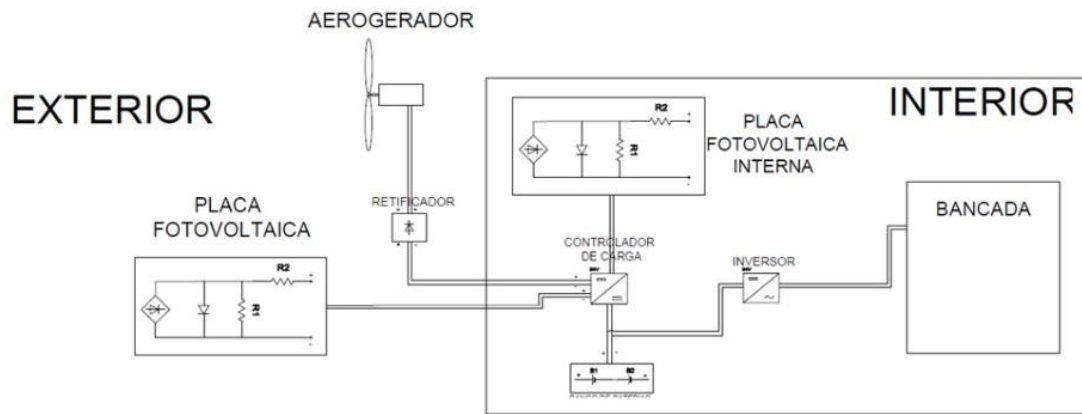


Figura 1 – Descrição do sistema de micro geração didático.

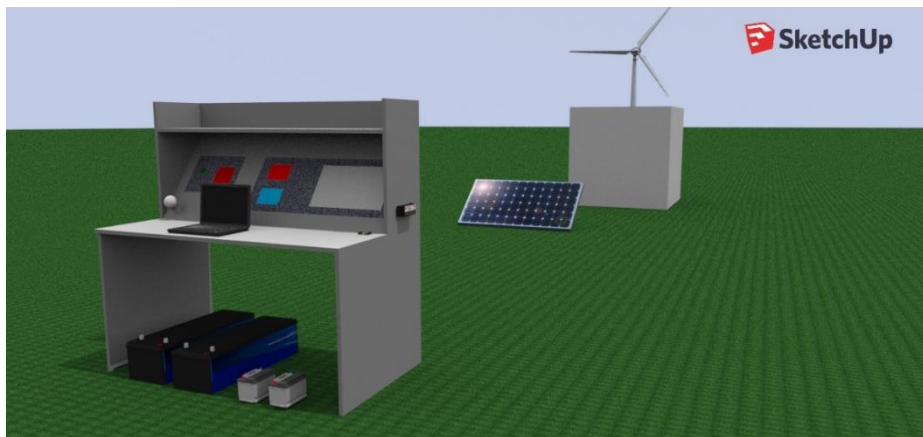


Figura 2 – Projeto estrutural da bancada feito no SketchUp.

