

# AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DE UM SFCR PARA MINIMIZAÇÃO DE DEMANDA DE CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL

**Alex R. A. Manito** – alexmanito@ufpa.br  
**Marcos A. B. Galhardo** – galhardo@ufpa.br  
**Wilson N. Macêdo** – wnmacedo@ufpa.br  
**João T. Pinho** – jtpinho@ufpa.br

Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas, Universidade Federal do Pará

**Resumo.** Neste trabalho é apresentado um estudo de caso a respeito dos perfis de consumo, em um dado mês, do Laboratório do Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) da Universidade Federal do Pará, onde foram feitas medições de demanda e consumo de energia elétrica da edificação nos sistemas de climatização, iluminação e tomadas para demais equipamentos; também foram realizadas medições referentes à produção do sistema fotovoltaico conectado à rede instalado na edificação, temperatura ambiente externa, temperatura interna em um dos ambientes e irradiância. Avaliando-se desta forma a contribuição energética do SFCR e sua correlação com a curva de demanda da edificação.

**Palavras-chave:** Climatização artificial, Energia solar, Sistema fotovoltaico

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no Brasil vem aumentando a cada ano, principalmente após a década de 1970 quando se intensificou a industrialização do país. Segundo Geller (2003) o consumo de energia elétrica cresceu 250% no período de 1975 a 2000. Além disso, fatores como a integração de um maior número de unidades consumidoras à rede, o aumento do poder aquisitivo da população e o aumento no número de equipamentos dependentes de energia elétrica contribuíram para intensificar a demanda por este tipo de energia não somente no setor industrial, mas também nos setores residencial, comercial, de serviços e públicos. Isto provocou um descompasso entre a demanda e a oferta de energia no sistema elétrico brasileiro, fato evidenciado pela crise energética de 2001.

Atualmente, além do aumento da demanda por energia elétrica, a preocupação com impactos ambientais na geração de energia fortaleceu a busca por sistemas mais eficientes e o aumento da utilização de fontes renováveis em sistemas de geração de energia elétrica visando minimizar este impacto.

Diante deste cenário, formas de mitigar o consumo de energia da rede elétrica convencional em sistemas de iluminação e climatização de edificações vêm ganhando cada vez mais atenção. Esta diminuição pode ser alcançada valendo-se de recursos construtivos e dos recursos naturais que envolvem a edificação e/ou com o uso de sistemas de geração de energia elétrica na própria edificação, reduzindo a demanda de energia da concessionária.

Sistemas fotovoltaicos são particularmente atrativos neste contexto, pois além de possuir uma correlação visível entre o pico de sua produção com o pico da demanda por climatização, principalmente em estações ou regiões com climas quentes, o sistema fotovoltaico pode ser integrado à edificação de maneira mais simples que outros sistemas de geração de energia, preservando também a estética da mesma e em alguns casos servindo com elementos de proteção solar contra a radiação solar direta sobre as aberturas da edificação.

## 2. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS SETORES COMERCIAL, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS

As peculiaridades do clima se refletem nos perfis de consumo de energia elétrica das cargas para o conforto térmico. Em particular na Região Norte do Brasil, o clima quente e úmido demanda a utilização de sistemas de ar condicionado durante grande parte do dia e durante o ano inteiro, para que níveis adequados de conforto térmico dentro das edificações sejam alcançados.

Constata-se, segundo dados do relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil (Eletrobras, 2005), que sistemas de climatização correspondem à maior parcela do consumo de energia no setor comercial, como pode ser observado na Fig. 1. Assim, a utilização de estratégias para aumentar a eficiência de operação de sistemas de condicionamento de ar na Região pode representar uma economia significativa, principalmente em prédios comerciais, de serviços e públicos, onde os sistemas condicionadores de ar são utilizados durante o dia. No setor residencial, os equipamentos de ar condicionado são utilizados principalmente no período noturno.

