

METODOLOGIA COMPLEMENTAR DE APRENDIZAGEM DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COM BASE NA ANÁLISE ENERGÉTICA DE UMA MICRORREDE ISOLADA

COMPLEMENTARY LEARNING METHODOLOGY OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY BASED ON ENERGETIC ANALYSIS AN ISOLATED MICROGRID

DOI: 10.5935/2236-0158.20180017

Stefanie Bator,¹ João Batista Dias²

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi criar um ambiente virtual como metodologia complementar de aprendizagem da energia solar fotovoltaica, denominado “plataforma de pesquisa e ensino a distância”. Tal metodologia foi desenvolvida a partir das análises elétrica e energética de uma microrrede híbrida fotovoltaica isolada, com estocagem de energia, em funcionamento na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). A partir das análises, foram elaboradas atividades práticas e aplicadas aos alunos da disciplina “Energia Solar Fotovoltaica”, do curso de Engenharia de Energia. A microrrede alimenta uma carga com perfil de consumo energético diário programável, desenvolvido para representar uma residência padrão de uma comunidade. A potência fotovoltaica total instalada é de 570 W pico, utilizando-se duas tecnologias de módulos fotovoltaicos (monocristalino e multicristalino), inversor senoidal puro, controladores de carga e banco de baterias. Como resultado, constatou-se que a microrrede está funcionando de forma adequada e que, através do acesso às medições, diversos estudos e análises podem ser realizados, auxiliando o entendimento do sistema. A metodologia e nível das tarefas propostas mostraram-se coerentes, tendo aceitação por parte dos alunos.

Palavras-chave: Plataforma de ensino; energia solar fotovoltaica; análise energética.

ABSTRACT

The objective of this work was to create a virtual education environment as a complementary learning methodology of photovoltaic solar energy, called “platform for research and distance learning”. This methodology was developed by electrical and energy analysis of an isolated microgrid powered by a photovoltaic system operating in the Unisinos University. From the analysis, practical activities were developed and have been developed and applied to students of “Photovoltaics Solar Energy” class of the Energy Engineering Course. The microgrid supplies a load with programmable daily energy consumption profile developed to represent a standard residence community. The total installed PV power is 570 W peak, using two photovoltaic cell technologies (monocrystalline and multicrystalline), pure sine inverter, charge controller and battery bank. As a result, it was found that the microgrid is working adequately and through access to measurements, studies and analyzes can be performed, assisting in the understanding of the system. The methodology and the level of proposed tasks proved consistent, and acceptance by the students.

Keywords: Teaching platform; photovoltaic solar energy; energy analysis.

1 Graduação em Engenharia de Energia; Bolsista de Iniciação Científica CNPq do Núcleo de Pesquisas do PPG da Engenharia Mecânica da UNISINOS; sbator@hotmail.com

2 Professor e pesquisador no PPG em Engenharia Mecânica da UNISINOS; joaobd@unisinos.br

INTRODUÇÃO

As mudanças provocadas pelo aumento do uso de sistemas computadorizados atingem profissionais de diferentes setores e níveis de capacitação (MARCONI; PULGA, 2006). Nesse contexto de sociedade informatizada, a adoção de ambientes virtuais de aprendizagem tem mostrado um enorme potencial no âmbito educacional, melhorando o nível de comunicação e interação entre professores e alunos (MORAIS; CABRITA, 2010).

Tratando-se do ensino superior, esses ambientes virtuais despertam interesse ao permitirem estender a aprendizagem para além do ambiente e do tempo em sala de aula. (MORAIS; CABRITA, 2008). A aprendizagem pode ser conciliada em ambientes presenciais e virtuais, possibilitando um melhor entendimento das teorias e atividades desenvolvidas no processo de ensino-aprendizagem (HERRINGTON; REEVES; OLIVER, 2010; ROSENBERG, 2000).

Adicionalmente, as áreas da engenharia que trabalham no ramo de energia têm priorizado o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, surge a oportunidade de investir em outras fontes de energia e incentivar a formação de pequenos centros de geração que aliviem a dependência do Sistema Interligado Nacional (SIN), que ainda hoje é baseado em grandes centrais hidrelétricas (ROCHA *et al.*, 2014). O potencial de sistemas solares fotovoltaicos vem aumentando graças aos incentivos feitos pelo governo federal, o que é interessante para o Brasil, por introduzir energia elétrica em comunidades isoladas com difícil acesso ao SIN (BRASIL, 2007).

Nesse cenário, abre-se espaço para o desenvolvimento de um novo modelo no gerenciamento de energia, as chamadas microrredes. O conceito de microrrede vem do emprego de geração distribuída utilizada para suprir cargas localmente, caracterizado por ser um sistema de fornecimento de energia elétrica com base em múltiplas fontes, conhecido como geração híbrida (REY-LÓPEZ *et al.*, 2015).

Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma plataforma de pesquisa e ensino a distância como metodolo-

gia complementar de aprendizagem da energia solar fotovoltaica. Tal plataforma utiliza como ambiente prático de aprendizagem uma microrrede híbrida fotovoltaica isolada, instalada na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

REFERENCIAL TEÓRICO

Tecnologias de informações na educação

Atualmente, o processo de educação necessita de mudanças, a fim de fornecer uma formação flexível, possibilitando ao profissional adquirir as habilidades necessárias para acompanhar a velocidade das inovações tecnológicas (ZUIN, 2006). Além disso, muitos docentes já constataram que há a necessidade de buscar por técnicas que aumentem o envolvimento e a aprendizagem do aluno (HAHN; PASSERINO, 2011).

