

# ESTUDO DE IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA NA CURVA DE CARGA DA UFU E SEUS DESDOBRAMENTOS NO CONTEXTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Douglas Bulegon Tsukamoto

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica Uberlândia - Minas Gerais,  
douglasbtsukamoto@gmail.com

Luiz Carlos Gomes Freitas

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica/NUPEP Uberlândia - Minas Gerais,  
lcfgreitas@gmail.com

**Resumo** - Atualmente, devido à crise hídrica, o fornecimento de energia elétrica oriundo das usinas hidrelétricas estão comprometidos, criando uma necessidade de implantar alternativas ecológicas com o objetivo de minimizar os custos e de garantir o fornecimento energético para as atividades acadêmicas. O propósito deste trabalho foi elaborar um planejamento para que a UFU atenda ao Eixo Temático Construções Sustentáveis da Agenda Ambiental da Administração Pública (A3P), conceito que denomina um conjunto de medidas adotadas durante todas as etapas da obra que visam a sustentabilidade da edificação. A metodologia justifica-se pela especificação analítica dos materiais para elaboração do desenho do projeto. Através da adoção dessas medidas é possível minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente além de promover a economia dos recursos naturais e a melhoria na qualidade de vida dos seus ocupantes. Dentre os principais resultados destacam-se o inventário de consumo de energia elétrica pelas edificações dos Campi e a geração da própria energia a ser consumida pela UFU.

**Palavras-Chave** - Energia alternativa, Fotovoltaico, Geração Distribuída, Inversor, Microgeração, Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica, Sustentabilidade

## IMPLEMENTATION OF THE IMPACT OF A PHOTOVOLTAIC PLANT IN UFU LOAD CURVE AND ITS DEVELOPMENTS IN THE CONTEXT OF ENERGY EFFICIENCY

**Abstract** - Currently, due to the water crisis the supply of electricity derived from hydroelectric power plants, are committed, creating a need to implement environmentally friendly alternatives in order to minimize costs and secure energy supply for the academic activities. The purpose of this study was to develop a plan for the UFU meets the Main Topic Sustainable Buildings Environmental Public Administration Schedule (A3P), a concept he calls a set of measures adopted at all stages of the work aimed at the sustainability of the building. The methodology is justified by the analytical specification of materials for preparing the project design. Through the adoption of

these measures can minimize the negative impacts on the environment and promote the economy of natural resources and improving the quality of life of its occupants. Among the main findings highlight up the inventory of energy consumption by buildings of Campi and the generation of own energy to be consumed by the UFU.

**Keywords** - Alternative energy, Distributed Generation, Inverter, Grid Tie Photovoltaic System, Photovoltaic, Sustainability.

1)

## I. INTRODUÇÃO

De acordo com as estatísticas apresentadas no relatório mundial de energias renováveis (REN 21 2013) [1], a demanda global por energia renovável aumentou consideravelmente nos anos 2011 e 2012, apesar da crise econômica que atingiu praticamente todos os países do mundo. Conforme ilustra a Fig 1, as fontes renováveis de energia foram responsáveis por cerca de 19% da energia global consumida ao término de 2011. Desse total, a biomassa tradicional que é bastante utilizada em áreas rurais de países em desenvolvimento tem a parcela de 9,3% e as fontes renováveis modernas são responsáveis por 9,7%.

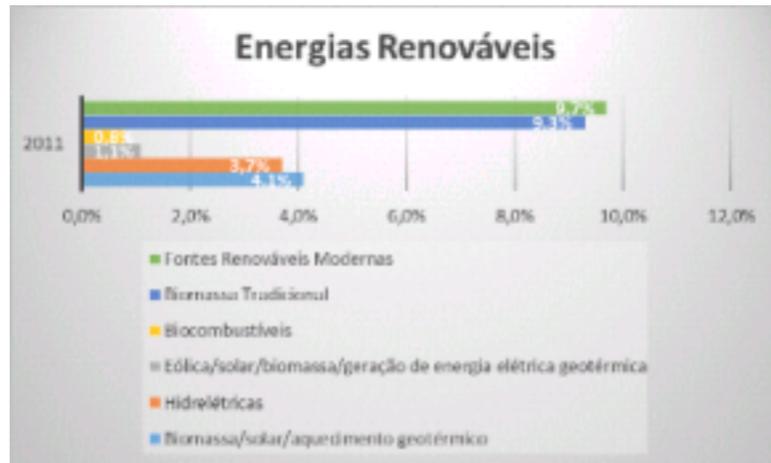
Analisando a Fig 1 (b), observa-se que o final de 2007 até 2012, a capacidade instalada de várias tecnologias de energia cresceu muito rapidamente, principalmente no setor de energia elétrica. A capacidade total de sistemas de energia solar fotovoltaica (FV) autônomos e conectados à rede elétrica cresceu anualmente em média de 60%, sendo significativamente maior que as taxas de crescimento obtidas pelas outras tecnologias renováveis. De acordo com EPIA (2014), a capacidade instalada mundial da energia fotovoltaica atingiu valores próximos a 139 GWp em 2013.

