IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DOIS GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS DIRETAMENTE NO BARRAMENTO C.C. DO LABORATÓRIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS/MINIRREDES (GEDAE/UFPA)

Jorge Augusto Leal Correa – jorge_augusto_leal@hotmail.com
Claudomiro Fábio de Oliveira Barbosa – cfob@ufpa.br
Marcos André Barros Galhardo – galhardo@ufpa.br
João Paulo Alves Veríssimo – verissimo.joaop@gmail.com
Israel Hidai Lobato Lemos – israellemos94@gmail.com
Edinaldo José da Silva Pereira – edinaldojsp@ufpa.br
João Tavares Pinho – jtpinho@ufpa.br
Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas, Faculdade de Engenharias Elétrica e Biomédica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará

Resumo. *Este trabalho discorre sobre o processo de implantação de dois geradores fotovoltaicos conectados ao barramento de 48 Vc.c. do Laboratório de Sistemas Híbridos/Minirredes localizado no Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE). Para tanto, são descritos os principais objetivos e componentes do Laboratório. As informações do processo de montagem, instalação e comissionamento dos subsistemas introduzidos são também aqui apresentadas de forma sucinta. Os resultados dos ensaios operacionais mostram a produção, perdas, e eficiências de cada subsistema. Avaliando-se os resultados obtidos, verificam-se alguns valores abaixo do esperado, como, por exemplo, a eficiência dos controladores com valores de aproximadamente 90 % (sob condições de carregamento acima de 20 %) e as Performance Ratio dos subsistemas, com valores um pouco abaixo de 80 %. Sombreamentos parciais, tensões de entrada dos controladores de carga e a dispersão de parâmetros entre módulos são alguns fatores que podem justificar tais resultados.*

Palavras chave: *Sistemas Fotovoltaicos, Sistemas Híbridos de Energia, Minirredes.*

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um bem indispensável para o processo de desenvolvimento da sociedade e, para isso, deve estar acessível para todos de forma confiável, segura e com qualidade. De acordo com a Agência Internacional de Energia, existem hoje no mundo, cerca de 1,1 bilhão de pessoas sem acesso à energia elétrica (IEA, 2017).

No Brasil, um dos principais motivos da ausência de energia elétrica está relacionado à condição de pobreza, em conjunto com a situação de isolamento geográfico e a baixa densidade populacional, o que é verificado principalmente em vários locais das regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste. Deste modo, torna-se economicamente inviável a conexão dessas localidades com a rede convencional de energia elétrica.

Deparando-se com esse problema, outras formas de geração de eletricidade precisam ser exploradas. No campo de abrangência dos sistemas isolados, uma alternativa eficiente são os sistemas híbridos de energia, os quais comumente utilizam as fontes renováveis de energia como, por exemplo, solar fotovoltaica e eólica e, como complementação, grupos geradores a óleo combustível, e realizam a distribuição da energia por intermédio de minirredes.

Entretanto, existe uma carência de profissionais especializados no desenvolvimento de projetos, instalação, comissionamento, monitoração e avaliação de desempenho de sistemas híbridos de energia no Brasil. Além disso, são poucas as informações referentes ao desempenho real de tais sistemas (acompanhamento da operação), o que dificulta uma análise técnica e econômica mais precisa e, consequentemente, sua implementação prática.

Com o objetivo de contribuir para a redução desse déficit de profissionais, bem como difundir as tecnologias alternativas para geração de eletricidade e disseminar o conhecimento sobre energias renováveis, sistemas híbridos e minirredes, este trabalho propõe-se a descrever o processo de implantação de dois geradores fotovoltaicos (GFVs) de 3 kWp cada, conectados diretamente no barramento c.c. de um sistema híbrido fotovoltaico/diesel com armazenamento de energia em baterias e acoplamento c.a. Em termos de operação, o trabalho avalia o desempenho dos geradores fotovoltaicos e dos controladores de carga.

2. IMPLANTAÇÃO DE DOIS GFVS NO LABORATÓRIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGIA/MINIRREDES

2.1 Descrição do Laboratório

A implementação do Laboratório visa promover a pesquisa sobre sistemas fotovoltaicos e sistemas híbridos, através da realização de experimentos e ensaios operacionais, cujos resultados servirão de base para avaliação do desempenho de tais sistemas. O Laboratório possibilita ainda a capacitação de recursos humanos, por intermédio da realização de cursos, treinamentos, palestras, visitas técnicas com demonstrações práticas, tendo como público alvo engenheiros, técnicos, professores e estudantes de ensino superior, técnico e médio.

O Laboratório, implementado no Campus Universitário da Universidade Federal do Pará, Município de Belém, nas dependências do GEDAE, consiste de um conjunto de equipamentos que compõem um sistema elétrico autossuficiente de fornecimento de energia, com ênfase no recurso renovável. Sendo assim, o Laboratório é atualmente composto em sua essência por (Barbosa *et al.*, 2016), (Barbosa *et al.*, 2017) e (Corrêa, 2017):