Entre as modalidades de ensino, tem-se a Educação a Distância (EaD) que, ao contrário da metodologia tradicional, elimina as barreiras impostas pela distância física, uma vez que as atividades acadêmicas não necessitam ocorrer com a presença simultânea de educandos e docentes em um espaço físico e necessariamente em horários marcados (SARMET; ABRAHÃO, 2007). Um dos modelos da educação a distância é o *e-Learning*, que permite a autoaprendizagem, com o intermédio de recursos didáticos oferecidos em diferentes suportes tecnológicos de informação e veiculados pela Internet (PALADINO; PERES, 2007). O modelo que inclui aulas presenciais nesse sistema é conhecido como *Blended Learning* ou *b-learning*, que é a combinação de instruções presenciais com funcionalidades de *e-learning*, para diminuir as debilidades de ambos os sistemas (MARIÑO, 2006).

Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão direta da radiação solar em eletricidade, conhecida como efeito fotovoltaico. Cria-se uma corrente e uma tensão elétricas, gerando uma potência fotovoltaica. Durante esse processo, ocorre a absorção da radiação solar pelo material e a transferência de energia dos

fótons para as cargas elétricas (FERNANDES, 2014). Para que isso ocorra, a irradiância proveniente do sol deve incidir sobre as células fotovoltaicas compostas de materiais semicondutores com propriedades específicas (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

Um sistema fotovoltaico isolado é, geralmente, composto por módulos fotovoltaicos, controlador de carga, banco de baterias e conversor de corrente contínua para corrente alternada, denominado inversor. Um painel fotovoltaico é composto por um conjunto de módulos associados em uma mesma estrutura, que, por sua vez, são formados por um conjunto de células (FERNANDES, 2014). No módulo, as células são conectadas em série, com o intuito de se obter tensões mais elevadas, enquanto os módulos são associados em paralelo, para se atingir maior corrente elétrica.

O inversor é um equipamento elétrico que converte a corrente contínua c.c., produzida pelos módulos fotovoltaicos ou armazenada no banco de baterias, em alternada c.a., sendo esta necessária para alimentar cargas elétricas em corrente alternada (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

O banco de baterias é a unidade de armazenamento da energia gerada, sendo as mesmas associadas em série e em paralelo para alcançarem-se, respectivamente, valores de tensão e corrente desejados. A instalação de baterias é indispensável em um sistema isolado, uma vez que os módulos fotovoltaicos não garantem a cobertura total das aplicações elétricas (NUNES, 2014).

O controlador de carga é o responsável pela duração da vida útil do banco de baterias. Sua função é a de proteger as baterias de serem sobrecarregadas ou descarregadas profundamente, garantindo que toda a energia produzida seja armazenada com maior eficácia (DÍAZ; LORENZO, 2001). Com o intuito de melhorar a eficiência da extração de energia dos módulos, eles também podem ser dotados de um seguidor de ponto de máxima potência – SPMP. O SPMP consiste em um processo de controle no qual se procura manter o gerador fotovoltaico operando em uma região da sua curva característica, na qual o produto corrente X tensão tenha o seu valor máximo (PRIEB, 2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho, do ponto de vista de sua natureza, é uma pesquisa aplicada, pois visa a produzir conhecimentos para aplicação prática voltada ao desenvolvimento de uma plataforma virtual de aprendizagem. Quanto à forma de abordagem do problema, trata-se de uma pesquisa qualitativa, porque o ambiente é a fonte direta para coleta de dados, não requerendo o uso de métodos e técnicas estatísticas. Do ponto de vista dos seus objetivos, é descritiva, pois tem a finalidade de analisar os fenômenos indutivamente, sem manipulá-los (PRODANOV; FREITAS, 2013).

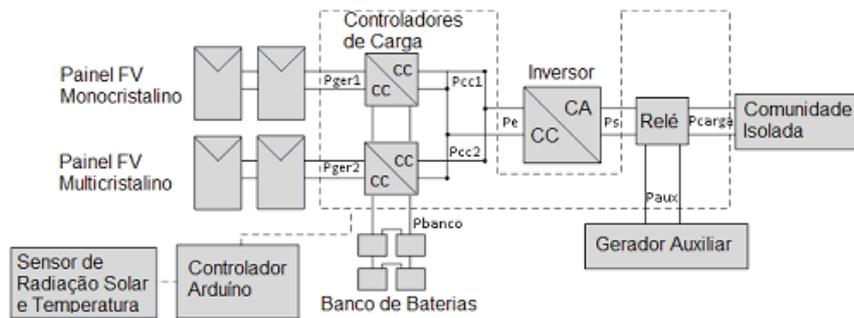
Microrrede híbrida fotovoltaica

A microrrede analisada neste trabalho é considerada híbrida, pois usa como segunda fonte, ou fonte auxiliar, a rede da concessionária. Outras fontes de energia, como pilha combustível, gerador a biodiesel, entre outros, poderiam ser utilizadas para suprir a demanda nos dias em que o banco de baterias estivesse em nível mínimo.

A potência fotovoltaica total instalada, na condição padrão, é de 570 W pico, utilizando-se duas tecnologias de módulos fotovoltaicos (monocristalino e multicristalino), a uma inclinação de 30° (direção norte). O banco de baterias do sistema possui capacidade nominal de 200 Ah e tensão de 24 V. O sistema de aquisição de dados é composto por um Arduino, que faz a gestão de toda a microrrede, e por dois controladores de carga. Os controladores medem corrente e tensão elétricas. Já as medições de radiação solar e temperaturas do ar e de módulo são adquiridas pelos sensores Sunny Sensorbox e PT100, respectivamente.

Todas as medições citadas são enviadas para o OneDrive, em tempo real, e disponibilizadas automaticamente na plataforma de ensino. Os equipamentos da microrrede são mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama da microrrede híbrida fotovoltaica.