No Brasil, devido ao grande potencial para geração de energia fotovoltaica, observa-se recentes avanços no contexto da inserção da energia fotovoltaica centralizada, merecendo especial destaque Leilão de Energia de Reserva ocorrido em Outubro de 2014 através da Portaria nº 236/2014 do Ministério de Minas e Energia, através do qual, segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) foram contratados 31 projetos, totalizando 1.048 MW de capacidade instalada que vão injetar cerca de 889,7 MW na matriz energética brasileira a partir de 2017. Em Abril de 2015, o Leilão de Energia de

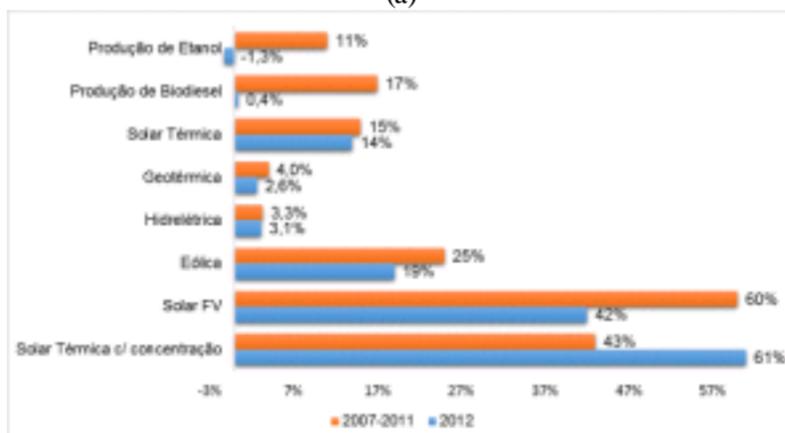
1)

Fontes Alternativas 2015 (FA 2015) realizado pela Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) registrou o cadastro de 570 projetos (14.962 MW), dos quais 530 são usinas eólicas, somando 12.865 MW de potência instalada, e 40 usinas termelétricas a biomassa, que somam 2.067 MW.

Vale destacar ainda a entrada em operação da Usina Fotovoltaica Cidade Azul de 3MW, localizada na cidade de Tubarão, no sul de Santa Catarina. Atualmente, com a energia gerada por essa usina é possível abastecer 2.500 casas todos os dias, o que representa aproximadamente 25% de toda a energia solar produzida no Brasil.



(a)



(b)

Fig 1. (a) Percentual estimado do consumo global final de energia renovável em 2011; (b) Taxas de crescimento médio anual de produção de energia no mundo com fontes de energia renováveis (Final de 2007-2012) [1].

Não obstante aos avanços alcançados, segundo dados da ANEEL, apenas cerca de 0,01% da energia elétrica consumida no país advém da energia solar. Dessa forma, diante do cenário atual caracterizado por uma grave crise no setor hidrológico que repercute com consequências nefastas na capacidade de geração de energia elétrica, observa-se que a Energia Fotovoltaica deve, o quanto antes, ser incorporada de forma substancial na matriz energética brasileira, devendo-se considerar tanto quanto geradores fotovoltaicos centralizados (UFV de grande porte), os geradores fotovoltaicos distribuídos os quais devem ser instalados nos telhados de residências, comércios, hospitais, escolas e indústrias por todo o Brasil. Diante deste cenário, esta proposta de artigo apresenta os resultados esperados da execução e análise de desempenho de uma Usina Fotovoltaica de 84 kWp Conectada à Rede Elétrica de Baixa Tensão. Esta se encontra instalada nas dependências da Reitoria (Bloco 3P) da Universidade Federal de Uberlândia (UFV 3P-UFU). Os autores têm como principal objetivo esclarecer diversas incertezas que consumidores industriais possuem e que dificultam a ampliação de geradores

fotovoltaicos distribuídos em todo o Brasil, prestando os devidos esclarecimentos quanto aos principais agentes envolvidos (Concessionárias, Consumidores, Estado e Empresas) afim de facilitar a tomada de decisão com relação instalação ou não uma unidade de mini ou microgeração.