- Sistema de geração: subdividido em 7 geradores fotovoltaicos (GFV-01, GFV-02, GFV-03, GFV-04, GFV-05, GFV-06 e GFV-07) e 1 grupo gerador diesel (GGD). Os GFVs reunidos possuem uma capacidade nominal de 13,125 kWp; e o GGD têm capacidade nominal de 12 kVA.
- Sistema de condicionamento de potência: composto por 6 inversores de tensão bidirecionais de 4,5 kW cada (INVB-01A, INVB-02A, INVB-03A, INVB-01B, INVB-02B e INVB-03B), resultando em uma capacidade total de 27 kW; 3 inversores de tensão conectados à rede de 700 W cada (INVG-01, INVG-02 e INVG-03); 2 inversores de tensão conectados à rede de 2 kW cada (INVG-04 e INVG-05), totalizando 6,1 kW; e 2 controladores de carga (CCA-01 e CCA-02) conectados respectivamente ao GFV-04 e GFV-05 (somando 6 kWp).
- Sistema de armazenamento: composto por 2 bancos de baterias (BB-01 e BB-02) com capacidade de 48 kWh cada.
- Quadros de distribuição e comando (QDC): destinados à fácil e segura conexão entre os componentes dos sistemas. Dentre eles: 1 QDC- *Cluster A* (ou *Multicluster Box),* 1 QDC- *Cluster B*, 2 QDC-FV (Quadro de Distribuição e Comando – Fotovoltaica) e 2 *string boxes*.
- Dispositivos de proteção (DP): 21 chaves seccionadoras-fusíveis destinadas à proteção dos equipamentos e à realização segura de manobras ou ações de manutenção; e 10 disjuntores termomagnéticos, sendo 3 tripolares, 4 bipolares e 3 monopolares; 7 DPS c.a. 275V/45 kA e 2 DPS c.c. 600 Vc.c./40kA.
- Minirrede de distribuição (MD): rede de distribuição trifásica, isolada e composta por cabos multiplex de alumínio.
- Cargas elétricas: 11 refletores LED de 20 W cada, 1 carga bifásica programável com capacidade de até 3,6 kW; 1 carga trifásica resistiva com capacidade de dissipação de até 20 kW e o próprio prédio do GEDAE com seus diversos tipos de cargas de iluminação e tomadas/equipamentos.
- Sistema de monitoramento (SM): *data logger*, sensores e gerenciadores de comunicação e controle.
- Chave estática de transferência: chave estática trifásica de transferência automática, com capacidade de 30 kVA.

A Fig. 1 apresenta o diagrama esquemático atual dos principais componentes do Laboratório de Sistemas Híbridos/Minirredes. Em seguida é apresentada uma caracterização sucinta dos principais componentes do sistema.

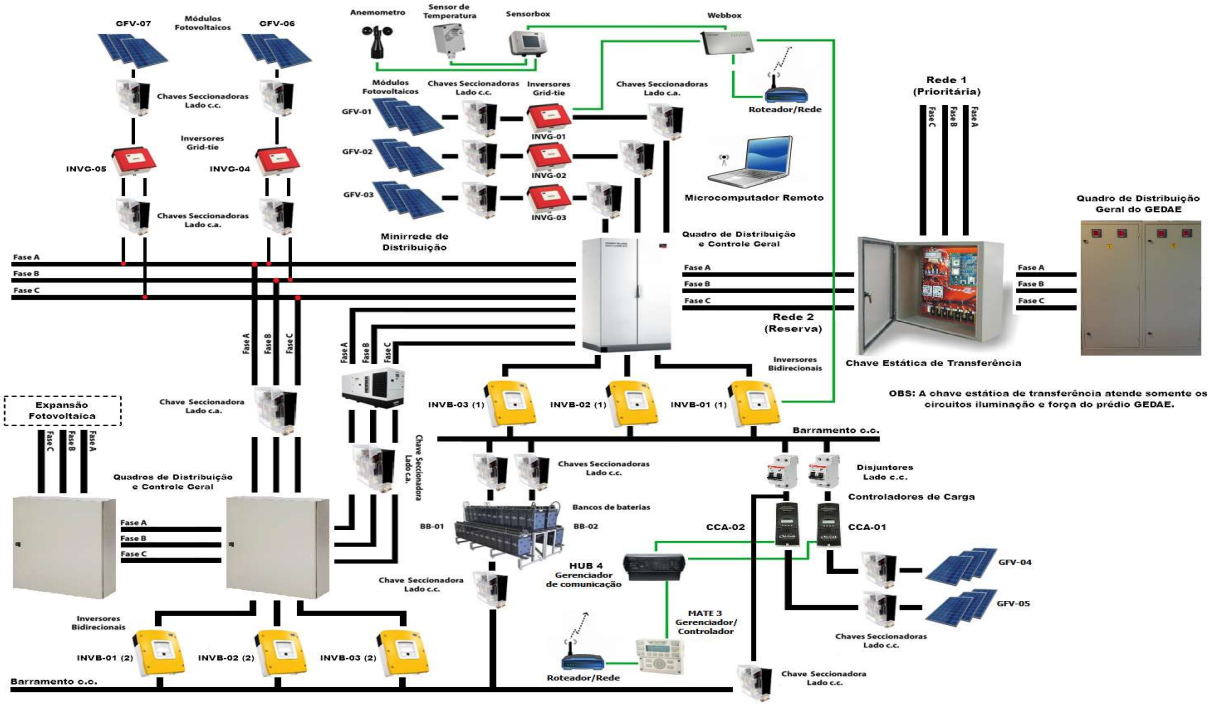


Figura 1 - Diagrama esquemático atual do sistema.

