

ALTERNATIVAS DE INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: ESTUDO DE CASO DO BLOCO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UFPI

Jórdan Joesley Alves Marques – jordanjoesley@hotmail.com

Camila Sousa Oliveira – camisousaoliveira@gmail.com

Bartolomeu Ferreira dos Santos Júnior – bartolomeuf@ufpi.edu.br

Aryfrance Rocha Almeida – aryfrance@ufpi.edu.br

Fabiola Maria Alexandre Linard – fabiola.linard@ufpi.edu.br

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Engenharia Elétrica

Grupo de Sistemas de Energia Elétrica – GSEE

Resumo. Este artigo apresenta um estudo de alternativas de instalação de Sistemas Fotovoltaicos no bloco de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Piauí (UFPI). São propostos três tipos de Sistemas, um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede sem armazenamento de energia (SFCR), um Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de Energia e por fim um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com armazenamento de energia ou Sistema Misto, resultado da combinação dos dois sistemas citados anteriormente. São apresentados os cálculos de dimensionamento, bem suas respectivas taxas de economia geradas, sendo de aproximadamente 45% para o Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de Energia, 61% para o Sistema Fotovoltaico conectado à Rede sem armazenamento de energia (SFCR), e de 80,52% para a configuração de Sistema Misto.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos, Alternativas de instalação, Economia.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis constitui uma tendência verificável em diversos países, inclusive com a concessão de incentivos à geração distribuída de pequeno porte. Os estímulos à geração distribuída (geralmente localizada próxima aos centros de carga) justificam-se pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico: a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a redução no carregamento das redes; a redução de perdas e a diversificação da matriz energética, entre outros (Aneel, 2014).

Em âmbito nacional, os debates acerca da geração de energia elétrica revestem-se de maior relevância na medida em que, ao longo dos anos, a evolução demográfica e o crescimento da atividade econômica têm resultado num constante aumento do consumo de energia elétrica no País. Segundo (Tirapelle, Mura e Frazão, 2013) o Brasil ainda se encontra muito dependente de duas fontes de energia: a hidráulica e a térmica (gás natural e carvão), mas após o racionamento de energia elétrica ocorrido no ano de 2001, verificou-se a necessidade de uma maior diversificação da matriz energética brasileira. Diante desse quadro, propõe que é preciso pensar em alternativas que respondam à necessidade de expansão e diversificação do parque gerador elétrico do país – e é nesse contexto que estão inseridas as pequenas centrais geradoras (Aneel, 2014), (Miranda, 2014).

De acordo com especialistas, em um prazo de 40 anos, a energia solar deverá estar consolidada no panorama energético, de modo que governos tornarão obrigatória a instalação de painéis fotovoltaicos em edifícios públicos (SENAI – FIEP, 2007). Logo, a produção de energia elétrica a partir da fonte fotovoltaica surge como opção a ser analisada no Brasil e no mundo (Benedito, 2009). A tecnologia fotovoltaica utiliza a radiação solar como insumo, ajudando a manter o caráter renovável e sustentável da matriz energética brasileira. Em (Zilles, 2012) são comparados sistemas fotovoltaicos com outras tecnologias de geração, definindo que eles são de instalação relativamente rápida e simples, o que praticamente elimina os riscos de grandes atrasos nos cronogramas das obras. Existem diversas alternativas de instalação de Sistemas Fotovoltaicos, entre os principais estão os Sistemas Isolados, os Sistemas Conectados à Rede sem armazenamento de energia, os Sistemas Conectados à Rede com armazenamento de energia, também conhecidos como Sistemas Fotovoltaicos Híbridos ou Mistos.

Os Sistemas Fotovoltaicos Isolados são compostos por um gerador fotovoltaico, um inversor, um controlador de carga e um banco de baterias como sistema de acumulação. Podem ser aplicados como backup de energia em situações emergenciais e/ou em localidades onde o abastecimento de energia pela rede não apresenta boa qualidade como consequência da pouca capacidade da linha em relação ao consumo (Barbosa et al., 2007). No caso de falta de energia elétrica o sistema automaticamente entra em funcionamento, em poucos segundos, mantendo os equipamentos e lâmpadas ativos.