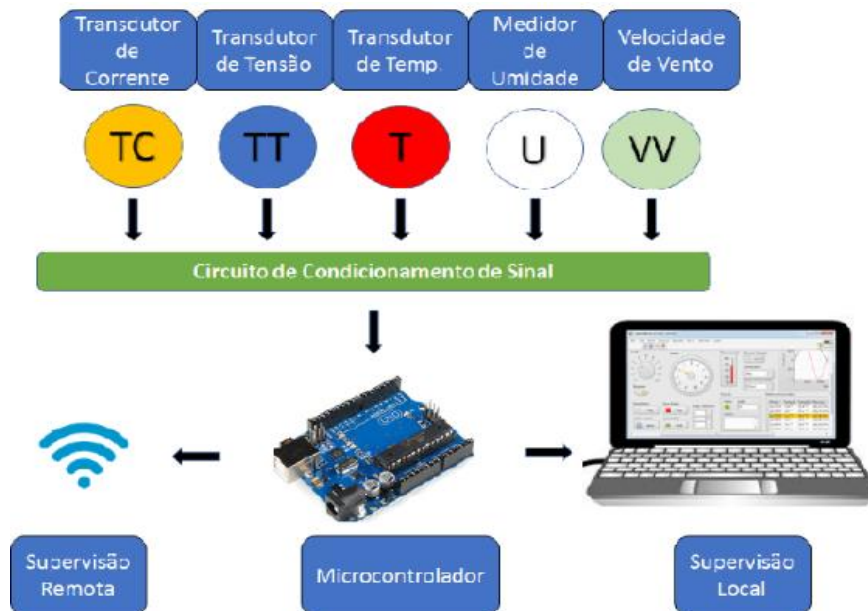


Figura 3 – Descrição da plataforma de aquisição de dados.

No sistema de supervisão local (Fig. 3) foi utilizado o Elipse SCADA DEMO por ser um software gratuito e de fácil configuração das telas de monitoramento. O protótipo confeccionado é ilustrado nas Figs. 4 e 5 (parte externa e parte interna). Após algumas medições foi constatada a tensão CC máxima gerada (saída do conversor CA-CC) por cada aerogerador de 0-20 VCC. Por este motivo foi inserido um controlador de carga de 12 VCC/10 A na saída do conversor CA-CC para ajustar a tensão fornecida à bateria, e evitar corrente reversa da bateria para o conversor CA-CC (Fig. 6).



Figura 4 – Bancada didática parte interna localizada no Laboratório de Fontes Renováveis.



Figura 5 – Aerogerador e placas solares instaladas.



Figura 6 – Medição da corrente gerada pelo aerogerador.

Na Fig. 7 é ilustrada a tela do Serial Monitor programada para o monitoramento da corrente elétrica gerada antes do conversor CA-CC. Já na Fig. 8 é ilustrada a tela do supervisório desenvolvido para o monitoramento local da corrente gerada pelas fontes renováveis.

As medições foram feitas em instantes de tempos diferentes, mas percebe-se a tendência de equilíbrio da geração de energia elétrica. Na Fig. 9 é ilustrado o resultado da medição da corrente elétrica gerada por um aerogerador na tela de supervisão remota desenvolvida para o monitoramento das grandezas elétricas e climáticas relacionadas à planta de geração didática.

Comparando os resultados das medições de corrente gerada por um aerogerador nas telas de supervisão (Figs. 6-9), percebe-se o mesmo valor medido em ambas as telas desenvolvidas, atestando a eficácia do sistema de supervisão projetado.

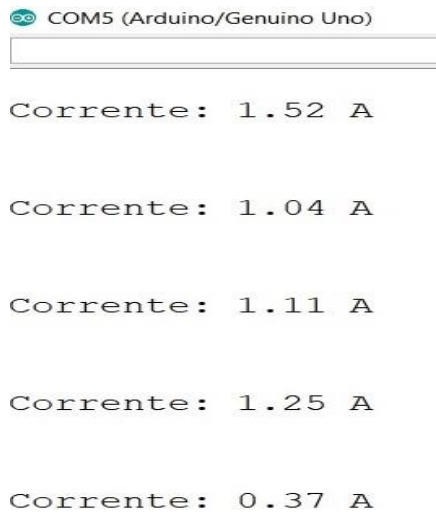


Figura 7 – Tela do Serial Monitor na medição da corrente.



Figura 8 – Tela de supervisão local.



Figura 9 – Supervisão remota da corrente gerada.

Na Fig. 10 é ilustrado o resultado das medições da temperatura na superfície (superfície que recebe a irradiação solar) da placa solar durante 06 dias de produção de energia elétrica (medições durante os dias 03/04 a 09/04/2019) na ferramenta ThingSpeak, canal web programado com auxílio do microcontrolador ESP32.

Na Fig. 11 é ilustrado o resultado das medições de umidade relativa do ar por baixo das placas solares (as placas estão instaladas no solo), durante 06 dias de produção de energia elétrica (medições durante os dias 03/04 a 09/04/2019) na ferramenta ThingSpeak. Para as medições foi utilizado dois sensores DHT11 (temperatura e umidade).