GFV-01 – composto por 5 módulos YL 185 P-23b/ YINGLI conectados em série, resultando em: 117,5 V (Vmp); 147,5 V (Voc); 7,87 A (Imp); 8,45 A (Isc); 0,925 kWp).
GFV-02 e GFV-03 – idênticos, compostos cada um por 5 módulos SPR-220-BLK-U/SUNPOWER conectados em série, resultando em: 205 V (Vmp); 243 V (Voc); 5,37 A (Imp); 5,85 A (Isc); 1,1 kWp.
GFV-04 e GFV-05 – idênticos, compostos cada um por 12 módulos de silício policristalino KD250GH-4FB2/ KYOCERA. Cada gerador é formado pela conexão em paralelo de 3 s*trings*, as quais possuem 4 módulos interligados em série, resultando em: 119,2 V (Vmp); 147,6 V (Voc); 25,17 A (Imp); 27,27 A (Isc); 3 kWp.
GFV-06 e GFV-07 – idênticos, compostos cada um por 8 módulos de silício policristalino KD250GH-4FB2/ KYOCERA conectados em série, resultando em: 238,4 V (Vmp); 295,2 V (Voc); 8,39 A (Imp); 9,09 A (Isc); 2 kWp.
GGD – unidade fabricada pela Leon Heimer, sendo cabinada e insonorizada e com potência emergencial (*standby*) 12 kVA; potência contínua (*prime*) de 10 kVA; tensão de 220 V fase-fase; 127 V fase-neutro; fator de potência de 0,8; comando e controle automático e microprocessado.
INVB-01A, INVB-02A e INVB-03A – unidades de inversão (modelo 4548-US SMA) de 4,5 kW cada, alocados no *Cluster A*, sendo destinados à formação da minirrede de distribuição de energia (fornecimento de sinal de tensão) para atendimento das cargas elétricas. São utilizados tanto para inverter o sinal de tensão c.c. para c.a (atendimento de cargas típicas), como retificar o sinal de tensão c.a. para c.c (carregamento do banco de baterias).
INVB-01B, INVB-02B e INVB-03B – unidades de inversão (modelo 4548-US SMA) de 4,5 kW cada alocados no *Cluster B*, sendo destinados às mesmas funções dos que compõem o *Cluster A*.
INVG-01, INVG-02 e INVG-03 – unidades de inversão (modelo 700U SMA) de 0,7 kW cada; ao contrário dos INVBs, esses só permitem a conversão de energia em um único sentido, convertendo o sinal de tensão c.c. dos GFVs para c.a, visando à conexão com a minirrede elétrica (atendimento de cargas típicas).
INVG-04 e INVG-05 – unidades de inversão (modelo 2000HF SMA) de 2 kW cada (Tab. 1), possuindo as mesmas funções do modelo 700U SMA.
CCA-01 e CCA-02 – conversores c.c./c.c. (modelo FlexMax 60), cuja função é gerenciar e controlar o fluxo de energia transportado para as baterias, protegendo-as contras cargas e descargas excessivas.
BB-01 e BB-02 – idênticos, compostos cada um por 24 baterias (2 Vc.c./1.000 Ah – modelo 17TFS-1000 Fulguris) interligadas em série, totalizando 48 kWh de capacidade (podem ser conectados em paralelo, duplicando a capacidade de armazenamento para 96 kWh).
QDC-*Cluster A* – unidade fabricada pela SMA America (modelo MCB-12U) como um sistema integrado de distribuição c.a. para os INVBs, INVGs e GGD, mantendo conexão com a minirrede que, no caso em questão, é vista pelo QDC como a própria carga. Atende, apenas, um *cluster* (denominado *Cluster A*) com 3 inversores bidirecionais (INVB-01A, INVB-02A e INVB-03A) e 3 inversores conectados à rede(INVG-01, INVG-02 e INVG-03).
QDC-*Cluster B* – feito em chapa de aço tratado à base de fosfato de ferro com grau de proteção IP 54 e IK 10. De forma análoga ao QDC-*Cluster A*, o QDC *Cluster B* acondiciona as conexões com os inversores bidirecionais (INVB-01B, INVB-02B e INVB-03B), grupo gerador a diesel e a minirrede (cargas).
QDC-FV – possui características construtivas semelhantes ao QDC-*Cluster B*, sendo responsável por alocar a geração fotovoltaica do *Cluster B*. Outro QDC-FV foi projetado para abrigar os dispositivos de proteção, barramentos e conexões elétricas dos GFV-04 e GFV-05.
STRING BOXES – com as mesmas características construtivas dos QDC-FV, destinadas à proteção e seccionamentos dos circuitos do lado c.c. e lado c.a. do GFV-06 e GFV-07.
MD – minirrede de distribuição de energia elétrica aérea com cerca de 1 km de comprimento linear, sendo projetada de modo a emular uma rede de distribuição isolada. Para tanto, além da disposição dos 18 postes de concreto armado de 7 m de altura e do cabeamento com cabos multiplexados de alumínio de 35 mm^2 (4 condutores - 3 fases e 1 neutro), com chaves contatoras e auxiliares (em fase de instalação) posicionadas em pontos estratégicos, as quais, dependendo do modo de operação (*ON/OFF*), determinam as diferentes configurações de rede, como longa, curta, anel ou radial.
SM - acompanhamento do desempenho do sistema através do uso de sensores e equipamentos de aquisição de dados da SMA e OutBack Power. São estes, o *Sunny SensorBox* (em conjunto com o sensor de irradiância solar, sensor de temperatura da parte posterior do módulo, sensor de temperatura ambiente e anemômetro, é destinado especificamente à aquisição de dados meteorológicos); *Sunny WebBox* (destinado à coleta e disponibilização de informações de operação do INVB-01A (mestre), dos INVG-01, INVG-02 e INVG-03 e do próprio *Sunny SensorBox*). Salienta-se que para energização do *Sunny Sensorbox* utiliza-se um dispositivo auxiliar, o *Power Injector*; *MATE3* (responsável por monitorar os parâmetros elétricos dos controladores de carga CCA-01 e CCA-02); e o *HUB4* (gerencia a comunicação de sistemas, permitindo que o *MATE3* e os controladores de carga se conectem e se integrem em um ponto através de cabeamento CAT5). Vale ressaltar que o *Sunny WebBox* e o *MATE3* estão conectados a um computador por meio de um roteador de internet *wireless*.
CHAVE ESTÁTICA DE TRANSFERÊNCIA – modelo trifásico de 30 kVA, fabricado pela Amplimag, tem como função manter a carga prioritária alimentada a partir de duas redes de alimentação, sendo, em condições normais, a energia da rede de distribuição da UFPA (entrada 1). Na ausência ou falha de energia desta rede, o Laboratório (entrada 2) de forma automática passar a suprir a demanda das cargas prioritárias do prédio (circuitos de força e iluminação).

As Fig. 2 a 10 apresentam os principais componentes anteriormente mencionados.



Figura 2 - GFV-01.



Figura 6 - GGD.



Figura 3 - GFV-02 e GFV-03.



Figura 7 - Bancos de baterias.