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede sem armazenamento de energia (SFCR) são constituídos basicamente por: painel fotovoltaico e inversor, não sendo utilizados elementos para armazenar a energia elétrica. Segundo (Urbanetz, 2010), basicamente a rede elétrica da concessionária é vista como elemento armazenador, pois toda energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede. Os sistemas conectados apresentam algumas vantagens:

atuam como usinas geradoras de energia elétrica em paralelo às grandes centrais geradoras de elevada produtividade; ausência de banco de baterias e desligamento automático no caso de falta de energia da rede.

O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com armazenamento de energia ou Sistema Misto é um sistema que é conectado à rede elétrica, mas que possui também um banco de baterias para armazenar a energia. Esses sistemas possuem uma grande vantagem em relação ao suprimento de cargas. Tais sistemas possibilitam uma ampliação na geração de energia, proporcionando uma maior confiabilidade para o sistema. Nessa alternativa o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede atua no período em que tenha irradiação solar no local, juntamente com a rede da concessionária de energia. A partir do momento em que a geração por irradiação é nula, a parte do sistema misto voltada para o backup de energia, ou seja, o banco de bateria começa a atuar garantindo o atendimento da carga por um período pré-estabelecido em projeto.

2. METODOLOGIA

Nesta seção é descrita a etapa de dimensionamento das alternativas de instalação para o bloco de Engenharia Elétrica da UFPI.

2.1 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede sem armazenamento de energia (SFCR)

Para se dimensionar o SFCR, levou-se em consideração as seguintes etapas: Levantamento do consumo do bloco; determinação da área para a instalação do SFCR e, o dimensionamento do SFCR.

No levantamento de cargas do Bloco de Engenharia Elétrica da UFPI, identificou-se inicialmente os equipamentos instalados no pavimento superior (salas de aula e laboratórios) e inferior (salas de professores e laboratórios) do prédio. Na contabilização dos equipamentos, percebeu-se que a carga do bloco é determinada pela iluminação, condicionadores de ar e equipamentos de laboratórios. Para o cálculo do consumo médio do prédio foram considerados 22 dias letivos mensais, sendo que o seu período de funcionamento se inicia às 08:00 h até 12:00 h e de 14:00 h até 22:00 h, o consumo dos equipamentos baseou-se nas suas respectivas potências e nos seus horários de funcionamento, quantificando o consumo de energia elétrica do edifício.

A área escolhida para a instalação do SFCR foi o telhado e o estacionamento do bloco de engenharia elétrica, tendo em vista que as características dessas áreas são propícias para instalação deste sistema. O local escolhido deve ser ensolarado, sem a presença de elementos de sombreamento ou superfícies reflexivas próximas, pois podem afetar a eficiência do sistema fotovoltaico, não ocupado por alguma construção da universidade e que sofra o mínimo de dano possível – com distância adequada contra contatos de animais, trânsito, lagos, entre outros. A partir de então foi dimensionado um sistema para cada área e posteriormente a interligação dos mesmos para se realizar as análises de geração de energia ao bloco. Na Tab. 1 são fornecidas as dimensões de cada uma das áreas e o número total de módulos fotovoltaicos do sistema. Sendo que o número de módulos foi determinado com base nas dimensões de cada área (m²) e nas dimensões do módulo fotovoltaico, visto na Fig. 1.

Tabela 1 – Capacidade de placas na área de instalação determinada.