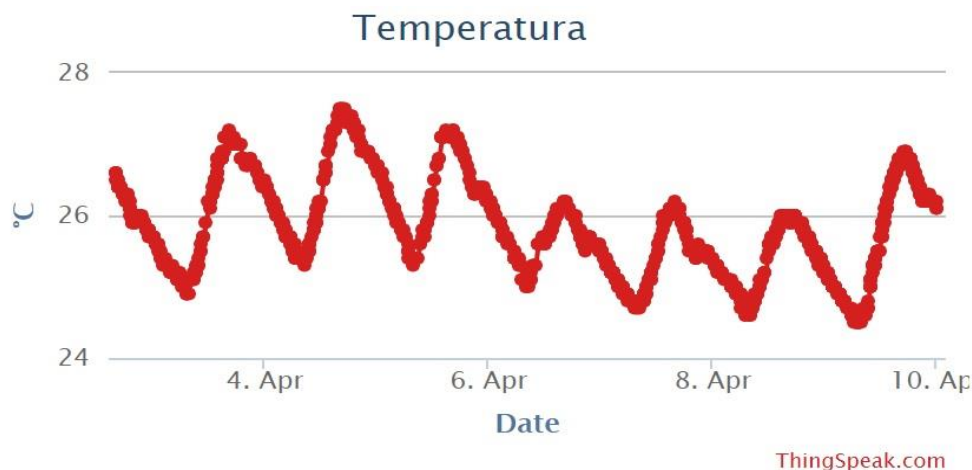


Figura 10 – Temperatura aferida na superfície da placa solar nos dias 03/04 a 09/04/19.

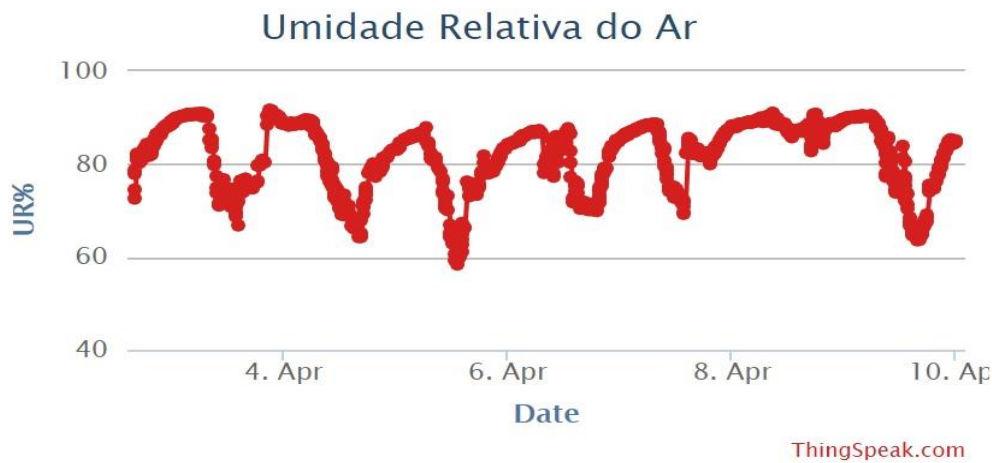


Figura 11 – Umidade relativa do ar no local de instalação das placas solares.

O ThingSpeak possui apenas uma limitação: o tempo entre upload de dados deve ser de, no mínimo, 15 segundos. Se isso for desobedecido, os dados enviados fora deste intervalo de tempo serão ignorados ou não registrados (BERTOLETI, 2015). Nos experimentos realizados os uploads foram feitos em intervalos de 60 segundos.

Para complementar a bancada didática híbrida, esta foi usada para alimentar uma bancada de controle de nível e temperatura (Fig.12), onde toda a alimentação da planta experimental é proveniente de fontes renováveis (solar + eólica).