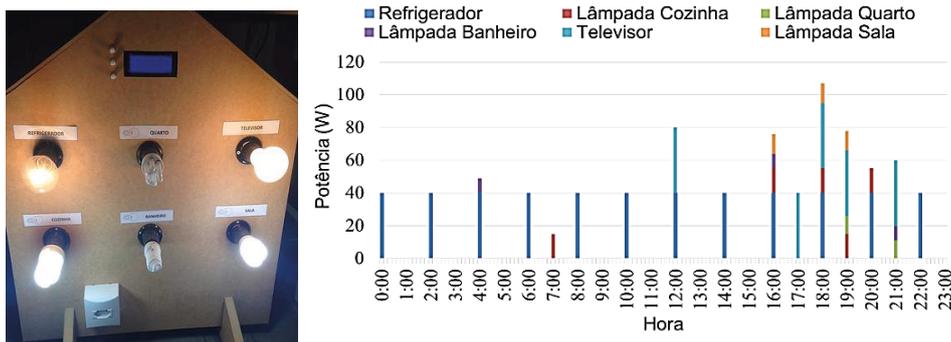
Fonte: elaboração dos autores.

O dimensionamento da microrrede foi baseado em um atendimento de cargas limitado a uma potência de 1 kW. Utilizou-se como referência uma carga com perfil predeterminado, representada por um protótipo de uma residência padrão de uma comunidade, como mostra a Figura 2 (a). Cada lâmpada representa um aparelho da residência que consome energia. As lâmpadas utilizadas são de 40 W, 15 W, 11 W, 9 W e 12 W, representando o consumo de um pequeno refrigerador e televisor, lâmpada da cozinha, lâmpada do quarto, lâmpada do banheiro e lâmpada da sala, respectivamente.

O perfil de consumo da residência, visto na Figura 2 (b), evidencia os horários do dia em

que as lâmpadas foram programadas para ligar e desligar. Para economizar energia, elas ligam no início da hora e ficam ligadas durante um intervalo de dez minutos, permanecendo desligadas nos 50 minutos restantes. Os consumos de energia diário e mensal desse protótipo de residência, em 220 volts, são de 140 Wh e 4200 Wh, respectivamente. O modelo não representa necessariamente o consumo de uma residência real, sendo o perfil desenvolvido pensando-se na realização das atividades práticas experimentais para a avaliação do comportamento de carga e descarga do banco de baterias no âmbito educacional.

Figura 2 – (a) Protótipo de uma residência e equipamentos de consumo; e (b) perfil de consumo para o protótipo de residência.



Fonte: elaboração dos autores.

Para que a microrrede operasse de forma inteligente, utilizou-se o controlador Arduino para fazer a sua gestão. Esse equipamento auxilia no controle e na distribuição de energia elétrica da microrrede e é capaz de coordenar o funcionamento de diferentes conjuntos de cargas. Os dois controladores de carga utilizados,

modelo tracer-2210RN, possuem a tecnologia MPPT (rastreamento de ponto de máxima potência), ideal para sistemas fotovoltaicos isolados. Internamente, há um algoritmo de acompanhamento inteligente que maximiza a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos e carrega o banco de baterias, evitando a sobrecarga acima

do nível máximo e a descarga abaixo do nível considerado mínimo, em torno de 30% da capacidade nominal do mesmo. Nos dias de baixa radiação solar, a carga armazenada nas baterias é utilizada para suprir a demanda. Quando a estocagem atinge seu nível mínimo estabelecido no controle de segurança do sistema, utiliza-se o gerador de energia auxiliar, que, nesse caso específico, é a rede da concessionária.

Cada controlador de carga está conectado a um painel de módulos fotovoltaicos, monocristalino e multicristalino. Na entrada do controlador de carga 1, tem-se a potência elétrica P_{ger1} , proveniente do painel monocristalino, e na entrada do controlador de carga 2, a potência elétrica P_{ger2} , proveniente do painel multicristalino, conforme Eq. (1) e Eq. (2).

$$P_{ger1} = I_{ger1}V_{ger1} \quad (1)$$

$$P_{ger2} = I_{ger2}V_{ger2} \quad (2)$$

Na saída dos controladores de carga, tem-se as potências P_{cc1} e P_{cc2} , Eq. (3) e Eq. (4), responsáveis por carregar o banco de baterias P_{banco} e fornecer potência elétrica ao inversor P_e , Eq. (5). Respectivamente, η_{SPMP1} e η_{SPMP2} representam as eficiências dos seguidores do ponto de máxima potência dos controladores de carga 1 e 2.

$$P_{cc1} = \eta_{SPMP1}P_{ger1} \quad (3)$$

$$P_{cc2} = \eta_{SPMP2}P_{ger2} \quad (4)$$

$$P_e = P_{cc1} + P_{cc2} + P_{banco} \quad (5)$$

Uma vez que o banco de baterias e a entrada do inversor estão no mesmo potencial elétrico, Eq. (6), as potências de entrada e saída do inversor podem ser expressas pelas Eq. (7) e Eq. (8), respectivamente, onde η_{inv} representa a eficiência do inversor. I_{cc1} , I_{cc2} e I_{banco} são as correntes elétricas de cada controlador de carga e do banco de baterias, respectivamente, fornecidas para o inversor.

$$V_{cc1} = V_{cc2} = V_{banco} = V_e \quad (6)$$

$$P_e = (I_{cc1} + I_{cc2} + I_{banco})V_e \quad (7)$$

$$P_s = \eta_{inv} \times P_e \quad (8)$$

Para melhor entendimento do funcionamento da microrrede híbrida fotovoltaica e posterior formulação das atividades práticas, analisaram-se as medições obtidas do sistema de aquisição de dados em um intervalo de amostragem de 1 minuto, resultando em 1.440 coletas diárias. Foi utilizado como carga o perfil de consumo residencial programado, Figura 2 (b). A verificação do funcionamento elétrico da microrrede foi baseada nas análises gráficas da irradiância, temperatura, tensão e corrente. As informações coletadas foram organizadas e tabuladas em planilhas do *software* Microsoft Excel para realização dos cálculos.