Figura 4 - GFV-04 e GFV-05.



Figura 8 - *MATE3* (Cinza) e *HUB4* (preto).



Figura 5 - GFV-06 e GFV-07.



Figura 9 - INVBs (amarelo), CCAs (preto).

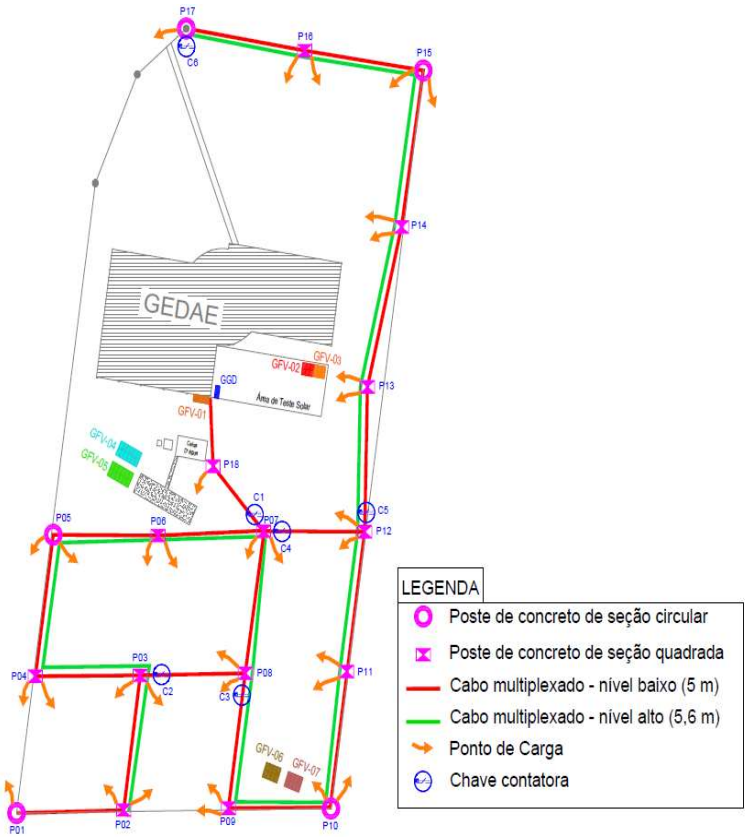


Figura 10 - Croqui da disposição dos geradores e da minirrede de distribuição.

2.2 Montagem, instalação e comissionamento dos GFV-04 e GFV-05

O primeiro passo foi identificar um local adequado para a montagem e instalação dos geradores, onde houvesse área disponível suficiente e não houvesse, em seu entorno, nenhum obstáculo que pudesse sombrear os geradores total ou parcialmente.

Na seleção do local para montagem e instalação dos geradores fotovoltaicos foram considerados: disponibilidade de área; inexistência de obstáculos causadores de sombra sobre a face dos GFVs; proximidade com a sala Central de Energia (CE) do Laboratório. Salienta-se que a sala CE foi escolhida como o espaço para a instalação dos CCAs e do sistema de monitoramento, devido à mesma ser ampla, iluminada, ventilada e protegida de influências climáticas diretas (como chuva e vento forte). Ademais, o referido espaço garante o acesso restrito, bem como a circulação segura de pessoas autorizadas, visando à execução de procedimentos de operação e manutenção. Após a escolha do local, foi elaborado um desenho técnico tridimensional das estruturas de sustentação dos geradores fotovoltaicos, com o intuito de guiar os processos de montagem e instalação das estruturas e de fixação dos módulos nas mesmas.

A fim de obter uma maior durabilidade das estruturas perante as condições climáticas locais, decidiu-se utilizar perfis de alumínio tipo L para a confecção das mesmas, sendo cada uma capaz de acomodar até 12 módulos fotovoltaicos modelo KD250H – Kyocera. Ademais, os elementos de fixação, como parafusos, porcas e arruelas, foram escolhidos em aço inoxidável, pois apresentam ótima resistência à corrosão e possuem alta durabilidade.

O terreno destinado à construção dos geradores apresenta diversas irregularidades e partes alagadiças em determinados períodos do ano. Portanto, antes do processo de montagem das estruturas na área em questão, necessitou-se construir sapatas isoladas de concreto armado para suportar a carga dos geradores e nivelar horizontalmente as bases das estruturas.

Após a concretagem e nivelamento das sapatas foram instalados os pilares das estruturas, as travessas e as demais vigas de sustentação, seguido pela etapa de fixação e conexão dos módulos fotovoltaicos. Vale ressaltar que, em busca de obter um melhor aproveitamento energético dos geradores, os módulos foram orientados para o norte geográfico. Para evitar acúmulos de poeira, folhas ou outros materiais que venham a reduzir a eficiência dos geradores, os módulos foram posicionados com uma inclinação de 12º em relação ao plano horizontal, tendo em vista que, para esta inclinação, as chuvas são capazes de promover a "autolimpeza" dos módulos, retirando boa parte destes materiais de suas superfícies (CRESESB, 2014).

No que diz respeito às conexões elétricas, ambos os geradores são formados por 3 *strings* em paralelo, cada uma com 4 módulos em série. Em cada gerador, os terminais das *strings* foram conectados a uma chave seccionadora fusível (CSF) instalada dentro do QDC-FV. As saídas das chaves foram conectadas aos barramentos c.c. que, por sua vez, estão conectados aos CCAs.

Em relação ao processo de fabricação do QDC-FV, utilizaram-se barras chatas de cobre para confecção dos barramentos c.c. e foram instaladas duas CSFs, destinadas a proteção e manobra. Para garantir a segurança do operador foi criada uma proteção de acrílico, de modo a impedir o toque acidental nos barramentos energizados. Por fim, o QDC-FV foi fixado em um dos pilares frontais da estrutura de alumínio do GFV-04.