A planta experimental da Fig. 12 é composta por: 2 tanques, uma placa solar 265W/24V/8,66A do fabricante Yingli Solar, um controlador de carga 24V/10A, duas baterias 12VCC cada associadas em série, uma termoresistência 800W/220 VCA, uma bomba Shurflo 12VCC, uma bomba de ¼ de CV 220 VCA, um CLP Atos Expert BF Schneider, um inversor de frequências modelo ATV312 Schneider, uma fonte chaveada 220VCA / 24 VCC, duas botoeiras (Liga / Desliga), um sensor de temperatura modelo PT100 e um sensor de nível analógico. O conversor CC-CA é responsável pela alimentação do quadro de comando da bancada experimental.

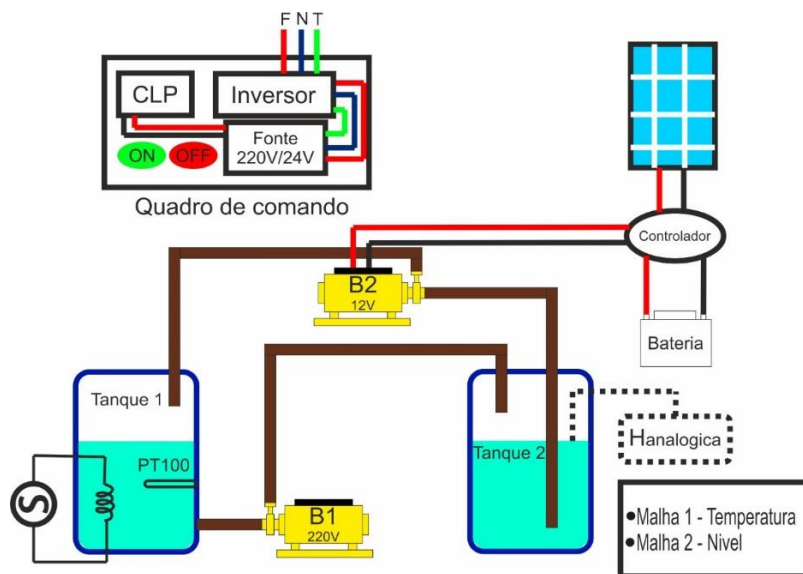


Figura 12 – Sistema de controle de nível e temperatura com alimentação solar + eólica.

Na Fig. 13 e 14 são ilustrados as medições de corrente e potência ativa gerada pelo arranjo híbrido, as medições foram realizadas no dia 07/02/2020 das 07h30 às 22h00.

Pode-se observar da Fig. 13 o período de máxima geração (solar + eólica) no intervalo das 09h00 às 17h00, já a noite só tem a geração eólica, sendo uma fonte intermitente, apresentando potência máxima de 50W. Vale ressaltar que durante a madrugada a região apresenta ventos forte, embora no gráfico não seja informado.

Vale salientar que o arranjo composto por um aerogerador e uma placa solar, alimentam quatro baterias de 12 VCC cada (associação em série de duas baterias com a placa solar e a associação em paralelo de duas baterias com o aerogerador). As principais dificuldades encontradas na execução do Trabalho foram: leituras de diagramas elétricos, programação em C para o microcontrolador, criação do sistema de comando e supervisão local / remoto e conhecimentos em montagens de circuitos eletroeletrônicos.

A bancada de geração híbrida é uma ferramenta de apoio no processo de ensino-aprendizagem nos cursos da área da elétrica, atendendo a comunidade interna e externa (por meio de cursos de extensão) da Instituição de ensino.