## II. PROJETO DE ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 84 KWP CONECTADO À REDE ELÉTRICA

Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) são aqueles em que o excedente de energia elétrica gerada é injetado na rede elétrica da concessionária local e, portanto, elementos acumuladores de energia elétrica, tal como baterias, não são utilizados. A eliminação do banco de baterias é vantajosa, pois as mesmas apresentam tempo de vida útil relativamente curto e custo elevado.

Para este projeto foram considerados os índices de irradiação solar e de temperatura do local em que será feita a instalação. Para aquisição dos dados de irradiação, consultou-se o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) [6]. O projeto foi realizado utilizando-se o programa PVSYST e os resultados foram confrontados com os dados teóricos apresentados em [3], ficando evidenciada a coerência entre resultados obtidos.

A região de Uberlândia está situada na Latitude 18 55'11,50" Sul e Longitude 48 15'31,06" Oeste, e a 887 metros acima do nível do mar, com temperatura média anual em torno de 22 °. Segundo dados do INPE, Uberlândia está entre as melhores regiões do país em termos de potencial para produção de energia elétrica com Irradiação Solar Total em torno de 1984,5 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Isso significa que para cada Wp instalado é possível obter cerca de 1,5 kWh.

Na Fig 2 é apresentada o local de instalação dos painéis ocupando uma área de 549m<sup>2</sup> no lado leste do prédio da reitoria da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Serão utilizados 336 painéis de 250 Wp divididos em 16 strings e 4 inversores de 21,0 kW. O sistema totalizará 84 kWp instalado e será dividido em duas áreas. A primeira voltada ao norte composta por 168 painéis com desvio azimutal de 350 ° e outros 168 painéis com desvio azimutal de 170 °, todos com uma inclinação de 10 °.

A Fig. 3 mostra o local onde as instalações e os estudos supramencionados estão sendo realizados. Todos os componentes utilizados foram especificados a fim de obter a máxima geração de energia elétrica com o mínimo de perdas seguindo-se as normas nacionais [2], [4], [5]; assim como normas internacionais, [7], [8]. Vale ressaltar que, em 2013, foram aprovadas duas normas referentes às características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição de sistemas FV (ABNT NBR 16149) [9] e referentes ao procedimento de ensaio de conformidade dos equipamentos (ABNT NBR 16150) [10].