Desenvolvimento de atividades para a plataforma

As medições disponibilizadas permitem que sejam feitos estudos sobre as características elétricas e energéticas da microrrede. Esses dados foram usados para o desenvolvimento e resolução das atividades práticas, a fim de instigar os alunos à pesquisa e averiguação do funcionamento do sistema, de forma orientada. Isso possibilita a aprendizagem da energia solar fotovoltaica utilizando-se dados reais de um sistema em pleno funcionamento, unindo-se a teoria com a prática. Para o desenvolvimento das atividades, buscou-se que os alunos tivessem uma evolução gradual do conhecimento do tema, iniciando-se por exercícios nos quais o objetivo fosse avaliar o comportamento da energia do fóton e a irradiância incidente nos módulos fotovoltaicos, até focar na caracterização elétrica e energética da microrrede. Na Tabela 1, tem-se uma vista geral dos temas abordados em cada atividade.

Tabela 1 – Informações sobre as atividades desenvolvidas para a plataforma.

Atividade	Título
1	Análise da energia do fóton na faixa de comprimento de onda do espectro visível.
2	Análise das características dos módulos fotovoltaicos da microrrede na condição padrão.
3	Análise da potência dos módulos fotovoltaicos usando a irradiância e a temperatura do ar.
4	Análise da curva I x V do arranjo fotovoltaico da microrrede com o programa <i>CREARRAY</i> .
5	Determinação da eficiência dos controladores de carga.
6	Análise da carga e descarga do banco de baterias.
7	Análise do comportamento do inversor conectado às cargas.

Fonte: elaboração dos autores.

Como sequência, a fim de desenvolver um ambiente virtual para a disponibilização das atividades, criou-se uma página web com informações sobre todos os equipamentos que compõem a microrrede, bem como as medições extraídas do sistema de aquisição de dados. A plataforma concede dados em tempo real de irradiância, temperatura do ar, temperatura do módulo fotovoltaico, tensão e corrente elétrica.

Aplicação das atividades

As atividades foram aplicadas à turma de Energia Solar Fotovoltaica, da Unisinos, cujas aulas ocorreram uma vez por semana, das 19h30min às 22h23min. A turma é composta por doze alunos, dos cursos de Engenharia de Energia, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica e Engenharia Ambiental.

A cada semana, disponibilizou-se uma atividade coerente com os assuntos já abordados na disciplina. Todos os materiais de aula, que serviram de apoio para a realização das atividades, foram publicados na Plataforma. Os alunos tinham uma semana como prazo para a realização da tarefa e posterior apresentação oral na aula seguinte, quando eram feitas as correções e discussões sobre a temática. Dessa forma, foi possível identificar os pontos nos quais os alunos apresentaram mais dificuldades e qual seria a melhor forma de enunciar os problemas propostos.

A percepção dos acadêmicos da disciplina sobre a experiência de utilizar a plataforma experimental foi importante para o aprimoramento

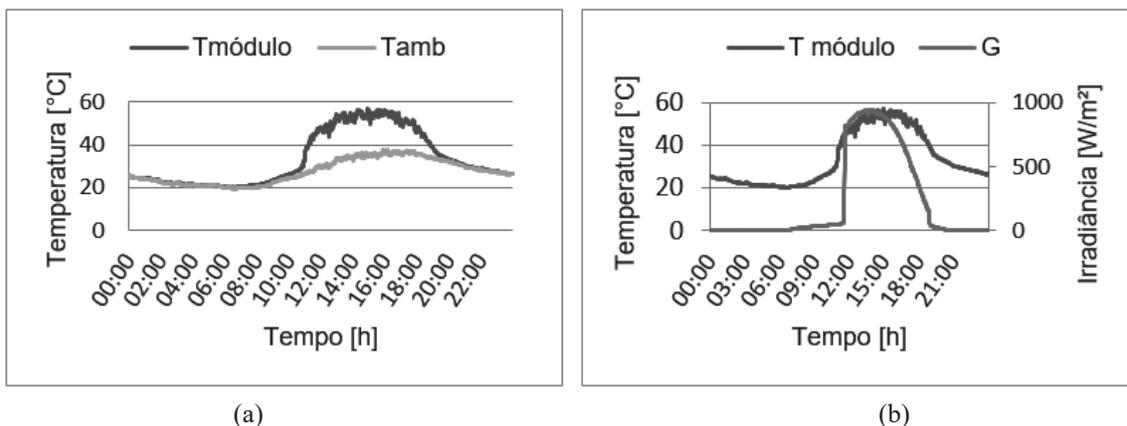
e a verificação da funcionalidade da mesma, permitindo, que gradativamente, as melhoras fossem realizadas. Foi-lhes disponibilizado um questionário sobre o ambiente virtual em que estiveram envolvidos durante as atividades. A partir das respostas obtidas, foram feitas reflexões em torno de algumas das questões formuladas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise elétrica e energética

As medições disponibilizadas pelo sistema de aquisições de dados foram armazenadas e permitiram a avaliação do comportamento elétrico e energético da microrrede. Os valores de irradiância e temperatura do módulo ou célula determinam o ponto de operação dos geradores fotovoltaicos, que não são uma fonte linear de potência. As características elétricas dos módulos são geralmente estimadas sob condição de teste padrão, em que a irradiância solar é 1.000 Wm^2 , a temperatura da célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e a massa de ar igual a 1,5. Dificilmente a temperatura de teste padrão será alcançada em condições reais de operação, sendo tipicamente maior que a temperatura ambiente (PINHO; GALDINO, 2014), como mostra a Figura 3 (a). Nessas condições, as influências dos parâmetros temperatura e irradiância, Figura 3 (b), justificam a importância do monitoramento das características elétricas e térmicas de módulos.