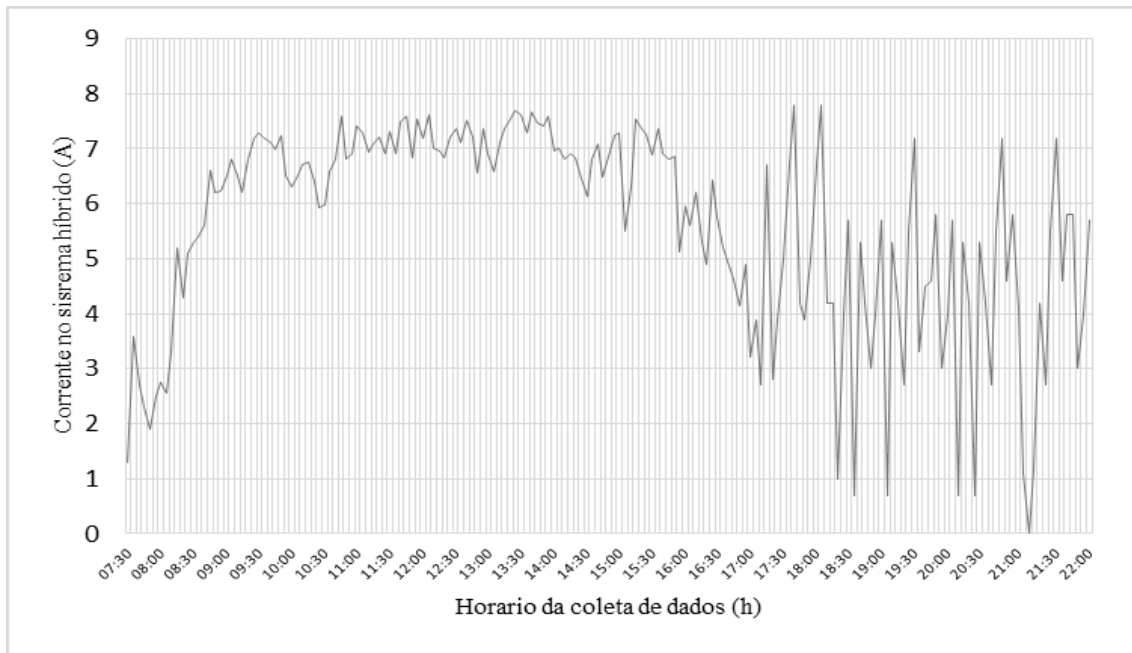


Figura 13 – Medições de corrente elétrica (A) no dia 07/02/2020.

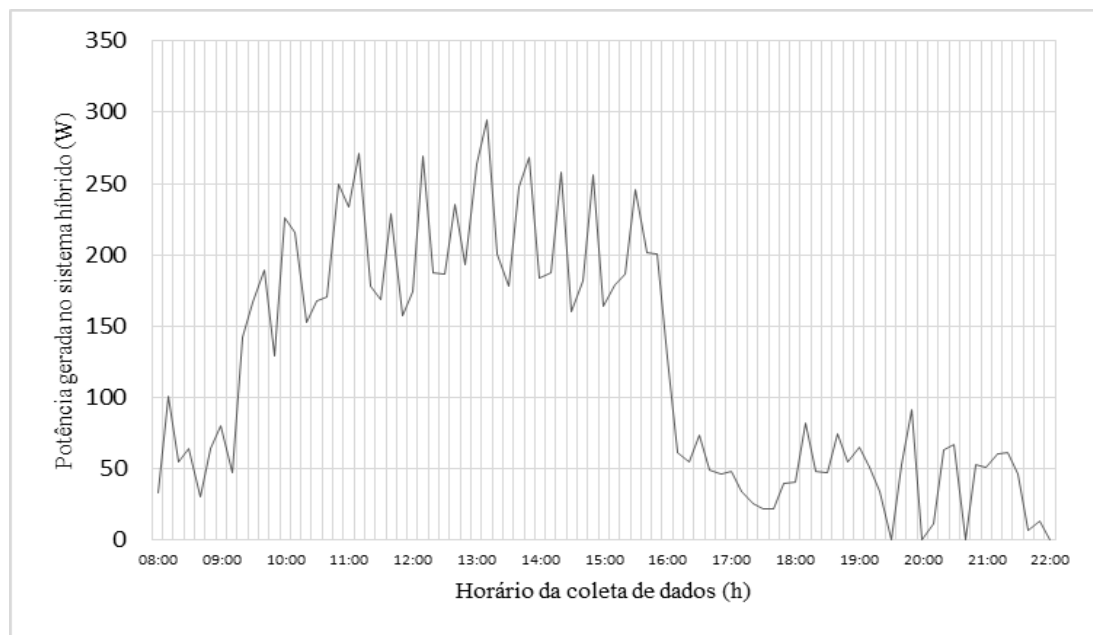


Figura 14 – Potência elétrica (W) gerada ao longo dia 07/02/2020.