Dimensionamento da área para instalação do SFCR				
Local	Largura (m)	Comprimento (m)	Total (m ²)	Nº Módulos Fotovoltaicos
Área 1 – Estacionamento	16	35	560	315
Área 2 – Telhado	8,57	80	685,6	384
Sistema Fotovoltaico	-	-	1245,6	699

A energia gerada pelo SFCR é calculada com base na Eq. (1).

$$E = P_{FV} \cdot N^{\circ} \text{módulos} \cdot HSP \cdot D \cdot TD \quad (1)$$

Onde:

E (kWh/mês) = Energia Produzida pelo Sistema; P_{FV} (Wp) = Potência de Pico do módulo FV; $N^{\circ} \text{módulos}$ = Número de módulos do sistema; HSP (h/dia) = Quantidade de horas de sol pleno no local; D = Número de dias de funcionamento do sistema e TD (adimensional) = Taxa de Desempenho.

No estudo realizado considerou-se um módulo fotovoltaico de 250 Wp, de acordo com suas especificações técnicas do fabricante, com saída de 29,8 V, corrente de 8,39 A, considerando uma taxa de desempenho de 80%, com dimensões mostradas na Fig. 1.

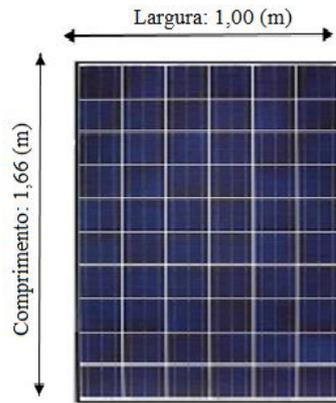


Figura 1- Dimensão da placa do SFCR.

De acordo com o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000), a média anual de incidência solar em Teresina – PI são de 7 horas diárias. Porém, nas medições de irradiação na área determinada, verificou-se que durante 8 horas do dia a incidência era alta, superando o padrão de 1000 W/m^2 . A partir desta constatação foram considerados, para o dimensionamento da energia gerada pelos sistemas, 8 horas de irradiação diária.

2.2 Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de Energia

O Sistema Fotovoltaico Isolado foi dimensionado exclusivamente para suprir as cargas de todo o bloco de Engenharia Elétrica da UFPI, durante um período de 4 horas, a partir de 18:00 h, ou seja, sem geração fotovoltaica. Logo, o suprimento das cargas será realizado apenas pelo banco de baterias. Para seu dimensionamento foram consideradas as seguintes etapas: Levantamento do consumo do Bloco no período determinado; Dimensionamento das baterias; Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos; Dimensionamento dos controladores de carga e dos inversores.

Inicialmente, foi necessário determinar o consumo do bloco a partir das 18:00 h. Para isto foi utilizada a mesma metodologia de levantamento do consumo total, verificando quais os equipamentos e suas respectivas potências serão utilizados no período determinado.

Encontrado o referido consumo, dimensionou-se a quantidade de baterias necessária para alimentar o bloco no horário previsto, garantindo uma autonomia de 4 horas. Nesse estudo foram utilizadas baterias estacionárias com capacidade de 240 Ah (100 hr), com tensão de 24 V da fabricante Bosch.

O banco de baterias foi dimensionado conforme o Manual de Engenharia de Sistema Fotovoltaico (2014), levando em consideração a autonomia diária e a profundidade de descarga da bateria conforme mostrado na Eq. (2). No caso específico deste estudo, a autonomia será de apenas uma fração do dia.

$$CB_{C100}(\text{Wh}) = \frac{L_m \cdot N}{Pd} \quad (2)$$

Onde:

CB_{C100} (Wh) = Capacidade do banco de baterias para uma descarga de 100 horas; L_m (Wh/dia) = Consumo diário do bloco no período determinado; N = Número de dias de Autonomia e Pd (%) = Profundidade de descarga da bateria.

A capacidade em (Wh) encontrada na Eq. (2) é convertida para (Ah) por meio da Eq. (3), considerando a tensão do sistema.

$$CBI_{C100}(\text{Ah}) = \frac{CB_{C100}}{V_{sist}} \quad (3)$$

Onde:

CBI_{C100} (Ah) = Capacidade do banco de baterias para uma descarga de 100 horas em Ah; CB_{C100} (Wh) = Capacidade do banco de baterias para uma descarga de 100 horas em Wh e V_{sist} (V_{cc}) = Tensão do Sistema.