Figura 3 – Temperaturas de módulo e do ambiente e irradiância.



(a)

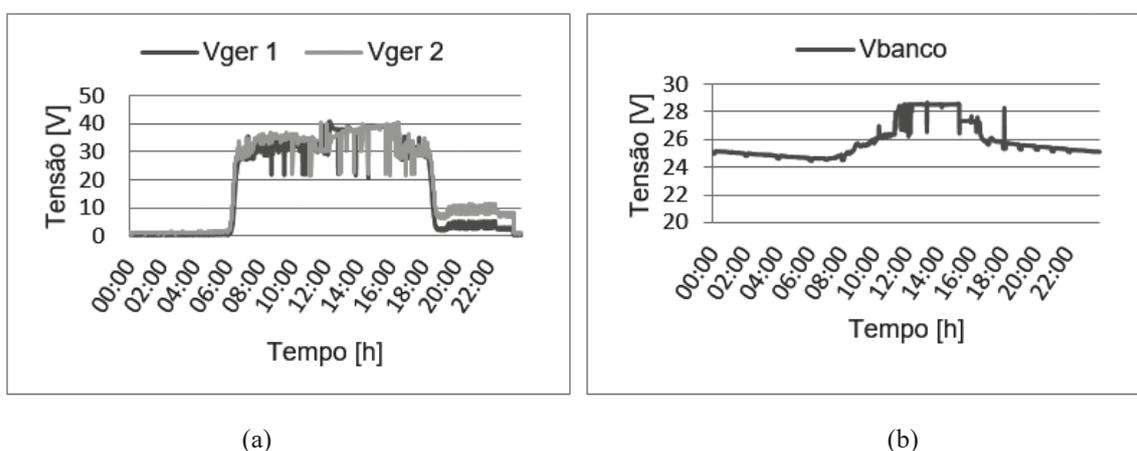
(b)

Fonte: elaboração dos autores.

Nota-se que na Figura 3 (b) a temperatura do módulo fotovoltaico é diretamente proporcional à irradiância. Dessa forma, apesar de haver uma maior produção de energia nos dias de céu claro (ensolarados), em relação aos dias encobertos, haverá também decréscimos de eficiência de conversão, bem como reduções de potência do módulo fotovoltaico, decorrentes da alta temperatura.

A Figura 4 (a) mostra o gráfico da tensão de saída dos painéis ou geradores fotovoltaicos V_{ger1} e V_{ger2} , podendo ser verificado que existe uma variabilidade natural no valor da tensão devido à irradiância e execução do SPMP dos controladores de carga. Sendo distintas as tecnologias de módulo empregadas nos dois painéis, há uma diferença entre os valores de tensão de cada um.

Figura 4 – (a) Tensão de saída dos geradores fotovoltaicos e (b) do banco de baterias.



(a)

(b)

Fonte: elaboração dos autores.

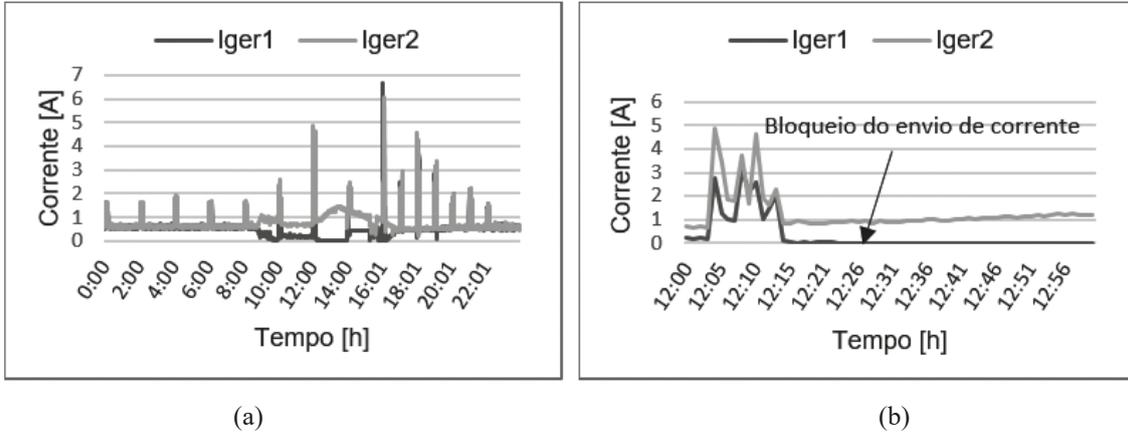
Próximo das 12 horas, a tensão do painel de módulos multicristalinos começa a aumentar, devido ao fato de o controlador de carga ter detectado carga máxima no banco de baterias, Figura 4 (b), e interromper o envio de energia ao mesmo. A partir das 18 horas, quando o sol se põe, nota-se a queda de tensão em ambos os painéis, apresentando apenas alguma interferência da iluminação noturna próxima ao local de instalação dos módulos.