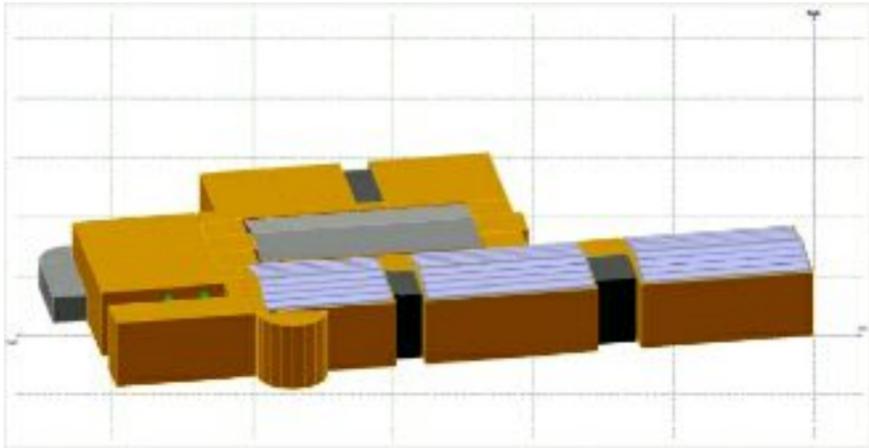


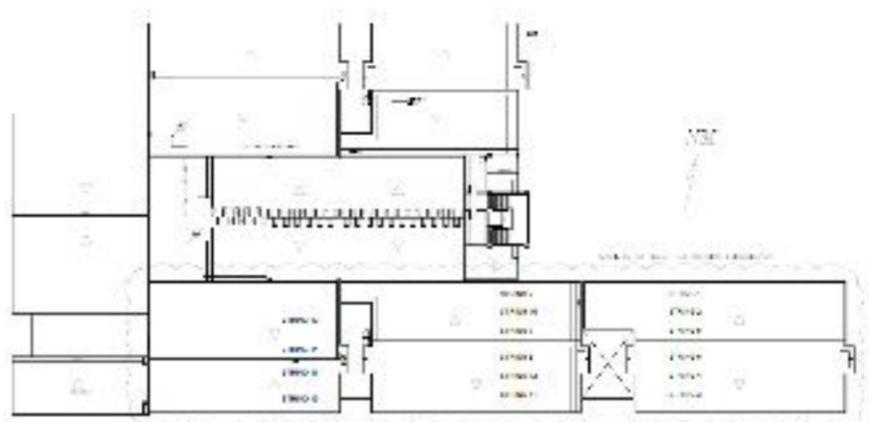
Fig 2. Reprodução das instalações da Reitoria(3P) no programa PVSYST para avaliação do potencial de geração de energia elétrica.



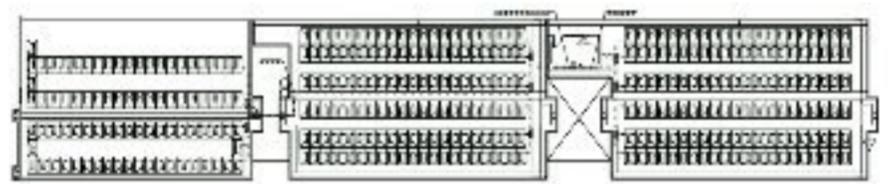
Fig 3. Local onde as instalações serão feitas, destacado em vermelho.

A escolha do local de instalação levou em consideração as análises de acesso solar realizadas, também por ser uma edificação relativamente nova, com um shaft (local de instalação dos inversores) bem abrigado centralizado entre as placas e sem risco de sombreamento por edificações ou árvores. Sempre visando maximizar a produção de energia elétrica.

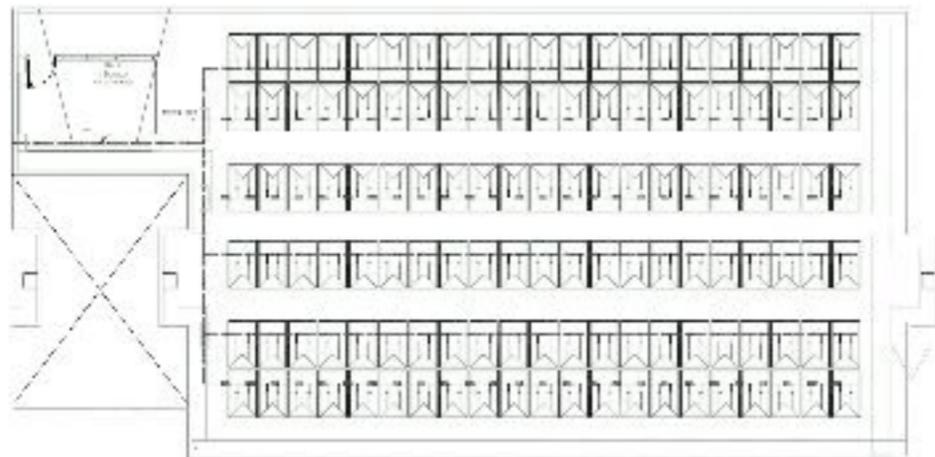
A Fig 4(a) mostra a planta da cobertura do prédio e em destaque o local onde serão instaladas as placas. Na Fig 4(b) é ilustrada em sua totalidade a disposição das 336 placas e o shaft no centro, onde serão alocados os inversores ao lado do quadro de distribuição, e na Fig 4(c) é demonstrado com mais detalhe a disposição das placas apenas no lado leste. A escolha desse tipo de ligação prioriza o equilíbrio de potência de entrada de cada MPPT, pois as strings com maior desvio azimutal apresentam a posição em que foram instalados os painéis uma eficiência média na geração de energia 10% menor.