A partir da capacidade de fornecimento de energia expressa em Ampère-hora, pode se determinar a quantidade de baterias necessárias para o funcionamento do sistema, relacionando a capacidade total obtida pela capacidade da bateria selecionada, conforme se mostra na Eq. (4).

$$N^{\circ} \text{ baterias}_{\text{ paralelo}} = \frac{CBI_{C100}}{CBI_{bat}} \quad (4)$$

Sendo:

$N^{\circ} \text{ baterias}_{\text{ paralelo}}$ = Número de Baterias do sistema; CBI_{C100} (Ah) = Capacidade do banco de baterias para uma descarga de 100 horas em Ah e CBI_{bat} (Ah) = Capacidade da bateria selecionada.

Uma vez que, o sistema de backup só entrará em operação a partir das 18 h, toda a carga será suprida apenas pelo banco de baterias, pois não haverá mais geração fotovoltaica. Neste sentido, a quantidade de módulos fotovoltaicos será determinada visando suprir exclusivamente o banco de baterias, ou seja, pela relação entre a capacidade de fornecimento de energia do Sistema (C (Ah) - encontrada por meio da Eq. (3)) e a capacidade de condução de corrente de cada módulo juntamente com a quantidade de horas de incidência solar do local. A quantidade de módulos fotovoltaicos para o sistema de backup de energia, é então determinada pela Eq. (5):

$$N^{\circ} \text{módulos}_{\text{paralelos}} = \frac{CBI_{C100}}{I_{mp} \cdot HSP \cdot TD} \quad (5)$$

Onde:

$N^{\circ} \text{módulos}_{\text{paralelos}}$ = Número de painéis do sistema em paralelos.

CBI_{C100} (Ah) = Capacidade do banco de baterias para uma descarga de 100 horas em Ah.

I_{mp} (A) = Corrente de cada painel fotovoltaico.

HSP (h/dia) = Quantidade de horas diárias de sol pleno do local.

TD (adimensional) = Taxa de desempenho do sistema fotovoltaico.

Segundo o Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos (2014), para o dimensionamento da corrente máxima do controlador deve ser considerada a corrente de cada módulo fotovoltaico acrescido de um fator mínimo de segurança de 25%. A corrente do controlador do sistema equivale ao produto da corrente do módulo fotovoltaico e da quantidade de módulos em paralelos. Na Eq. (6) mostra-se como encontrar a corrente máxima do controlador.

$$I_c = 1,25 \cdot N^{\circ} \text{módulos}_{\text{paralelo}} \cdot I_{sc} \quad (6)$$

Sendo:

I_c (A) = Corrente máxima do controlador do sistema; $N^{\circ} \text{módulos}_{\text{paralelo}}$ = Número de módulos do sistema e I_{sc} (A) = Corrente de cada módulo fotovoltaico.

Por meio da Eq. (7) é encontrada a quantidade de controladores do sistema considerando a corrente máxima do controlador selecionado.

$$N^{\circ} \text{controladores}_{\text{paralelo}} = \frac{I_c}{I_{ctl}} \quad (7)$$

Sendo:

$N^{\circ} \text{controladores}_{\text{paralelo}}$ = Número de controladores em paralelos do Sistema; I_c (A) = Corrente máxima do controlador do sistema e I_{ctl} (A) = Corrente máxima do controlador selecionado.

O inversor é definido pela tensão de trabalho na entrada dos módulos fotovoltaicos e pela tensão de saída. A capacidade do inversor deve considerar a sua eficiência no sistema e superar a potência em Watts do maior consumo dos equipamentos, ou seja, ser maior o produto da quantidade de módulos do sistema e a potência de pico de cada módulo. Essa relação é vista na Eq. (8), onde se calcula a quantidade de inversores do sistema.

$$N^{\circ} \text{inversores} = \frac{N^{\circ} \text{módulos} \cdot P_p}{P_{inv} \cdot N_{inv}} \quad (8)$$

Sendo:

$N^{\circ} \text{inversores}$ = Número de inversores do Sistema.