A corrente elétrica máxima fornecida pelos dois geradores I_{ger1} e I_{ger2} nesse dia pode ser vista na Figura 5 (a), alcançando 6,07 e 6,64 A, respectivamente, para os módulos multicristalino e monocristalino. A diferença entre as correntes ocorre em função da diferença de potência dos módulos, com praticamente a mesma tensão de operação. Nota-se que, próximo às 12h15min, o banco de baterias é carregado por completo, como pode ser visto na Figura

5 (b). Nesse caso, o controlador de carga do painel monocristalino detectou que o banco de baterias foi totalmente carregado, bloqueando o envio de energia para o sistema. A partir des-

se momento, o controlador de carga do painel multicristalino manteve o envio de corrente somente para suprir a demanda da carga acionada.

Figura 5 – Corrente elétrica fornecida pelos geradores fotovoltaicos.

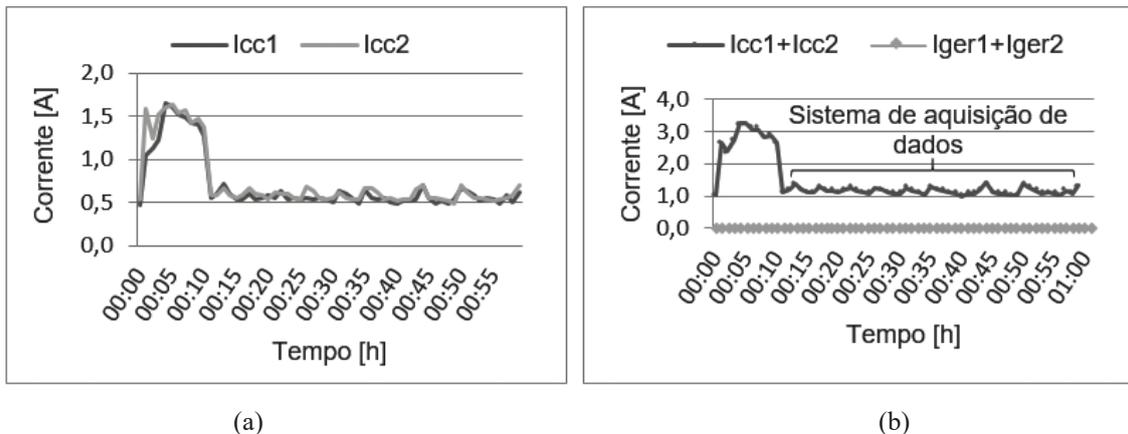


Fonte: elaboração dos autores.

As correntes de saída dos controladores de carga alimentam a entrada do inversor. Na Figura 6 (a), é possível observar o comportamento da corrente elétrica de saída de cada controlador I_{cc1} e I_{cc2} para a primeira hora do dia. Conforme o perfil de carga proposto, nos primeiros dez minutos, tem-se o consumo do refrigerador, somado ao sistema de aquisições de dados, que é em torno de 3,26 A. Por meio da

Figura 6 (b), pode-se identificar a corrente mínima exigida pelo sistema de aquisição de dados, que é em média 1,3 A. Além disso, nota-se que os módulos fotovoltaicos não estão gerando energia, uma vez que não há radiação solar durante a noite. Dessa forma, constata-se que a corrente elétrica é disponibilizada pelo banco de baterias.

Figura 6 – Correntes de saída dos controladores de carga.

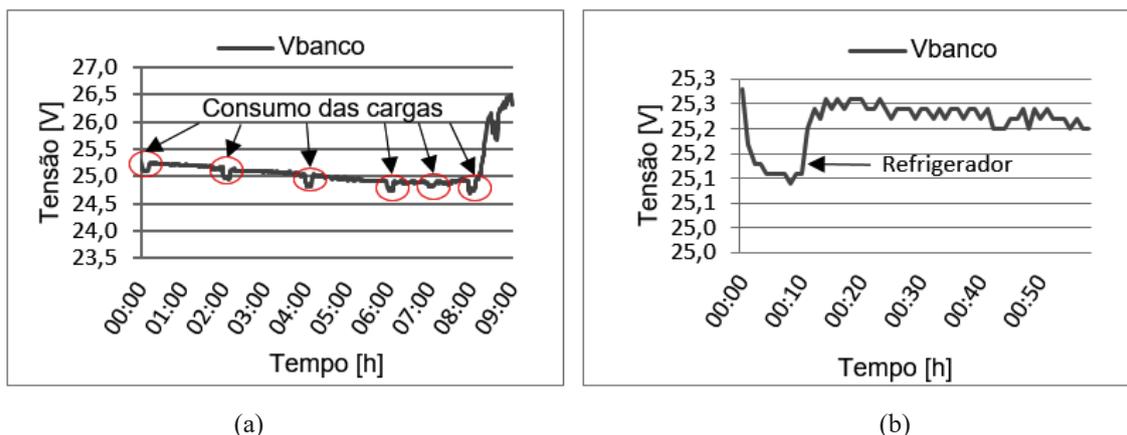


Fonte: elaboração dos autores.

Uma vez que o consumo de energia pelas cargas durante a noite é fornecido pelo banco de baterias, a mesma sofre uma descarga. Na

Figura 7, a seguir, apresenta-se a variação da tensão do banco de baterias V_{banco} em função do tempo para dois momentos distintos.

Figura 7 – Tensão do banco de baterias para dois momentos distintos.



Fonte: elaboração dos autores.

Na Figura 7 (a), observa-se a lenta redução da carga, no transcorrer da noite, até aproximadamente as 6 horas da manhã, quando o comportamento da curva varia e o banco de baterias volta a se carregar. Isso ocorre devido ao aumento da irradiância. Os momentos de descarga mais acentuados são imediatamente após alguma carga ser ligada, conforme o perfil de consumo, ocorrendo uma rápida queda da tensão por efeito da resistência interna da bateria.