(a)



(b)



(c)

Fig 4. (a) Local onde as instalações serão feitas; (b) Disposição dos módulos na cobertura do prédio; (c) Esquema de ligação, em destaque, os fios positivos e negativos.

#### A. Módulo Fotovoltaico

Os valores de tensão e corrente para o ponto de máxima potência são fornecidos levando em consideração as Condições Padrão de Testes, conforme apresentado na Tab. I. Nesse sentido, o valor da tensão de circuito aberto deve ser avaliado levando-se em consideração a faixa de temperatura no local da instalação, de acordo com o coeficiente de temperatura fornecido na folha de dados fornecida pelo fabricante.

TABELA I. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO (STC: T=25°C, G=1000 W/M<sup>2</sup>, AM=1.5)

Módulo Fotovoltaico 250 W	
Tensão MPP, $V_{MPP} = 30 \pm 3$ V	
Corrente MPP, $I_{MPP} = 8,5 \pm 1$ A	
Tensão de Circuito Aberto, $U_{OC} = < 38$ V	
Corrente de Curto-Circuito, $I_{SC} = < 9$ A	
Coeficiente de Temperatura da Potência ( $P_{max}$ ) $> \text{que } -0,5\%/^{\circ}\text{C}$	
Coeficiente de Temperatura da Tensão ( $U_{OC}$ ) $> \text{que } -0,4\%/^{\circ}\text{C}$	
Coeficiente de Temperatura da Corrente ( $I_{SC}$ ) $< \text{que } 0,6\%/^{\circ}\text{C}$	
Eficiência Mínima do Módulo, $> 15,0\%$ -INMETRO - selo Classe A	

#### B. Inversor

Cada inversor conta com 2 MPPT, cada MPPT irá atender 2 strings do sistema. Na Tabela II são apresentados os principais parâmetros encontrados na folha de especificação do Inversor Solar. Este, da extração da máxima potência do arranjo fotovoltaico instalado, efetua o paralelismo e o sincronismo com a rede elétrica automaticamente, já contendo as proteções anti-ilhamento (anti-islanding), que detectam eventuais falhas na tensão de suprimento e desconecta, por consequência, o Sistema Fotovoltaico da rede elétrica.

TABELA II. CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR 21KW

Entrada de Dados DC	
Potência do Painel recomendada	$> \text{que } 20500 \text{ Wp}$
Máxima tensão de entrada DC	1000 V
Faixa de tensão de operação DC de MPPT	250 a 500 V
Máxima corrente de entrada DC para cada MPPT	25 A
Dados de saída AC	
Máxima potência de saída a 40°C	$> \text{que } 22000 \text{ W}$
Tensão nominal de saída AC	380 V
Faixa de tensão da rede elétrica AC	319 a 483 V
Máxima corrente AC	33 A

Máxima corrente de retorno	0 A
Faixa de frequência de operação	57 a 63 Hz
Distorção harmônica total de corrente DTI%	< 3%
Fator de potência	1
<b>Dados gerais</b>	
Máxima eficiência	>96 %
Consumo durante a operação	< que 50 W
Consumo em stand-by	<10 W (noite)
Faixa de temperatura ambiente	- 25 a 60 °C
Peso	< que 80 kg
Monitoramento de proteção de surto	AC e DC

### C. Sistema de Medição

No Brasil foi adotado o sistema de compensação de energia elétrica, também conhecido como Netmetering. O medidor é necessário para o registro do fluxo de energia bidirecional, onde ocorrerá a medição da compensação de créditos de energia. Em Minas Gerais, para aderir ao sistema de compensação, o consumidor deverá seguir as recomendações da Resolução Normativa 482 [2] e da ND 5.30 (baixa tensão) da CEMIG[11], onde está disposto que "o consumo a ser faturado, referente à energia elétrica ativa, é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto horário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes".

### III. CONSIDERAÇÕES ACERCA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Por definição, o termo Eficiência Energética refere-se à relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento. Adotam-se, como pressupostos básicos, a manutenção das condições de conforto, de segurança e de produtividade dos usuários, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a mitigação dos impactos ambientais.

Criado pelo governo federal em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica tem por objetivo promover a racionalização do consumo de energia elétrica, combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais, aumentando ainda a eficiência energética.