$N^{\circ} \text{módulos}$ = Número de módulos do Sistema.

P_p (Wp) = Potência de cada painel fotovoltaico.

P_{inv} (W) = Potência de cada inversor.

N_{inv} (%) = Rendimento do inversor selecionado.

2.3 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com armazenamento de energia ou Sistema Misto

Pode-se entender o Sistema Misto como a união de um Sistema (SFCR) com um Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de Energia. No presente trabalho, é proposto que para o Sistema Misto, uma parte dos painéis sejam destinados somente ao processo de carga do banco de baterias, e os demais são conectados à rede de energia elétrica. A partir desse conceito o sistema foi dimensionado de modo que o SFCR suprirá cargas do bloco de Engenharia Elétrica até às 18:00 h e depois desse período atuará o Sistema de Backup de Energia. O processo de dimensionamento desse sistema é igual aos vistos anteriormente nesse artigo tanto para o SFCR quanto para o Sistema de Backup de Energia.

Considerando que o sistema de backup que atuará a partir das 18:00 h já foi dimensionado anteriormente, verificou-se a quantidade disponível de módulos de acordo com as áreas de instalação e calculou-se um novo SFCR que atuará até este horário, sendo este o momento em que acaba a irradiação do local. Soma-se a geração de cada sistema e verifica-se a economia que os dois produzem durante o dia.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação das propostas de sistemas fotovoltaicos no suprimento do bloco de Engenharia Elétrica.

3.1 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede sem armazenamento de energia (SFCR)

A partir do levantamento do consumo de energia do bloco 08 foram obtidos os seguintes resultados mostrados na Tab.2.

Tabela 2 - Consumo do bloco de Engenharia Elétrica.

Dados	Consumo em KWh/mês
Consumo total do bloco	55.165,85
Iluminação	2.983,20
Ar – Condicionados	38.764,70
Pavimento Superior	24.786,36
Pavimento Inferior	30.379,49

Nota-se, a partir dos dados mostrados na Tab. 2, que os aparelhos de ar-condicionado constituem a maior carga do bloco, representando 70% do consumo total. Percebe-se também que o pavimento inferior possui um consumo maior que o do pavimento superior, justificado pela presença de equipamentos de maior potência como motores, osciloscópios e computadores presentes nos laboratórios. Estas informações são melhor ilustradas por meio da Fig. 2.

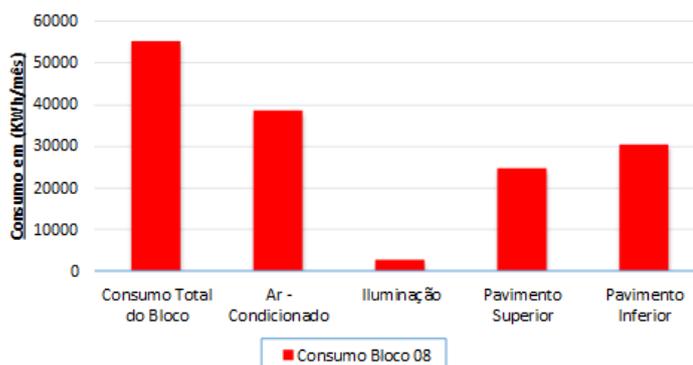


Figura 2- Análise do consumo do bloco.

A partir da Eq. (1), determinou-se a quantidade de energia elétrica mensal gerada e fornecida ao bloco pelo SFCR, considerando uma taxa de desempenho global de 80% dos módulos fotovoltaicos. A quantificação dessa energia é mostrada a seguir:

$$E_G = 250Wp \cdot 699 \text{ módulos} \cdot 8 \text{ horas} \cdot 30 \text{ dias} \cdot 0,80 \quad \text{ou} \quad E_G = 33.552 \text{ (kWh / mês)}$$

Obtendo a quantidade de energia mensal gerada pelo SFCR, é possível relacioná-la com o consumo mensal total do bloco e verificar o percentual de economia de energia obtida com o uso do sistema fotovoltaico. Essa relação percentual é mostrada na Tab. 3.