Na Figura 7 (b), pode-se ver com maiores detalhes o perfil de descarga do banco de baterias, no qual o refrigerador se mantém ligado durante os primeiros dez minutos do dia, entre 0h e 0h10min. Com o aumento de corrente demandado pela carga, tem-se uma maior descarga. Das 0h10min à 1h00min, nota-se que a bateria segue descarregando-se de uma forma mais lenta, suprindo apenas o sistema de aquisições de dados. Para o perfil de cargas apresen-

tado nesse protótipo, a autonomia do banco de baterias é da ordem de 6 dias. Se considerado o consumo do perfil de cargas somado ao do sistema de aquisições de dados, a mesma diminui para aproximadamente 3,6 dias.

Através da análise dos resultados, notou-se que a microrrede está funcionando de forma adequada. O acesso às medições possibilita diversos estudos e análises, auxiliando no entendimento do sistema e de que forma ocorre o fluxo de energia nos diferentes períodos do dia.

Plataforma experimental de pesquisa e ensino

Em sequência à formulação das atividades práticas, desenvolveu-se a Plataforma Experimental de Pesquisa e Ensino a Distância,³ cuja interface pode ser vista na Figura 8.

Figura 8 – Interface da Plataforma Experimental de Pesquisa e Ensino a Distância desenvolvida e instalada na Unisinos.



Fonte: acervo dos autores (site da plataforma: <<http://plataformadepesquisa.wix.com/microrrede>>).

³ O acesso se dá através do endereço <<http://plataformadepesquisa.wix.com/microrrede>>.

Através do “Menu” da página inicial, é possível acessar seis páginas: “Início”, “Sobre”, “Microrrede Híbrida Fotovoltaica”, “Equipamentos do Sistema Fotovoltaico”, “Atividades Práticas” e “Bibliografia complementar”.

Na página “Início”, tem-se uma abordagem geral sobre o propósito da plataforma, havendo ícones para acesso direto das atividades práticas, materiais de aula e medições do sistema. Apresentam-se fotos dos módulos fotovoltaicos da microrrede e do laboratório onde se encontra o sistema de controle e demais equipamentos. Além disso, têm-se três ícones com mais informações sobre a plataforma, sistema híbrido e energia solar. Na página “Sobre”, discute-se a respeito do projeto, explicitando em que consiste a plataforma e qual é a sua aplicação. Na página “Contato”, pode-se deixar comentários e contatar os responsáveis pelo projeto.

Em “Microrrede híbrida fotovoltaica”, descreve-se a microrrede através da qual foram realizadas as atividades práticas, tratando-se dos equipamentos, diagrama unifilar e sistema de controle. Em “Equipamentos do Sistema Fotovoltaico”, caracteriza-se cada componente do sistema, como módulo fotovoltaico, inversor, banco de baterias, entre outros. Acessando-se a página “Atividades Práticas”, tem-se acesso às atividades desenvolvidas, que é restrita aos alunos do curso. Na página “Bibliografia complementar”, são disponibilizados dissertações e artigos referentes ao tema de energia solar fotovoltaica.

Por meio da aplicação das atividades desenvolvidas a um grupo de alunos, para que pudesse ser verificado se a metodologia e o nível das tarefas propostas estavam coerentes, foi possível identificar as dificuldades e formas de melhorar as tarefas disponibilizadas na plataforma. Disponibilizou-se um questionário de avaliação para os estudantes e, através de uma análise refletiva das respostas, os alunos se mostraram favoráveis em relação ao grau de dificuldade na utilização da plataforma, à organização da estrutura da interface e à importância do ambiente virtual na construção do conhecimento. Afirmaram que tiveram facilidade de acesso e puderam aprimorar seus conhecimentos de

energia solar através da realização das atividades. Tratando-se da complexidade dos exercícios propostos, 77,8% dos alunos afirmam ter conseguido resolver as atividades a distância com uso do material de apoio disponibilizado na plataforma, sendo que o restante procurou informações adicionais ou auxílio para maior entendimento dos enunciados. Adicionalmente, comentaram que o ambiente virtual apresentou todos os recursos necessários para o pleno acompanhamento do curso, atendendo aos objetivos da disciplina.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o desenvolvimento da metodologia complementar de aprendizagem da energia solar fotovoltaica, foi realizada uma sequência de passos, incluindo a análise energética de uma microrrede isolada, a elaboração de atividades práticas pertinentes ao tema, implementação de uma plataforma experimental de pesquisa e ensino e aplicação do método em uma turma presencial. Por meio da realização das caracterizações elétricas e energéticas, a microrrede mostrou estar funcionando de forma adequada. O acesso a distância das medições permite o estudo do sistema, auxiliando no entendimento do funcionamento do mesmo para um perfil de consumo estipulado. Através da criação do ambiente virtual como apoio de aprendizagem presencial, os alunos puderam aprimorar seus conhecimentos na área de energia solar fotovoltaica, através da análise e interpretação de dados como irradiância, temperatura, corrente e tensão elétricas, cálculos de potência e energia, e carga e descarga do banco de baterias. O retorno da avaliação dos estudantes revelou que mais de 77% realizaram as atividades e acessaram a plataforma sem maiores dificuldades. Nota-se que os sistemas *b-learning* como apoio à formação presencial se adaptam ao modelo de ensino tradicional, fixando seu eixo central na aprendizagem por iniciativa do aluno. A implantação de uma metodologia complementar com uso da web resulta em fácil realização, por se tratar de uma plataforma gratuita e que não requer conhecimentos técnicos avançados.