As iniciativas para a adoção de medidas de eficiência energética em prédios públicos vêm recebendo a atenção especial de diversos países pela sua importância em contribuir na redução das emissões que impactam o clima do planeta ou pelo papel tecnológico estratégico que desempenham nas empresas num mercado cada vez mais competitivo e globalizado.

A autoprodução de energia gera uma eficiência requerida cada vez mais, pois reduzem as perdas com transporte, diminuem a demanda por energia em horários de picos e aliviam a utilização das termelétricas no Brasil.

Neste cenário, diante de uma das piores crises hídricas da média histórica brasileira ameaçando a população de desabastecimento permanente e apagão iminente na região Sudeste, cabe ressaltar que, com a execução deste projeto,

estima-se que serão economizados em média 110 MWh por ano. Para gerar toda essa energia seriam necessários 700 mil m<sup>3</sup> de água por ano que seriam gastos das reversas das hidrelétricas locais. De acordo com a Prefeitura Universitária da UFU, o gasto total de água para consumo em 2014 foi de 170 mil m<sup>3</sup>, ou seja, apenas um quarto do valor que será economizado com a implantação da UFV em foco.

Para ilustrar o que foi exposto, são apresentados a seguir alguns resultados que evidenciam o grande potencial de geração de energia elétrica da UFV e seus desdobramentos no contexto da eficiência energética. Na Fig 5 é apresentado o perfil de consumo instantâneo nas instalações prédio da reitoria da UFU, medidos a cada 10 minutos entre 00h00 do dia 23/10/2014 às 23h50 do dia 29/10/2014, totalizando 1008 medições na semana. Observa-se que há dois picos de consumo, um às 11:15h, e outro, maior, às 14 horas. É possível concluir que a curva de carga nos dias de semana são compatíveis com a curva de geração fotovoltaica, havendo uma coincidência entre os intervalos de tempo em que se tem máximo consumo com os intervalos de tempo em que se tem a geração fotovoltaica máxima, conforme observado na Fig 6.

Ainda na Fig 6, observa-se o perfil de geração diária de um sistema fotovoltaico de 2,16 kWp já implantado na UFU, nas dependências Núcleo de Pesquisas em Eletrônica de Potência (NUPEP). Estes dados correspondem às medidas realizadas na mesma data em questão e foram obtidos em intervalos de 10 minutos ao longo do dia. Utilizando métodos de cálculos estatísticos, foi simulada a curva de geração para o sistema FV em fase de implantação no prédio da Reitoria da UFU. Nesta situação, observa-se que nos dias 25(sábado) e 26(Domingo) a geração foi relativamente baixa por consequência de precipitações de nuvens causando sombreamento nas placas. Como o consumo no prédio nesses dias é baixo, houve períodos que a geração ultrapassou o consumo, havendo, portanto, injeção de potência ativa na rede elétrica do campus que seria consumida pelo restante da universidade. Observa-se que não há uma linearidade entre o tempo trabalhado e a quantidade de energia gerada. As contribuições de energia da UFV e da concessionária serão diferentes em cada período devido a vários fatores, tais como: irradiância, sombra, temperatura diária, estações do ano, até a limpeza dos módulos.

Diante do exposto, os resultados esperados são de uma geração de 110 MWh/ano, o que equivale a uma média de 15% do consumo da edificação e uma economia mensal de aproximadamente R\$ 4.000,00, conforme ilustrado Tab 3. Na Fig 7 é apresentada a curva de carga resultante da diferença da curva do consumo (Fig 5) com a curva de geração da UFV ilustrada na Fig 6. Vale ressaltar que não haverá impacto negativo na qualidade da energia elétrica entregue ao campus universitário uma que a Distorção Harmônica Total da Corrente injetada pelos inversores é inferior a 3%, em consonância com os limites impostos pelas normas vigentes.



Fig 5 - Perfil de consumo de energia elétrica no prédio da reitoria da UFU aferido entre os dias 23/10 - 29/10 de 2014.