No trabalho de MARTINELLO (2015) é apresentado um emulador da turbina eólica em bancada experimental com supervisão de grandezas aerodinâmicas e mecânicas da turbina por meio de placa de aquisição de custo elevado e o uso do software LabView que é um software pago, no trabalho de AZEVEDO *et al.* (2014) é apresentado um sistema supervisor para monitoramento de grandezas elétricas e mecânicas em uma turbina para fins comerciais. No presente trabalho é apresentado um sistema de supervisão de dados de baixo custo, com uso de tecnologias gratuita e de código aberto, Arduino, ESP32, software livre – ThingSpeak, para o monitoramento em tempo real de algumas grandezas elétricas. Sendo então o diferencial do trabalho que é o arranjo completo de geração composto por um aerogerador e uma placa solar, dois geradores distribuídos, com supervisão de dados de todas os geradores, diferentes dos trabalhos de MARTINELLO (2015), ALMEIDA *et al.* (2011), ALMINANA *et al.* (2013), JÚNIOR (2014) e TIBOLA (2009) onde a supervisão de dados se concentra em apenas uma turbina e com número limitado de variáveis monitoradas, apenas grandezas elétricas e/ ou mecânicas.

Um ponto forte da confecção da bancada didática híbrida está no baixo custo, quando comparada com kits didáticos comerciais, por exemplo o kit didático de energia solar e eólica da Automatus®, custa em torno de 80 mil reais. A montagem da plataforma didática de geração resultou em um custo de R\$ 4.318,00, cerca de 5% do valor de uma bancada comercial.

Obteve-se êxito na elaboração de material didático dos experimentos na plataforma didática construída, todos os guias encontram-se na página eletrônica do orientador e serão distribuído nos principais sites de divulgação acadêmica do Brasil. Ao todo, foram desenvolvidos sete guias de experimentos com a bancada, a saber: (1) Estudo do efeito fotovoltaico; (2) Estudo do controlador de carga com painel solar; (3) Dimensionamento de cargas para um painel fotovoltaico; (4) Levantamento da curva de geração de uma turbina eólica de pequeno porte; (5) Estudo do controlador de carga com o aerogerador; (6) Dimensionamento de cargas para o aerogerador; (7) Dimensionamento de cargas para geração híbrida.

A montagem da Bancada híbrida e da Planta de nível e temperatura faz parte das ações do grupo de professores da área de automação e controle para melhoria do ensino de graduação, visando a ampliação dos laboratórios do IFPE Campus Garanhuns. Além das experiências na montagem de protótipos didáticos, o Grupo trabalha no chamado Hardware-in-the-Loop, onde o controle é real e a planta é virtual. Todas estas atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) vem fortalecer as ações do Grupo de Pesquisas em Eletrônica, Controle e Automação (GPECA).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a montagem e validação da bancada didática híbrida pode-se chegar às seguintes conclusões:

- Que o monitoramento das variáveis de decisão da geração híbrida em tempo real via a plataforma de hardware microcontrolado Open Source, temperatura do ambiente externo, tensão e corrente no aerogerador e no módulo fotovoltaico, atingiu boa confiabilidade dos dados mensurados, baixo consumo energético e mínimo atraso entre a leitura e a exibição na tela de monitoramento.
- Foi possível analisar que a interface para o usuário, telas de monitoramento, é simples e de fácil acesso, requerendo apenas um computador ou um celular com conexão internet.
- Observa-se também que o posicionamento dos sensores foi estratégico contribuindo para uma transmissão de dados eficiente, apresentando atrasos na comunicação de microssegundos.
- Devido à dificuldade dos alunos na disciplina de Instrumentação Industrial propõe-se a utilização deste material em aulas práticas.