Considerando-se a pesquisa-aprendizagem no ensino, o elemento inovador foi implan-

tar uma metodologia educacional fundamentada na interação de conteúdos teóricos com o uso da rede web e da microrrede em funcionamento, servindo como instrumento de pesquisa e execução de atividades práticas. Outro aspecto positivo é a possibilidade de aplicação da plataforma em outros cursos ou disciplinas e a boa aceitação pelos alunos de um novo modelo pedagógico. Além disso, a criação de tecnologias de aprendizagem através da web permite que uma instituição educacional possa compartilhar seus recursos com outras instituições de ensino. Por fim, a criação de tecnologias de aprendizagem permite a difusão do conhecimento em energia solar de forma ilimitada.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2016.
- DÍAZ, Pablo; LORENZO, Eduardo. Solar home system battery and charge regulator testing. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, Reino Unido, v. 9, 2001.
- FERNANDES, João Tiago da Cunha Teixeira. **Problemas de controlo e exploração de grandes unidades de produção solar fotovoltaica**. 2014. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade do Porto, Porto, 2014.
- HAHN, Raquel Usevicius; PASSERINO, Liliana. Análise da ação pedagógica em AVAs: um estudo de caso no MOODLE. **Ciência em Movimento**, Brasília, n. 26, 2011.
- HERRINGTON, Jan; REEVES, Thomas C.; OLIVER, Ron. **A guide to authentic elearning**. New York: Routledge, 2010.
- KYOCERA. KD135SX-UPU. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.kyocerasolar.com.br/site/arquivos/produtos/68.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2016.
- MARCONI, Neusa Maria; PULGA, Roseli Vicente. O computador no processo de ensino-aprendizagem: Prática e atuação de professores. **Planeta Educação**, 2006. Disponível em: <<http://www.planetaeducacao.com.br/portal/impressao.asp?artigo=1735>>. Acesso em: 10 jan. 2016.
- MARIÑO, Julio César González. B-Learning utilizando software libre, una alternativa viable en Educación Superior. **Revista Complutense de Educación**, Madrid, v. 17, n. 1, 2006.
- MORAIS, Nídia Salomé; CABRITA, Isabel. Ambientes virtuais de aprendizagem: Comunicação (as)síncrona e interação no ensino superior. **Revista PRISMA**, Porto, Portugal, n. 6, p. 158-179. 2010.
- MORAIS, Nídia Salomé; CABRITA, Isabel. *B-Learning*: impacto no desenvolvimento de competências no ensino superior politécnico. **Tékhnē – Revista de Estudos Politécnicos**, Barcelos, Portugal, v. 6, n. 9. ISSN: 1645-9911. 2008.
- MOTSCHNIG-PITRIK, Renate; MALLICH, Katharina. Effects of person-centered attitudes on professional and social competence in a Blended Learning paradigm. **Journal of Educational Technology and Society**, v. 7, n. 4, p. 176-192, 2004.
- NUNES, Ana Catarina Martinho. Sistema híbrido fotovoltaico / eólico / diesel aplicado a um navio, do ponto de vista energético, ambiental e económico. 2014. 120 f. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia) - Programa de Pós-Graduação em Energia e Bioenergia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.
- PADALINO, Yara; PERES, Heloisa Helena Ciqueto. *E-learning*: estudo comparativo da apreensão do conhecimento entre enfermeiros. **Revista Latino Americana de Enfermagem**, v. 15, n. 3, p. 397-403, 2007.
- PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014.
- PRIEB, César Wilhelm Massen. Determinação da eficiência de segmento de máxima potência de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição. 2011. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013.
- REY-LOPEZ, Juan Manuel *et al.* Generalities about design and operation of microgrids. **Dyna**, Medellín, Colômbia, v. 82, n. 192, p. 109-119, 2015.
- ROCHA, Leonardo da Silva *et al.* O potencial de geração de energia fotovoltaica integrada à rede pública de distribuição: “um exemplo de Açailândia

para o Maranhão”. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 3, p. 107-127, 2014.

ROSENBERG, Marc J. **E-learning: strategies for delivering knowledge in the digital age**. New York: McGrawHill. 2000.

SARMET, Maurício Miranda; ABRAHÃO, Júlia Issy. O tutor em educação a distância: análise ergonômica das interfaces mediadoras. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, n. 46, 2007.

VALLIM, Marcos Banheti Rabello. Em direção à melhoria do ensino na área tecnológica: a experiência de uma disciplina de introdução à Engenharia de Controle e Automação. 2000. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, **Jonas Rafael**. **Energia solar fotovoltaica – conceito e aplicações**: sistemas isolados e conectados à rede. São Paulo: Érica Ltda, 2013.

ZUIN, Antonio A. S. Educação a distância ou educação distante? O Programa Universidade Aberta do Brasil, o tutor e o professor virtual. **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 27, n. 96, 2006.

DADOS DOS AUTORES



João Batista Dias – Licenciatura Plena em Física e curso de extensão em Melhoramentos do Ensino de Física (PUCRS), mestrado em Engenharia na área de Fenômenos de Transporte (UFRGS), doutorado em Engenharia na área de Sistemas Fotovoltaicos Conectados na Rede (UFRGS) e pós-doutorado no Laboratoire de Systèmes Physiques de l'Environnement, Université de Corse, na França, em sistemas fotovoltaicos em conexão com a rede elétrica. Trabalhou no Institut National de l'Énergie Solaire (INES) e atuou como pesquisador de Desenvolvimento Tecnológico Industrial DTI/CNPq, no Laboratório de Energia Solar da UFRGS. Atualmente é professor e pesquisador na área de energia solar fotovoltaica no PPGEM da UNISINOS e pesquisador associado ao Instituto Tecnológico itt-Fuse da UNISINOS.



Stefanie Bator – Graduação em Engenharia de Energia na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Bolsista de Iniciação Científica CNPq do Núcleo De Pesquisas PPG Engenharia Mecânica, na área de energia solar fotovoltaica.