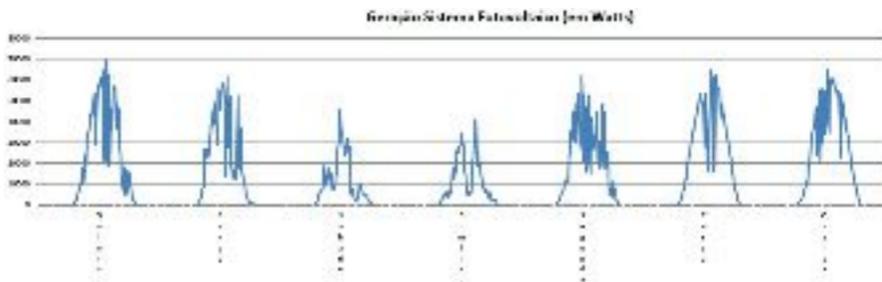


Fig. 6 - Perfil de geração de energia elétrica estimado para UFV em pauta tendo como base dados reais obtidos em um sistema de menor escala instalado na mesma localidade - Medições realizadas entre os dias 23/10 - 29/10 de 2014.

TABELA III. COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA ATUAL E O APÓS A INSTALAÇÃO DO FOTOVOLTAICO E SUA RELAÇÃO DE ECONOMIA

	Potencia consumida sem fotovoltaico (kWh)	Potencia consumida com fotovoltaico (kWh)	Economia gerada no prédio (em %)
Quinta	2343,97	1992,77	14,98
Sexta	2609,80	2331,30	10,67
Sábado	666,18	527,04	20,89
Domingo	641,52	502,25	21,71
Segunda	1953,39	1670,61	14,48
Terça	2512,72	2137,68	14,93
Quarta	2190,49	1807,97	17,46
Semana	12918,07	10969,61	15,08



Fig 7 Consumo do prédio após UFV em kW.

#### IV. CONCLUSÃO

Esta proposta de artigo apresentou os resultados esperados da execução e análise de desempenho de uma Usina Fotovoltaico de 84 kWp Conectada à Rede Elétrica de Baixa Tensão. Esta se encontra instalada nas dependências da Reitoria (Bloco 3P) da Universidade Federal de Uberlândia (UFV 3P-UFU). Os autores tem como principal objetivo esclarecer diversas incertezas que consumidores industriais possuem e que dificultam a ampliação de geradores fotovoltaicos distribuídos em todo o Brasil, prestando os devidos esclarecimentos quanto aos principais agentes envolvidos (Concessionárias, Consumidores, Estado e Empresas) afim de facilitar a tomada de decisão com relação instalação ou não uma unidade de mini ou microgeração.

Neste cenário, diante de uma das piores crises hídricas da média histórica brasileira ameaçando a população de desabastecimento permanente e apagão iminente na região

Sudeste, cabe ressaltar que, com a execução deste projeto, estima-se que serão economizados em média 110 MWh por ano. Para gerar toda essa energia seriam necessários 700 mil m<sup>3</sup> de água por ano que seriam gastos das reversas das hidrelétricas locais. De acordo com a Prefeitura Universitária da UFU, o gasto total de água para consumo em 2014 foi de 170 mil m<sup>3</sup>, ou seja, apenas um quarto do valor que será economizado com a implantação da UFV em foco.

#### V. REFERÊNCIAS

- [1] MARTINOT. E.; SAWIN, J. L. Renewables Global Status Report. REN 21 (Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century), Frankfurt School, p. 18-25, 2013. Disponível em: <<http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>>. Acesso em: 04 out. 2013;
- [2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL - RESOLUÇÃO NORMATIVAN 9482 - 17 de Abril de 2012
- [3] SPADUTO, R. R.; FREITAS, L. C. G. Estudo De Técnicas De MPPT Em Sistemas Fotovoltaicos. Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2013, Uberlândia, MG.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- [5] PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL. Seção 3.7 do Módulo 3: Acesso de Micro e Minigeração Distribuída. 2012. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo3\\_Revisao\\_5.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo3_Revisao_5.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2012.
- [6] PEREIRA, E. B. et. al. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Atlas Brasileiro De Energia Solar. São José dos Campos. 2006.
- [7] IEEE. IEEE Std 1547: IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, p. 1-16, 2003
- [8] IEEE. IEEE Std 929: Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems. 2000.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16149: Sistemas Fotovoltaicos (FV) - Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição. Rio de Janeiro, 2013.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16150: Sistemas Fotovoltaicos (FV) - Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição - Procedimento de Ensaio de Conformidade. Rio de Janeiro, 2013.
- [11] COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS S.A- ND 5.30 - Requisitos para a conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig - Conexão em Baixa Tensão - Novembro de 2012