Segundo o mesmo relatório, “o condicionamento ambiental apresenta um grande potencial de economia por meio da redução da carga térmica e pela utilização de equipamentos mais eficientes”. Este potencial de economia pode variar,

contudo, devido à grande heterogeneidade na constituição deste setor, pois abrange uma diversa gama de consumidores como: hotéis, hospitais, *shopping centers*, bancos, restaurantes, entre outros, podendo até mesmo estar contidos em diferentes classes de fornecimento da concessionária de energia elétrica.

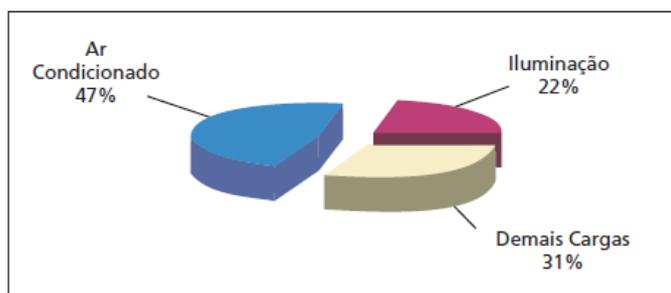


Figura 1 – Distribuição do consumo por uso final no setor comercial (Fonte: Eletrobras, 2005).

Nas edificações comerciais, pela natureza das atividades a que se destinam, as cargas utilizadas apresentam tipicamente um perfil de consumo mais coincidente com o perfil da produção de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos quando nelas integrados. A correlação é maior em períodos de calor intenso, onde a demanda energética nestas edificações aumenta de forma acentuada em consequência da utilização intensa de aparelhos de ar-condicionado (Rütter, 2004).

Ademais, a inserção de minigeração e microgeração ao sistema de distribuição de energia elétrica ganhou um incentivo com a publicação da Resolução Normativa N° 482 da ANEEL, a qual regulamenta os créditos de energia ativa gerada por meio de sistemas de compensação de energia. A referida resolução, em complemento à seção 3.7 do PRODIST (PRODIST – Módulo 3, 2011) onde são dispostos os requisitos técnicos e os procedimentos para solicitação de conexão, cria um regulamento específico para conexão à rede de centrais geradoras com potência instalada menor que 1 MW, facilitando a entrada de tais empreendimentos na rede.

Assim, pequenos sistemas de geração conectados à rede serão compensados pelo seu excedente de produção de eletricidade, quando houver. Além disso, estas novas fontes de geração podem trazer benefícios às distribuidoras de energia elétrica, propiciando a redução do carregamento dos alimentadores em regiões com alta densidade de carga, redução de perdas e, em alguns casos, postergação de investimentos na expansão do sistema de distribuição (Castro, 2011). Em particular, para o caso da carga de climatização em prédios comerciais, os sistemas fotovoltaicos poderiam fornecer uma contribuição significativa de energia no momento em que ela é mais necessária.

### 3. ESTUDO DE CASO DA EDIFICAÇÃO DO GEDAE/UFPA

Neste trabalho é apresentado um estudo a respeito dos perfis de consumo do laboratório pertencente ao Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) da Universidade Federal do Pará, localizado na cidade de Belém-PA, onde foram feitas medições de demanda e consumo de energia elétrica da edificação nos sistemas de iluminação, climatização e tomadas para demais equipamentos; também foram realizadas medições referentes à produção do sistema fotovoltaico conectado à rede instalado na edificação, temperatura ambiente externa, temperatura interna em um ambiente não climatizado e irradiância. Os dados considerados na análise neste trabalho referem-se aos dias úteis do mês de março de 2012.

Os valores utilizados nos gráficos correspondem aos valores registrados a cada cinco minutos (período de integralização) das médias aritméticas dos pontos coletados a cada cinco segundos. As análises foram realizadas com base em um dia útil típico para o referido mês. O dia útil típico representa as médias dos instantes de cinco minutos relacionados a todos os dias do mês exceto fins de semana. Os fins de semana foram descartados da análise em decorrência da ausência de expediente no laboratório. Não representando, desta forma, o perfil de utilização das cargas da edificação.