Em seguida, procedeu-se com o aterramento das estruturas, dos módulos e do QDC-FV, de modo a garantir a segurança dos usuários e dos equipamentos em questão. Nesta etapa foram utilizadas 2 hastes de cobre, cada uma para um gerador. Após serem fincadas no solo ao lado de seus respectivos geradores, foram conectadas às estruturas de alumínio. Logo após, foram feitos o aterramento módulo a módulo e o aterramento do QDC-FV.

Os controladores de carga (CCA-01 e CCA-02) foram instalados na sala Central de Energia do GEDAE. Como o fabricante não especificava o espaçamento mínimo necessário para permitir a ventilação durante a operação, os dois CCAs foram instalados lado a lado, porém respeitando a distância mínima requerida pelos outros equipamentos ao redor.

Com relação às conexões elétricas, os condutores que saem dos barramentos c.c. do QDC-FV foram conectados na entrada dos CCAs. O aterramento destes equipamentos foi realizado no barramento "terra" do QDC-*Cluster A (Multicluster)*. A saída de cada CCA foi conectada a um disjuntor e, posteriormente, ao barramento c.c. do banco de baterias. Estes disjuntores foram abrigados dentro de uma caixa termoplástica com tampa transparente, a qual foi fixada na parede, próxima ao barramento c.c. do banco de baterias.

Os equipamentos responsáveis pelo monitoramento das grandezas elétricas do barramento c.c. são o *HUB4* e o *MATE3*. Ambos foram fixados dentro da sala Central de Energia, logo acima dos CCAs e, por fim, foram realizadas as conexões necessárias entre os dispositivos de monitoramento e os CCAs.

Posteriormente, iniciou-se o processo de comissionamento. Esta etapa consistiu na realização de um conjunto de atividades de inspeção e testes mecânicos controlados, com o intuito de verificar se as conexões dos condutores estavam seguras, se os bornes, parafusos e porcas estavam bem apertados, etc. Ademais, realizaram-se testes elétricos, como, por exemplo, o teste de continuidade em toda a extensão dos circuitos, confirmação das polaridades, verificação do aterramento, etc. Com isso, foi possível confirmar que o sistema estava devidamente instalado e apto para funcionar com segurança, garantindo a integridade física do Laboratório e dos indivíduos que o utilizam.

As Fig. 11 a 14 apresentam parte dos procedimentos de montagem, instalação e comissionamento dos equipamentos supracitados.



Figura 11 - Montagem das estruturas.



Figura 13 - QDC-FV.



Figura 12 - Instalação dos GFV-04 e GFV-05.



Figura 14 - CCA-01 e CCA-02

2.3 Ensaios operacionais

Para obtenção dos parâmetros elétricos necessários para análise do sistema, foram realizadas medições *in loco* através de um osciloscópio digital Fluke com exatidão na medição de potência ativa de 3 %, o qual foi conectado na

entrada e na saída dos CCAs. Com o auxílio de um computador e do *software FlukeView ScopeMeter* foi possível registrar medições pontuais dos parâmetros elétricos dos CCAs.

Quanto ao registro dos dados, em intervalos de 10 minutos, realizaram-se duas medições consecutivas, sendo uma no CCA-01 e outra no CCA-02. Ao final de cada medição também foram gerados registros das informações de temperatura e irradiância contidas no *Sunny WebBox.*

O ensaio foi realizado durante quatro dias consecutivos (08/09/2017 a 11/09/2017), com seu início às 06h40 e seu término às 18h00. No decorrer do ensaio, utilizou-se uma carga resistiva trifásica de 3,3 kW conectada à minirrede dos sistemas híbridos. Neste caso, a carga trifásica simula uma demanda de potência elétrica ativa fixa na minirrede, o que impediu o carregamento total dos bancos de baterias do sistema.

Eficiência dos controladores de carga. Neste ensaio são mostrados gráficos das curvas de eficiência dos CCAs em função da potência de saída normalizada, bem como as perdas de conversão c.c./c.c. em função do carregamento. Vale ressaltar que a potência de saída normalizada é a razão entre a potência de saída medida e potência nominal do controlador, mas, neste caso, adotou-se a potência nominal do GFV.

As Fig. 15 a 26 apresentam, em ordem cronológica, as curvas de eficiência em função da potência normalizada, bem como a variação das perdas em função da potência de saída normalizada.

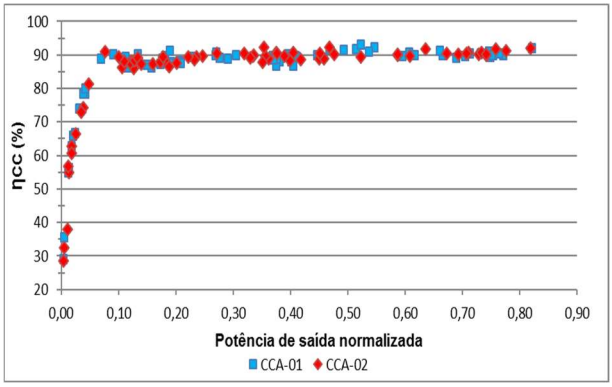


Figura 15 - Curva de eficiência dos CCA (08/08/2017).

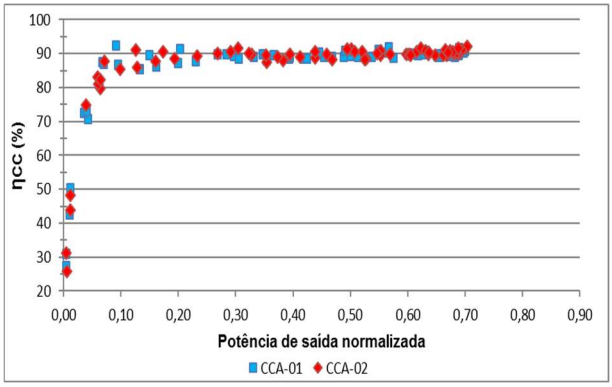


Figura 18 - Curva de eficiência dos CCA (09/08/2017).