Tabela 3 - Economia do SFCR, ao consumo do bloco.

Consumo Total do Bloco (KWh/mês)	Produção de Energia do SFCR (KWh/mês)	Relação de produção e consumo do SFCR (%)
55.165,85	33.552	<u>60,82</u>

Note que a energia mensal gerada pelo SFCR é suficiente para atender aproximadamente 61% do consumo total do bloco de engenharia elétrica, sendo este um resultado bem significativo.

3.2 Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de Energia

A partir do levantamento do consumo de energia do bloco 08, no período posterior às 18h, foi obtido um consumo diário de 1135,48 kWh considerando a eficiência do inversor e a eficiência global das baterias, sendo possível a partir

de então dimensionar e quantificar os demais componentes do Sistema, como baterias, módulos, controladores de carga e inversores. O Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de energia dimensionado nesse estudo possui uma autonomia de 4 horas diárias, onde serão utilizadas baterias estacionárias de 240 Ah (100 hr), com tensão de saída de 24 V, conforme descrito anteriormente nesse artigo. Essas baterias possuirão uma profundidade de descarregamento de aproximadamente 50%, tendo vida útil de 2500 ciclos conforme (Sonnenschein, 2014). Por meio da Eq. (2), Eq. (3) e Eq. (4), encontrou-se a capacidade de corrente do sistema isolado estudado, e quantificou-se o número de baterias necessárias para suprir as cargas do bloco no período de atividade determinado, sendo que as perdas globais das baterias já estão inseridas no consumo total considerado.

$$CB_{C100}(Wh) = \frac{1.135.478 \cdot \left(\frac{4}{24}\right)}{0,5} = 378.492,67 \quad \text{ou} \quad CBI_{C100}(Ah) = \frac{378.492,67}{24} = 15.770,53$$

Logo, a quantidade de baterias do sistema será: $N^{\circ}_{baterias_paralelo} = \frac{15770,53}{240} = 66 \text{ baterias}$

Posteriormente determinou-se a quantidade de módulos fotovoltaicos utilizando a Eq. (5) conforme é mostrado a seguir.

$$N^{\circ}_{módulos_paralelos} = \frac{15.770,53}{8,39 \cdot 80,80} = 294 \text{ módulos}$$

Dando continuidade ao dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de Energia no bloco de Engenharia elétrica, calculou-se a quantidade de controladores de cargas necessários no sistema. Por meio da Eq. (6) foi determinado a corrente máxima dos controladores de todo o sistema, em seguida foi utilizada a Eq. (7) para determinar a quantidade de controladores. Nesse estudo foram escolhidos controladores com corrente máxima de 60 A.

$$I_c = 1,25 \cdot 294 \cdot 8,39 = 3083,33A$$

$$N^{\circ}_{controladores_paralelo} = \frac{3083,33}{60} = 51 \text{ controladores}$$

Por fim encontrou-se a quantidade de inversores que serão utilizados no Sistema, sendo que cada um possui uma potência de 5000 W, com eficiência de 90%, utilizando a Eq. (8).

$$N^{\circ}_{inversores} = \frac{294 \cdot 250}{5000 \cdot 0,9} = 16 \text{ inversores}$$

Ou seja, o Sistema Fotovoltaico Isolado dimensionado possuirá 16 inversores de 5000 W cada. Na Tab. 4 é mostrada a quantidade de cada componente que será utilizado no Sistema de Fotovoltaico Isolado para Backup de energia no bloco de Engenharia Elétrica da UFPI.

Tabela 4 – Componentes do Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de Energia dimensionado.

Sistema Isolado para suprir o bloco de Engenharia Elétrica depois de 18h				
Componentes	Módulos Fotovoltaicos (250 Wp)	Bateria (240 Ah)	Controlador de Carga (60 A)	Inversor de energia (5000 W)
Quantidade	294	66	51	16

Dimensionado o sistema, é possível relacionar sua produção de energia mensal e o consumo mensal total do bloco. Essa economia é apresentada na Tab.5, onde se observa que o Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de energia dimensionado gera uma economia no consumo de energia de 45,28% ao bloco de Engenharia Elétrica da UFPI.