Vale ressaltar que o objetivo neste trabalho é apresentar a contribuição do sistema fotovoltaico na demanda de climatização durante os dias úteis. Destaca-se que a representação de um dia típico de consumo de energia elétrica da edificação para o mês em questão não deveria descartar os fins de semana, pois, de outra maneira, ter-se-ia o cálculo de um consumo mensal mais elevado do que o real.

A Fig. 2 apresenta o perfil de demanda típico para cada tipo de uso final das cargas do laboratório (dividido em climatização, iluminação e equipamentos) e também a demanda total da edificação, que consiste na soma das demandas dos três tipos de cargas. Para o estudo de caso apresentado neste trabalho, nota-se que a demanda de climatização é responsável por grande parte da demanda de energia do laboratório. Nas curvas apresentadas na Fig. 2 é possível notar que o perfil de demanda de potência elétrica ativa da edificação é semelhante àquele mostrado para o da demanda de climatização.

A demanda de climatização atinge seus valores máximos próximos às três da tarde e possui uma elevação acentuada perto de dez horas da manhã, horário em que a climatização artificial começa a se fazer necessária para que níveis adequados de conforto térmico sejam alcançados. A demanda do sistema de tomadas para demais equipamentos

apresenta poucas variações entre 9 da manhã e 6 da tarde, e a demanda por sistemas de iluminação possui uma elevação apenas no meio da tarde e durante a noite.

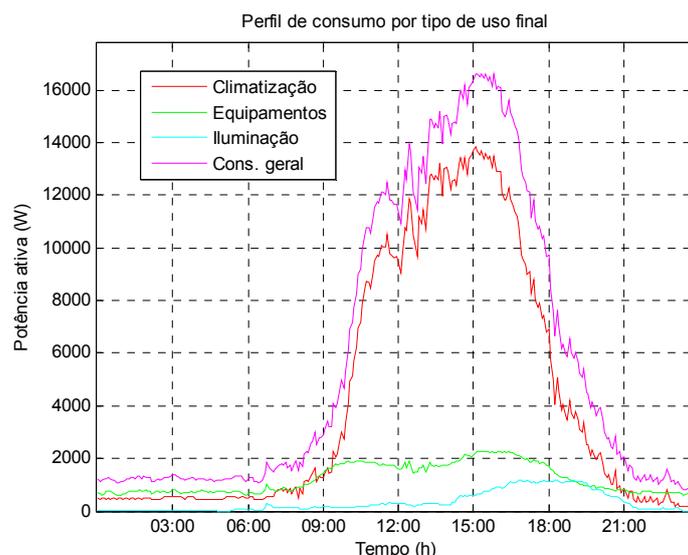


Figura 2 – Perfil de demanda por uso final do Laboratório do GEDAE para o mês de março de 2012.

A Fig. 3 apresenta a porcentagem da demanda que cabe a cada tipo de circuito (iluminação, climatização e demais equipamentos) para o dia típico considerado. Segundo as medições realizadas, observa-se que mais de dois terços do consumo da edificação se deve ao sistema de climatização. Deve-se ressaltar que a edificação utilizada como estudo de caso foi construída utilizando técnicas que aproveitam melhor a iluminação natural, de modo que a iluminação artificial é pouco utilizada durante o dia, resultando na pequena parcela, devido a sistemas de iluminação, no consumo total do laboratório.

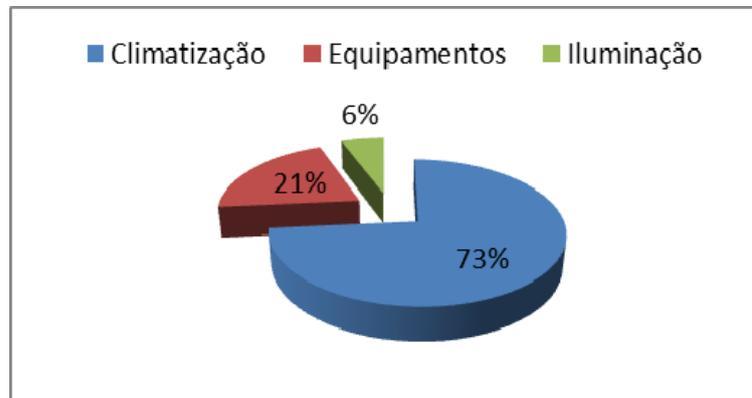


Figura 3 - Porcentagem de consumo por uso final referente aos dias úteis do mês de março de 2012.