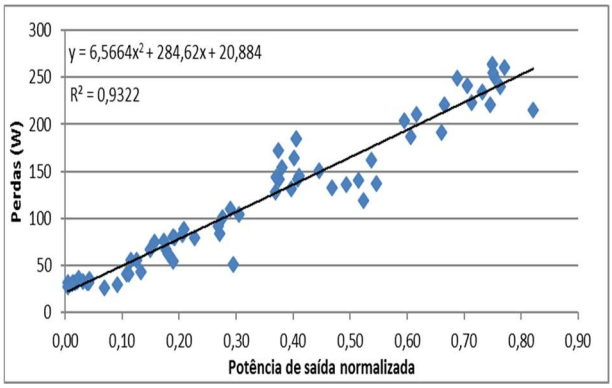


Figura 16 - Perdas de conversão CCA-01 (08/08/2017).

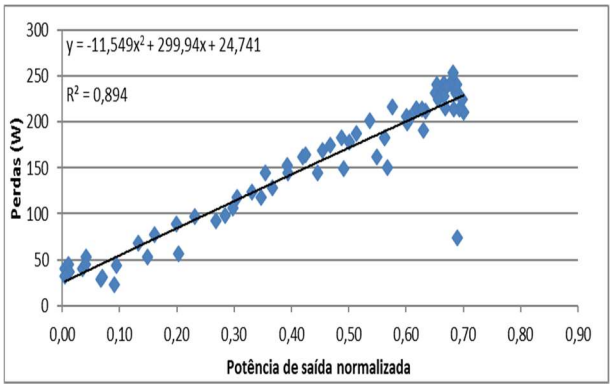


Figura 19 - Perdas de conversão CCA-01 (09/08/2017).

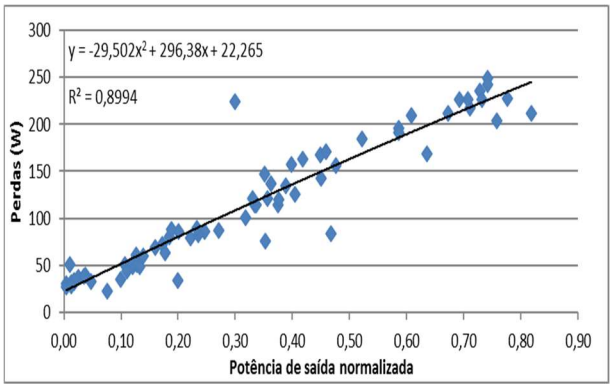


Figura 17 - Perdas de conversão CCA-02 (08/08/2017).

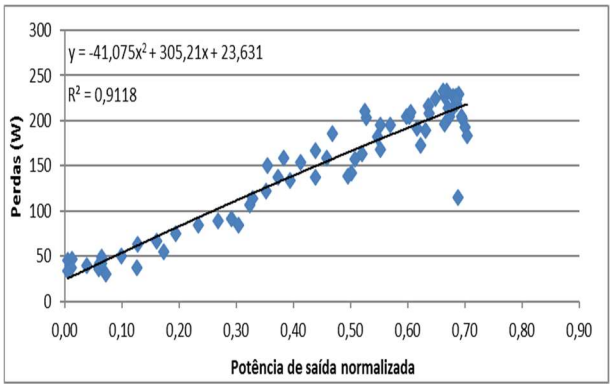


Figura 20 - Perdas de conversão CCA-02 (09/08/2017).

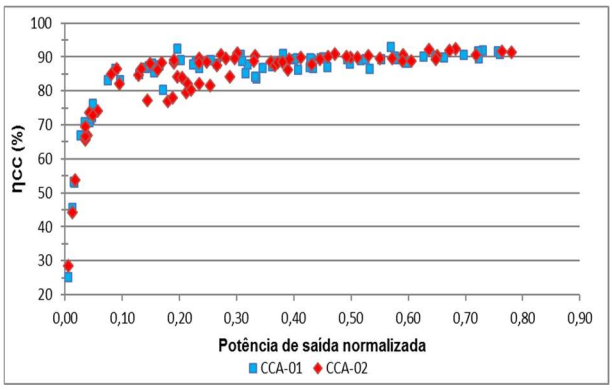


Figura 21 - Curva de eficiência dos CCA (10/08/2017).

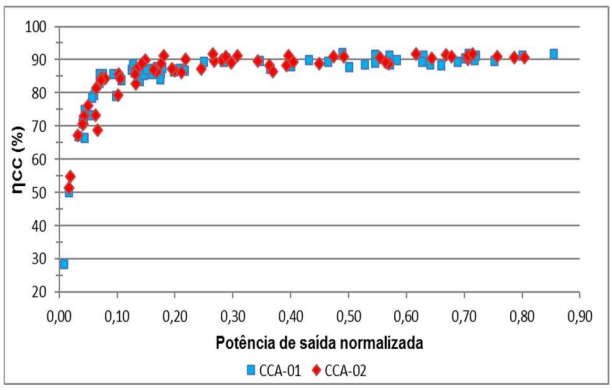


Figura 24 - Curva de eficiência dos CCA (11/08/2017).

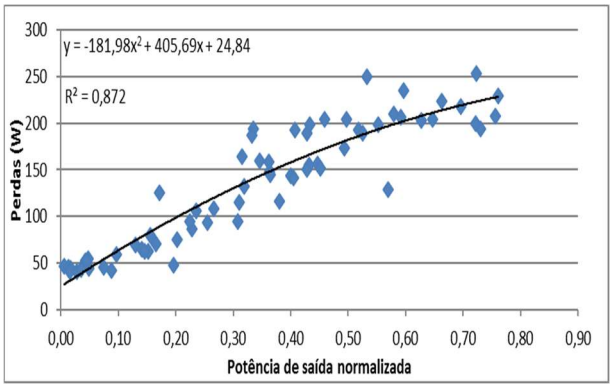


Figura 22 - Perdas de conversão CCA-01 (10/08/2017).