Tabela 5 - Economia do Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de Energia, ao consumo do bloco.

Consumo Total do Bloco (KWh/mês)	Produção de Energia do Backup (KWh/mês)	Relação de produção e consumo do Backup (%)
55.165,85	24.980,56	<u>45,28</u>

3.3 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com armazenamento de energia ou Sistema Misto

Para esse sistema levou-se em consideração o Sistema Fotovoltaico Isolado anteriormente dimensionado na seção 3.2, que entrará em operação a partir das 18:00 h. A partir desta consideração, dimensionou-se o SFCR verificando a quantidade de módulos disponíveis para esse sistema. Como visto anteriormente e mostrado na Tab.1, o bloco de Engenharia Elétrica possui uma área de instalação de Sistemas Fotovoltaicos, capaz de comportar até 699 módulos fotovoltaicos. Foi visto que para o Sistema com Backup de energia são necessários 294 módulos fotovoltaicos, disponibilizando dessa forma 405 módulos para o dimensionamento do SFCR para esse sistema. A geração de energia do SFCR com a utilização de 405 módulos é calculada por meio da Eq. (1), obtendo-se como resultado:

$$E = 250Wp \cdot 405 \text{ módulos} \cdot 8 \text{ horas} \cdot 30 \text{ dias} \cdot 0,80 \quad \text{ou} \quad E = 19.440 \text{ (kWh / mês)}$$

Obtendo a quantidade de energia mensal gerada pelo SFCR que compõe o Sistema Fotovoltaico, é possível relacioná-la com o consumo mensal total do bloco e verificar o percentual de economia de energia obtida com o uso do novo SFCR. Essa relação percentual é mostrada na Tab. 6.

Tabela 6 - Economia do SFCR (Sistema Misto), ao consumo do bloco.

Consumo Total do Bloco (KWh/mês)	Produção de Energia do SFCR (KWh/mês)	Relação de produção e consumo do SFCR (%)
55.165,85	19.440	<u>35,24</u>

Depois que SFCR do Sistema Misto foi dimensionado, verificou-se a economia total gerada por essa alternativa de instalação em relação ao consumo mensal do bloco. A Tab. 7 apresenta essa economia, como também a quantidade de módulos utilizados em cada sistema de acordo com o total disponível para instalação no bloco.

Tabela 7 - Economia do Sistema Fotovoltaico Misto, ao consumo do bloco.

Sistema Fotovoltaico Misto	Nº de Módulos	Produção de Energia do SFCR (KWh/mês)	Consumo Total do Bloco (KWh/mês)	Relação de produção e consumo do SFCR (%)
BACKUP	294	24.980,56	55.165,85	45,28
SFCR	405	19.440,00		35,24
TOTAL	699	44.420,56	55.165,85	80,52

Como pode ser observado, o Sistema Fotovoltaico Misto apresenta uma economia de 80,52% em relação ao consumo total do bloco. Esse resultado é bastante significativo demonstrando a importância da união dos tipos de Sistemas Fotovoltaicos e o seu modo e período de funcionamento.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentadas três alternativas de instalação de Sistema Fotovoltaicos no bloco de Engenharia Elétrica da UFPI. Os sistemas propostos foram dimensionados, e suas respectivas taxas de economia com relação ao consumo de energia elétrica do Bloco foram determinadas, sendo de aproximadamente 45% para o Sistema Fotovoltaico Isolado para Backup de Energia, 61% para o Sistema Fotovoltaico conectado à Rede sem armazenamento de energia (SFCR), e de 80,52% para a configuração de Sistema Misto. A melhor alternativa de instalação dependerá das metas e necessidades específicas de consumo que se deseja atender.