### 3.1 Sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) do GEDAE

O laboratório possui dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados. O primeiro sistema é composto por um inversor de 1 kW e um gerador FV de 1,68 kWp, constituído de 21 módulos com potência nominal de 80 Wp cada um, todos conectados em série, instalados como prolongamento do telhado da edificação, orientados a 19° noroeste e inclinados de 14° com relação à horizontal. A Fig. 4 mostra o gerador FV instalada na fachada norte do laboratório.

O segundo é constituído por um inversor de 2,8 kW e um gerador FV de 3,36 kWp, instalado no telhado da edificação, também orientado a 19° noroeste e inclinado de 14° com relação à horizontal e é composto de 28 módulos, cada um com potência nominal de 120 Wp. Constituindo duas fileiras de 14 módulos em série, conectados em paralelo (Cavalcante, 2011).



Figura 4 – Sistema fotovoltaico conectado à rede do GEDAE (prolongamento do telhado).

### 3.2 Correlação entre os gráficos de temperatura, irradiação, climatização e produção fotovoltaica

A Fig. 5 apresenta o perfil da temperatura ambiente interna de uma das salas do laboratório juntamente com a curva de produção do sistema fotovoltaico e a demanda de climatização para um dia útil típico do mês de março de 2012. Nota-se que há uma correlação entre as três curvas, mostrando que a climatização possui um crescimento acentuado de sua demanda coincidindo com o aumento da produção do sistema fotovoltaico e também com o aumento da temperatura. Este perfil de geração de energia do sistema fotovoltaico pode representar uma importante contribuição para aliviar a demanda da concessionária de energia elétrica para atender a carga de climatização da edificação. A título de comparação com a produção do sistema fotovoltaico, é apresentado na Fig. 6 o perfil da irradiação para os dias considerados.

Vale ressaltar, entretanto, que os picos de temperatura e da produção do sistema fotovoltaico não coincidem com o pico da demanda de climatização, este último possuindo um deslocamento para a direita em relação aos outros dois perfis. Isto acontece porque no período em que a produção do sistema fotovoltaico e a temperatura são máximas, os usuários do laboratório encontram-se em horário de almoço. Dessa forma, há um menor número de salas ocupadas e alguns equipamentos desligados, resultando em uma diminuição da carga de climatização.

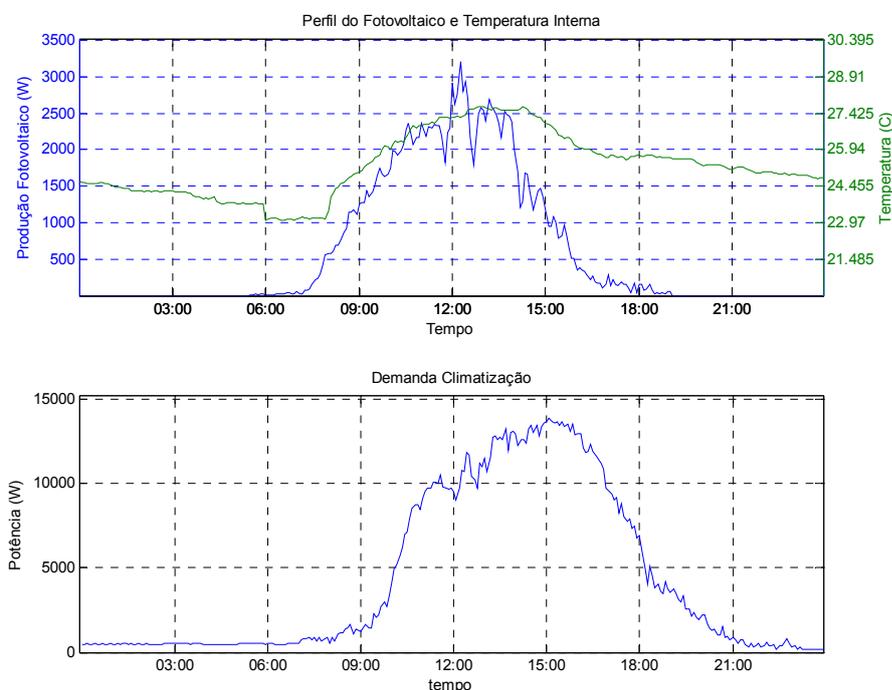


Figura 5 – Perfil de produção do sistema fotovoltaico e temperatura interna de uma das salas do laboratório.