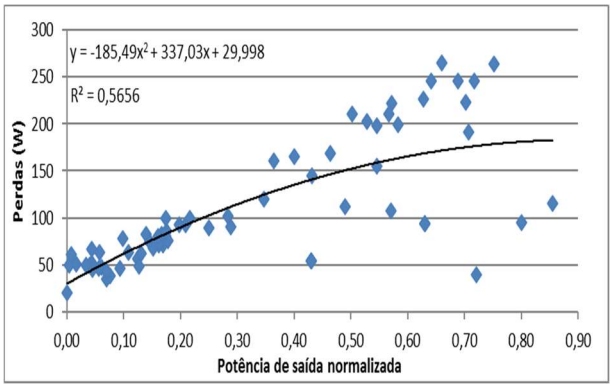


Figura 25 - Perdas de conversão CCA-01 (11/08/2017).

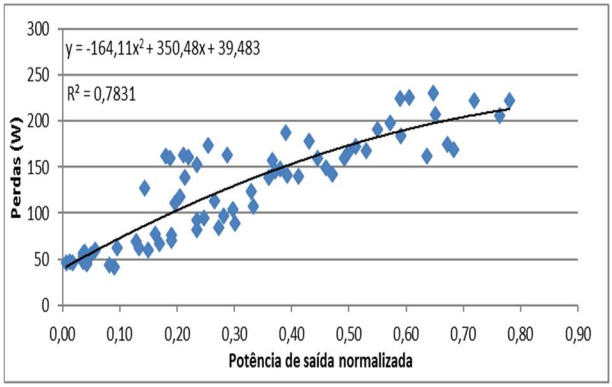


Figura 23 - Perdas de conversão CCA-02 (10/08/2017).

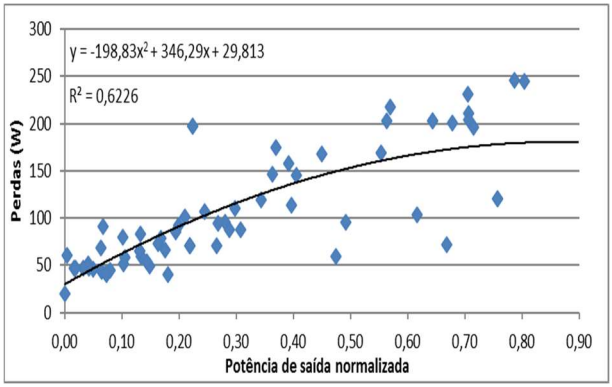


Figura 26 - Perdas de conversão CCA-02 (11/08/2017).

Para avaliar a eficiência dos controladores, o fabricante OutBack Power (2013) disponibiliza algumas curvas de eficiência. No caso em questão, a curva escolhida (Fig. 27) foi baseada em um sistema com tensão de saída (banco de bateiras) igual a 48 V e tensão de entrada (gerador fotovoltaico) constante de 100 V (caso semelhante ao aplicado no Laboratório).

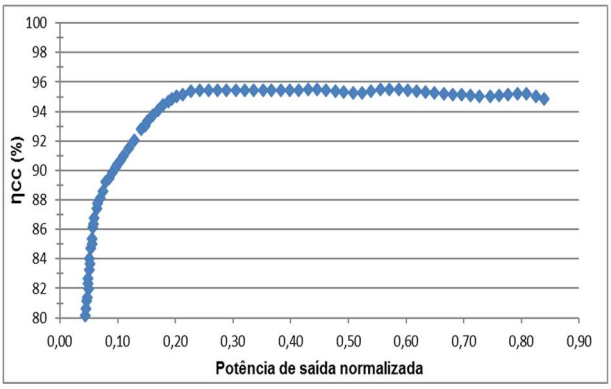


Figura 27 - Curva de eficiência dada pelo fabricante.

De acordo com as curvas de eficiência medidas dos CCAs, é possível observar que as eficiências estabilizam em aproximadamente 90 %, que ficou abaixo do valor fornecido pelo fabricante (aproximadamente 95 %). Tal resultado era esperado, levando em consideração que a curva de eficiência do fabricante foi realizada em Laboratório, sob as condições padrão de ensaio (STC) e com tensão de entrada do CCA constante. Os CCAs operam em um ambiente não climatizado artificialmente (sala CE do GEDAE) e em determinados momentos do dia, possivelmente, a temperatura interna dos equipamentos atinge valores superiores a 40 ºC, o que pode ser uma das causas de diferença de eficiência encontrada quando comparada com os dados do fabricante. Outra possível causa para essa discrepância de eficiência está relacionada à exatidão dos aparelhos utilizados nas medições.

Com relação às perdas de conversão dos CCAs, constatam-se valores bem diferenciados para cada dia de ensaio. No entanto, para todos os dias analisados, nota-se uma perda superior a 160 W para valores de carregamento acima dos 70 %. Quanto às perdas por autoconsumo, ou seja, estando a potência de saída normalizada igual a zero, correspondem a aproximadamente 30 W. O manual do fabricante não disponibiliza informações a respeito do autoconsumo de operação dos controladores de carga; logo, não foi possível elaborar um comparativo com os valores obtidos.

Produtividade e perdas por captura dos GFVs. Neste tópico são apresentadas figuras de mérito comumente empregadas para avaliação de sistemas fotovoltaicos. A Tab. 1 apresenta valores de energia produzida (E_P), rendimento global do sistema (PR), produtividade de referência (Y_R), produtividade de arranjo (Y_A), produtividade final do sistema (Y_F), e perdas por captura (L_C).

Tabela 1 - Desempenho do sistema: energia produzida (E_P), rendimento global do sistema (PR), produtividade de referência (Y_R), produtividade de arranjo (Y_A), produtividade final do sistema (Y_F), e perdas por captura (L_C).