Considerando que o objetivo principal fosse garantir o funcionamento de boa parte do bloco durante a noite, permitindo que luzes de salas de aula e corredores permanecessem em funcionamento, mesmo diante de uma interrupção de energia da rede convencional, a melhor opção seria o Sistema de Backup. Por outro lado, se o interesse principal estivesse em atender boa parte da demanda diurna, considerando que nesse período houvesse o maior movimento de pessoas no laboratório, nas salas dos professores, na secretaria, bem como o maior número de equipamentos ligados, a melhor alternativa seria o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede sem armazenamento de energia (SFCR). Contudo, se o interesse estivesse na economia global em termos de energia, e conjuntamente garantir um percentual de funcionamento do bloco durante a noite, diante de possíveis interrupções de energia, a melhor opção seria o Sistema Misto. Os resultados obtidos mostram que, a proposta de configuração para o Sistema Misto apresentase como a melhor alternativa de instalação, em termos da economia global proporcionada e em capacidade de

atendimento, visto que esta configuração permite suprir parte da demanda do sistema em questão por todo o seu período de funcionamento.

O trabalho apresentado, embora tenha sido realizado para um estudo de caso, evidencia a possibilidade de análises sobre a melhor alternativa de instalação de um sistema fotovoltaico para o atendimento de uma demanda específica, objetivando obter a melhor relação entre economia proporcionada e capacidade de suprimento.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2014. 28 p.: il. - (Cadernos temáticos ANEEL)
- Atlas Solarimétrico do Brasil : banco de dados solarimétricos / coordenador Chigueru Tiba... et al.- Recife : Ed. Universitária da UFPE, 2000.
- Benedito, R. S. Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. 2009. 110 f. Tese (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
- Barbosa, E.; Silva, D.; Melo, R. Sistema fotovoltaico conectados à rede com baterias: sistema UFPE-Brasil. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Argentina, v.11, 2007.
- Barbosa, E.; Vilela, O.; Fraidenraich, N.; Tiba, C. Panorama do desenvolvimento tecnológico e mercado de módulos fotovoltaicos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Argentina, v.16, 2012.
- <http://www.sonnenschein.org>. Acessado em: <20/10/2014>.
- Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos: Cepel-Cresesb, Ed. Revisada e Atualizada: Rio de Janeiro, 2014.
- Miranda, Arthur Biagio Canedo Montesano. Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede / Arthur Biagio Canedo Montesano Miranda. Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014.
- Senai – FIEP. “Cenários Energéticos Globais 2020”. Curitiba: SENAI – FIEP, 2007, 2ª Ed.
- Solenerg Engenharia. Dimensionamento de Gerador Fotovoltaico com Baterias. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/Guia-paradimensionamento-de-gerador-fotovoltaico-com-baterias.pdf>>. Acesso em: 20 de outubro de 2014.
- Tirapelle, G.A.H.; Mura, L.B; Frazão.L. Análise da viabilidade técnica de painéis solares fotovoltaicos conectados à rede, com backup de energia, instalados em postos de combustíveis Trabalho. 2013. Trabalho de Conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
- Urbanetz, Junior. J. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. Florianópolis: UFSC - BU, 2010.
- Zilles, R. et al. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. Editora Oficina de Textos. São Paulo, 2012.

ALTERNATIVES TO INSTALL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A CASE STUDY OF THE ELECTRICAL ENGINEERING’S BUILDING AT UFPI

Abstract. *This paper presents a study of alternatives for Photovoltaic Systems installations at electrical engineering Building - UFPI. Three types of systems are proposed a Grid-connected PV systems without battery, a Stand-Alone Photovoltaic System for Energy Backup and, a Grid-connected PV systems with battery or mixed Photovoltaic System, as result from combination of the two systems mentioned above. The sizing calculations and the savings generated in the monthly energy consumption of the building are presented for each of the proposals, approximately 45% for the Stand-Alone Photovoltaic System for Energy Backup, 61% for the Grid-connected PV systems without battery and, 80,52% for the mixed Photovoltaic System.*

Keywords: *Photovoltaic Systems, Alternatives for installation, Energy saving.*