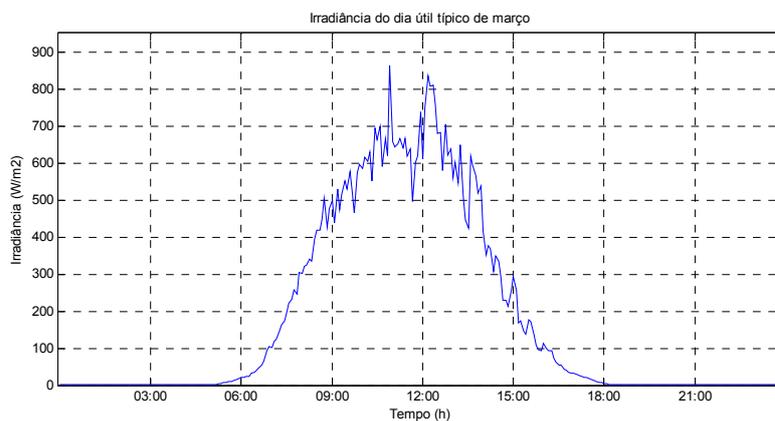


Figura 6 – Perfil de irradiância para o dia útil típico.

### 3.3 Dias de pouca correlação

Embora o pico do perfil de produção do sistema fotovoltaico seja um pouco deslocado em relação ao pico do perfil da demanda de climatização da edificação quando é calculado e exibido o gráfico de dia típico, vale ressaltar que há dias em que esse deslocamento é mais acentuado. Isto ocorre devido a alguns fatores que são explicados adiante, tais como aspectos climáticos, quantidade de pessoas que ocupam a edificação e também aos hábitos de consumo da edificação. Isto pode ser percebido nos gráficos apresentados para as medições referentes ao dia 16 de março de 2012 mostrados na Fig. 7.

Durante o período da manhã, os aparelhos de ar condicionado são menos utilizados na edificação devido à menor temperatura e também ao menor número de ocupantes no laboratório. Além disso, o gráfico de temperatura mostra que durante o período da tarde, os aparelhos de ar condicionados são mais necessários devido à inércia térmica da edificação, pois apesar da temperatura externa (curva em verde) da edificação apresentar um perfil bem correlacionado com o decréscimo da produção do sistema fotovoltaico, a temperatura interna (curva em vermelho) mostrou um perfil um pouco diferente, com um decréscimo de temperatura mais lento.

A Fig. 7 mostra também que para o referido dia a queda da produção fotovoltaica próxima às 14 horas se deve a presença de nuvens e chuva no período com a consequente diminuição da irradiância e temperatura. Verifica-se também na Fig. 7 que a demanda por climatização diminuiu no período, pois foi constatado que alguns usuários elevaram a temperatura do termostato do aparelho (controle manual) em seu ambiente de trabalho. A Fig. 8 apresenta a irradiância para o dia 16 de março de 2012 para fins de comparação com a produção do sistema fotovoltaico.