Como trabalho futuros sugere-se: término do servidor web para monitoramento da curva de geração diária; avaliação dos parâmetros mecânicos e aerodinâmicos de cada turbina eólica com envio de mensagens para o setor de manutenção da planta de geração diariamente; monitoramento da carga e descarga das baterias.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Pernambuco Campus Garanhuns.

REFERÊNCIAS

- Almeida, A. T. P., Silva, M. M., 2011. Desenvolvimento e Montagem de um Gerador Eólico com Pás Compósitas. Trabalho de Conclusão de Curso, UnB, Brasília.
- Alminana, C. C., Penreiro, J. C., 2013. Montagem e Testes de uma Turbina Eólica de Pequeno Porte. Campinas – São Paulo, CIC 2013 - Congresso de Iniciação Científica da PUC-Campinas, Campinas.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2019. Rede Hidrográfica Nacional. Disponível em: ana.gov.br/panoramadasaguas/quantidade-da-agua. Acesso em: 24/10/2019.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2019. Matriz de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www2aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 31/10/2019.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. Energia Eólica. Disponível em: https://aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_3.htm. Acesso em: 28/10/2019.
- Arduino. 2014. Download the Arduino IDE. 2p. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/main/software>. Acesso em: 28/10/2019.
- Azevedo, A. L. G., Coelho, T. F. L., 2014. Projeto e Implementação de Sistema Supervisório para Gerador Eólico. Trabalho de Conclusão de Curso, UTFPR. Curitiba.
- Bertoletti, P. Planta IoT com ESP8266 NodeMCU – Parte 1. 2015. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/planta-iot-com-esp8266-nodemcu/>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2020.
- Júnior, E. A., 2014. Estratégias de Conversor para Interligação de Sistemas de Geração Eólica à Rede Elétrica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica e Computação, UFRN. Natal.
- Martinello, D. A., 2015. Sistema de Emulação de Aerogeradores para Aplicações em Geração Distribuída de Energia Elétrica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, UTFPR. Pato Branco.
- MME. Ministério de Minas e Energia, 2016. Energia Solar no Brasil e Mundo. n. 8., pp. 2-8.
- SECTI. Secretaria de Estado da Ciência, da Tecnologia e da Inovação, 2013. Atlas eólico Bahia. Disponível em: https://www.secti.ba.gov.br/atlasweb/climatologia_p2.html.
- Tibola, G., 2009. Sistema Eólico de Pequeno Porte para Geração de Energia Elétrica com Rastreamento de Máxima Potência. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, UFSC. Florianópolis.

DESIGN AND ASSEMBLY OF TEACHING WORKBENCH WITH RENEWABLE SOURCES HYBRID

Abstract. *The main objective of this work is to design and construct a low-cost solar, wind hybrid energy-teaching workbench for use in studies of the major areas of current power generation. With the hybrid bench will be possible practical classes, research and extension projects, as well as completion of course work, since the bench has a variable monitoring system through a microcontroller responsible for collecting current, voltage, power data and real time temperature of solar panels and wind turbine. To make the bench were required knowledge on sizing of wind turbines and off-grid photovoltaic panels. Then the installation of solar panels, battery bank, protection and control system, microcontroller, sensors for gauging variables and wind turbine at the IFPE-Campus Garanhuns began. In parallel to the workbench installation, seven experiment guides were made that can be used in the hybrid workbench, covering all workbench components. When the installation of all components and the creation of the guides were completed, programming codes were developed to be inserted into the microcontroller so that it could perform data collection. Finally, because of the construction of the wind and solar hybrid energy workbench and its potential use in research at the IFPE-Campus Garanhuns laboratory, in addition to understanding the studies and respecting the growing type of energy.*

Key words: *Didactic Prototype, Hybrid Energy, Instrumentation.*