Dia	**CCA**	**E_P (kWh)**	**PR (%)**	**Y_R (kWh/kWp/dia)**	**Y_A (kWh/kWp/dia)**	**Y_F (kWh/kWp/dia)**	**L_C (%)**
08/08/2017	CCA-01	11,96	73,88	5,39	4,45	3,99	17,54
	CCA-02	11,30	73,57	5,12	4,21	3,77	17,85
09/08/2017	CCA-01	15,13	74,50	6,77	5,63	5,04	16,82
	CCA-02	15,13	74,45	6,77	5,61	5,04	17,21
10/08/2017	CCA-01	11,80	75,78	5,19	4,44	3,93	14,41
	CCA-02	10,91	70,80	5,14	4,12	3,64	19,75
11/08/2017	CCA-01	11,26	77,90	4,82	4,17	3,75	13,46
	CCA-02	10,88	78,60	4,61	4,03	3,63	12,67
Média	CCA-01	12,54	75,51	5,54	4,67	4,18	15,56
	CCA-02	12,06	74,36	5,41	4,49	4,02	16,87

Percebe-se que as médias de produtividade de ambos os geradores foram bem próximas entre si. No entanto, a média de energia produzida, eficiência global e, consequentemente, as perdas por captura do GFV-04 (CCA-01) foram melhores em comparação com o GFV-05 (CCA-02). Tal diferença pode ser justificada pela radiação solar disponível no plano de cada GFV no momento da medição (obtenção não simultânea dos dados), a exatidão dos aparelhos utilizados, bem como operação das células fora das condições padrão de ensaio, sombreamentos parciais, dispersão de parâmetros entre módulos e sujeiras.

Durante o período de medições foram produzidos cerca de 98,3 kWh de energia; gerada pelos dois GFVs. A fim de avaliar a produtividade do sistema, estimou-se a energia dos dois GFVs para os quatro dias de ensaio, resultando em

107,68 kWh. Nota-se que o valor da energia medida obtida ao longo dos ensaios foi bem próximo do valor de energia estimado, o que comprova a efetividade da produção de energia dos geradores.

3. COMENTÁRIOS FINAIS

O Laboratório de Sistemas Híbridos/Minirredes detém um amplo potencial para disseminar estudos, pesquisas e capacitação de profissionais da área de energias renováveis, com enfoque em sistemas fotovoltaicos e sistemas híbridos de energia. No presente trabalho descreveram-se as etapas desde a montagem até os testes operacionais para efetivação de um sistema composto por dois geradores fotovoltaicos conectados diretamente ao barramento c.c. de 48 V.

Os resultados apresentados neste trabalho mostraram que os dois subsistemas inseridos apresentaram um desempenho satisfatório, tendo como base os dados fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos e as figuras de mérito utilizadas. Entretanto, alguns resultados apresentaram valores abaixo do esperado, como, por exemplo, a eficiência dos controladores, que apresentaram valores de aproximadamente 90 % (sob condições de carregamento acima de 20 %) e a *Performance Ratio* dos subsistemas, que abrangeram valores um pouco abaixo de 80 %. Contudo, conforme foi descrito, constataram-se diversos fatores que podem justificar os resultados obtidos, como, por exemplo, exatidão dos aparelhos utilizados nas medições, bem como a operação do subsistema fora das condições padrão de teste, sombreamentos parciais, tensão de entrada do CCA e dispersão de parâmetros entre módulos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) para a realização do presente trabalho, no âmbito do projeto "Estudo de Minirredes Inteligentes Aplicadas a Sistemas Isolados e Interconectados", aprovado na Chamada MCTI/CNPq/CT-ENERG Nº 33/2013 – Tecnologia em *Smart Grids*.

REFERÊNCIAS

Barbosa, C. F. O., Corrêa, J. A. L., Veríssimo, J. P. A., Lemos, I. H. L., Galhardo, M. A. B., Pereira, E. J. S, Pinho, J. T., Manito, A. R. A., 2017. Laboratory of Hybrid Systems and Mini-Grids, 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam, Holanda.

Barbosa, C. F. O., Veríssimo, P. H. A., Pinho, J. T., Corrêa, J. A. L., Galhardo, M. A. B., 2016. Laboratório de Sistemas Híbridos de Energia e Minirredes (Implementação e Ensaios Operacionais), VI CBENS - VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte.

Corrêa, J. A. L., 2017. Implantação e Avaliação de Desempenho de Dois Geradores Fotovoltaicos Conectados Diretamente no Barramento c.c. de um Sistema Híbrido de Energia, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, CRESESB: 2004.

IEA (International Energy Agency), 2017. World Energy Outlook Special Report -2017, OECD/IEA, Paris.

OUTBACK POWER, 2013. Owner's Manual: FLEXmax Series Charge Controllers (FLEXmax 80, FLEXmax 60), Version C. Arlington, Washington, USA.

IMPLANTATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF TWO PHOTOVOLTAIC GENERATORS CONNECTED DIRECTLY IN THE DC BUS OF THE LABORATORY OF HYBRID SYSTEMS/MINI-GRIDS (GEDAE/UFPA)

Abstract. *This work discusses the process of implantation of two photovoltaic generators connected to the 48 V_{DC} bus of the Laboratory of Hybrid Systems/Mini-grids located in the Group of Studies and Development of Energy Alternatives (GEDAE). Therefore, the main objectives and components of the Laboratory are described. The information about the process of assembly, installation and commissioning of the introduced subsystems are also briefly described. The results of the operational tests show the production, losses, and efficiency of each subsystem. Evaluating the results obtained, it is verified that there are some values lower than expected, such as the efficiency of the controllers with values of approximately 90 % (under loading conditions above 20 %), and the performance ratio of the subsystem with values a little below 80 %. Partial shading, input voltage of the load controllers and the dispersion of parameters between modules are some factors that may justify such results.*

Key words: *Photovoltaic Systems, Hybrid Energy Systems, Mini-grids.*