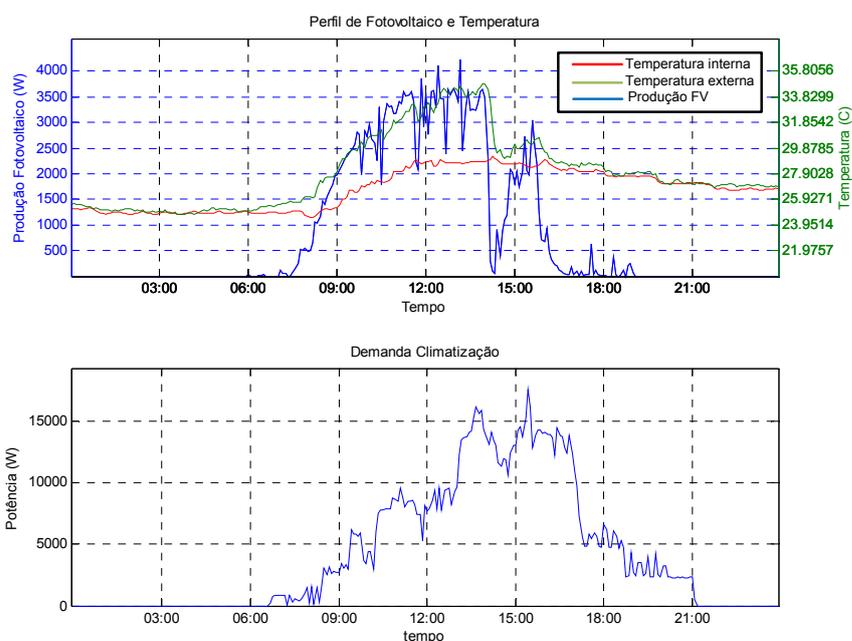


Figura 7 – Medições de demanda de climatização, produção do sistema fotovoltaico e temperatura interna e externa para o dia 16 de março.

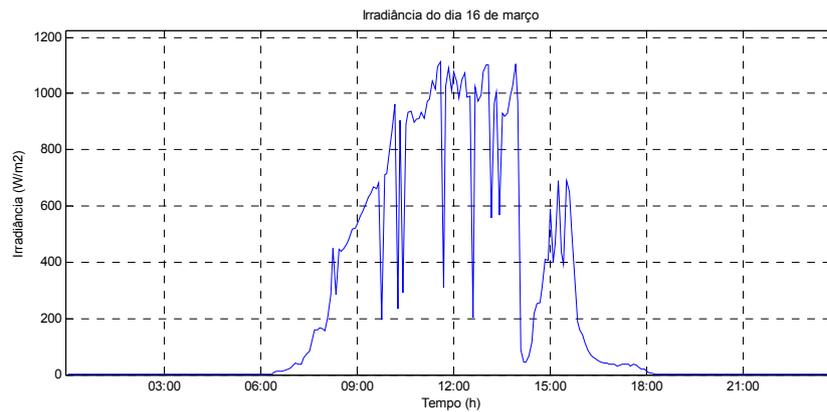


Figura 8 – Irradiância para o dia 16 de março.

Também se devem ressaltar os hábitos de consumo dos ocupantes da edificação, pois alguns usuários não costumam desligar os aparelhos de ar-condicionado após estes terem sido ligados, sendo desligados apenas ao final do expediente e tampouco ajustar a temperatura do equipamento conforme a sensação de conforto térmico no ambiente. Assim, uma economia de energia poderia ser alcançada com o uso racional de energia por parte dos ocupantes da edificação, entretanto, este uso racional da energia será mais eficaz se os integrantes do laboratório possuírem indicadores que os mostre que os aparelhos de ar condicionados não são necessários em determinado momento. Isto mostra a importância de um controle automático de temperatura para a diminuição do consumo de energia. Este tipo de controle é mais eficaz que um controle manual da utilização dos aparelhos.

### 3.4 Consumo da edificação e produção do sistema fotovoltaico

A seguir, são apresentados os gráficos com as medições do mês em questão para a demanda de climatização e produção do sistema fotovoltaico. A Fig. 9 apresenta a contribuição do sistema fotovoltaico na demanda da edificação. A curva denominada Geral (azul) representa a demanda suprida à edificação pela concessionária de fornecimento de energia elétrica (medidor instalado logo após o disjuntor de entrada no quadro de distribuição do laboratório). Observa-se uma diferença da curva Cons. geral (rosa) nos períodos em que há produção do sistema fotovoltaico. Nos períodos em que não há produção do sistema fotovoltaico as duas curvas são coincidentes. Também são apresentados no mesmo gráfico a demanda de climatização, a produção do sistema fotovoltaico, e a demanda dos sistemas de iluminação e tomadas para demais equipamentos.

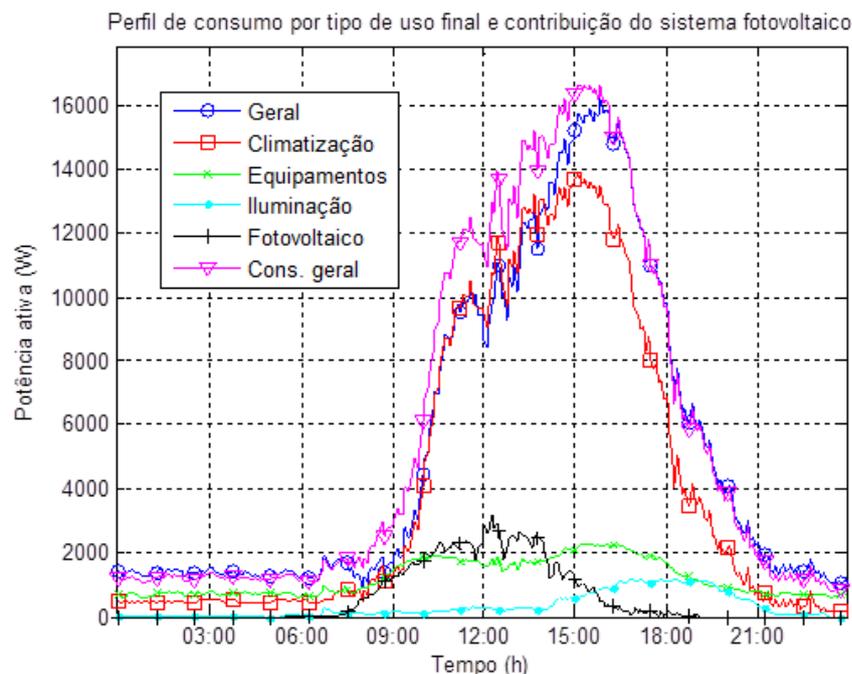


Figura 9 – Perfil de consumo por tipo de circuito e produção do sistema fotovoltaico.

Considerando somente os dados de medição do sistema de climatização, a Fig. 10 apresenta a porcentagem de demanda de climatização artificial que poderia ser suprida pelo sistema fotovoltaico ao longo do dia típico analisado. Nota-se que pela parte da manhã, entre os horários de 8 às 10 horas, o sistema fotovoltaico supriria em grande parte o consumo de climatização chegando até mesmo a possuir uma produção maior que aquela demandada pela climatização. Deve-se ressaltar, contudo, que isso se deve ao hábito de consumo da edificação, pois sistemas de ar condicionado são pouco utilizados no laboratório durante o início da manhã. A utilização de climatização artificial se intensifica após as 10 horas da manhã. Isto se reflete no gráfico da Fig. 10, pois apesar do aumento da produção do sistema fotovoltaico, a porcentagem da climatização que poderia ser suprida por esse sistema oscila entre 20% e 30%.

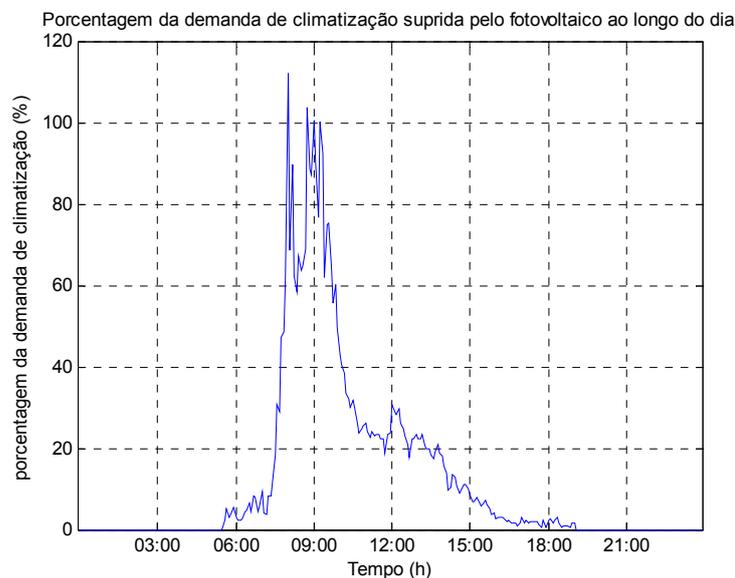


Figura 10 – Porcentagem da demanda de climatização que poderia ser suprida pelo sistema fotovoltaico.

O consumo e a produção de energia para o dia típico medido é apresentado na Tab. 1. A produção diária do sistema fotovoltaico corresponde a mais de 10% do consumo diário de energia com sistemas de climatização, porém nos horários em que a temperatura é mais acentuada esta contribuição chega a 30%. Isto corresponde à uma minimização significativa da demanda de climatização. Deve-se ressaltar também que os dados medidos consideram o mês de março, mês em que a produção do sistema fotovoltaico é menor devido às chuvas e nebulosidade na cidade de Belém-PA. Espera-se que em meses como agosto ou setembro, a produção do sistema seja ainda mais significativa quando comparada com a demanda de climatização.

Tabela 1 – Consumo e produção de energia.

Consumo e Produção de Energia (kWh)			
Climatização	Equipamentos	Iluminação	Fotovoltaico
103,22	29,22	7,98	14,76

## CONCLUSÃO

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem representar uma forma de mitigar a energia suprida pela rede elétrica para o atendimento de cargas de climatização artificial, auxiliando no suprimento destas últimas justamente no momento de maior demanda devido à correlação existente entre irradiância e temperatura, principalmente em estações e/ou regiões com climas quentes.

Os resultados obtidos a partir das medições para este estudo de caso mostram que nos momentos em que a temperatura é mais elevada, o sistema poderia suprir cerca de 30% da demanda por climatização da edificação para o mês em análise. Porém resultados mais favoráveis poderão ser obtidos em meses de menor incidência de chuva e nebulosidade.

Os resultados também mostram que a demanda do sistema de climatização artificial da edificação corresponde a mais de dois terços de sua demanda total e apresenta um perfil correlacionado com o perfil de produção do sistema fotovoltaico.

## **Agradecimentos**

**Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico(CNPq), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará (FAPESPA) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT-EREEA) pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.**

## **REFERÊNCIAS**

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2011. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. Revisão 4.
- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2012. Resolução Normativa N° 482. 17/04/2012.
- Cavalcante, R. L. 2011. Análise Operacional de Dois Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica do Campus Universitário da UFPA, na Cidade de Belém/PA. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.
- Eletrobras, 2005. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética do Brasil – sumário executivo.
- Geller, H. S., 2003. Revolução Energética: Políticas para um Futuro Sustentável. USAID, Rio de Janeiro.
- Rüther, R., 2004. Edifícios Solares Fotovoltaicos. Editora UFSC, LABSOLAR, Florianópolis.
- Castro, M. A. L., 2011. Proposta de Regulação de Geração Distribuída de Pequeno Porte Conectada na Rede de Distribuição. Apresentação no Workshop Sobre Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede da ABENS. São Paulo. Disponível em: <http://www.ufpa.br/inct-ereea/PalestraMarcoAurelio.pdf>. Acessado em 09/07/2012.

## **EVALUATION OF A GRID CONNECTED PV SYSTEM CONTRIBUTION FOR DIMINISHING THE DEMAND FOR AIR CONDITIONING**

**Abstract.** *This paper presents a case study regarding the consumption profiles for a given month of the Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) from the Universidade Federal do Pará. Measurements regarding the demand and the consumption of electricity on the illumination, air-conditioning and outlets for other equipment systems were carried out; measurements concerning the production of a grid connected PV system, temperature in one of the rooms from the laboratory and irradiance were also made. Evaluating the contribution of a grid connected PV system and its correlation with the building's demand curve.*

**Key words:** Air-conditioning , Solar energy, PV system