

## ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE SISTEMA HÍBRIDO TERMO-FOTOVOLTAICO

*ANALYSIS OF THE VIABILITY OF USING HYBRID THERMO-PHOTOVOLTAIC SYSTEM*

**AMARAL, Willian Rafael Vieira do 1**  
**PINOTTI, Milton Augusto 2**  
**JUNKES, Marcia Maria 3**

**RESUMO:** As pesquisas por fontes alternativas de energia, haja vista a preocupação ambiental e a escassez energética, têm merecido destaque, atualmente. Os investimentos e pesquisas, no que tange a sustentabilidade do sistema energético, tem tido contínuo incremento. Estimulado pelas premissas citadas, busca este projeto avaliar a viabilidade do aproveitamento da energia solar, em especial, a energia térmica, conjuntamente com geração de energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. A energia térmica, absorvendo o calor em de módulos planos, aquecerá um fluido, trocando calor com a água em reservatórios térmicos. A energia elétrica, por sua vez, gerada a partir do efeito fotovoltaico, alimentará cargas específicas de uma instalação residencial. Assim sendo, o objetivo deste projeto é analisar a eficiência da geração elétrica e térmica, do módulo fotovoltaico, quantificando o calor gerado além de determinar a viabilidade técnica de aproveitamento do calor. Vem ao encontro do objetivo, desta pesquisa, acoplar um coletor térmico a um painel fotovoltaico, desenvolvendo um único dispositivo, aqui denominado coletor termo-fotovoltaico. Os equipamentos em estudo foram submetidos a medições de temperaturas, iluminância e tensão. Observou-se relativo aproveitamento do calor gerado na face inferior do coletor termo-fotovoltaico tendo apresentado, em média, aquecimento diário de 0,7°C em 25 litros de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade. Energia térmica. Energia fotovoltaica. Coletor térmico-fotovoltaico.

**ABSTRACT:** *Studies for alternative energy sources, given the environmental concerns and the energetic scarcity, deserve special attention. Investments and research concerning the sustainability of the energetic system have had a continuous upgrade. Motivated by the mentioned statements, this project aims at evaluating the viability of the use of solar energy, especially the thermal one, added to the production of electrical energy through photovoltaic effect. The thermal energy absorbs the heat through flat modules, then warms up a fluid, changing its heat with the water in thermal tanks. The electrical energy, produced by the photovoltaic effect will provide specific charges to a residential installation. Thus, the goal of this project is to analyze the efficiency of the electrical and thermal production, as well as the photovoltaic effect, quantifying the heat, besides determining the technical viability of the heat use. Another objective of this study is to add a thermal collector to a photovoltaic panel, developing it into a unique device named thermic-photovoltaic collector. The equipment of this study was submitted to temperature measurements, as well as illuminance and tension. A relative heat production has been observed on the bottom surface of the collector, showing a daily warmth average of 0.7 °C per 25 liters of water.*

- 
- 1 Bacharelado em Engenharia de produção (UNIFEBE). E-mail: willianrafael8@unifebe.edu.br
  - 2 Mestrado em Engenharia Elétrica (FURB) E-mail: pinotti@unifebe.edu.br
  - 3 Doutora em Educação (UDE) e Pesquisadora na UNIFEBEE-mail: mmjunkes@unifebe.edu.br

**KEYWORDS:** *Sustainability. Thermic Energy. Photovoltaic Energy. Thermic-photovoltaicCollector.*

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é essencial para a sobrevivência e qualidade de vida da sociedade. Uma das atividades mais importantes na vida humana é a produção e o consumo de energia elétrica. O meio para o crescimento da sociedade é a conversão de energia. Uma alternativa inesgotável é o aproveitamento de energia solar. (TEIXEIRA, 2009).

A energia solar é uma fonte alternativa, que consiste em ser renovável, limpa e sustentável. O conceito de sustentabilidade, apresenta quatro pilares: ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo, culturalmente diverso. Com base nos quatro pilares o estudo direciona-se a analisar alternativas sustentáveis, voltadas a tecnologias na área de energia solar para residências.

Segundo CEPEL e CRESESB (2014), a energia solar fotovoltaica é a conversão da luz em eletricidade. O dispositivo fundamental do processo é a célula fotovoltaica. Suas tecnologias de produção são classificadas em três gerações: silícios monocristalinos (m-Si) e silícios policristalinos (p-Si), células de filmes finos, divididas em silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) e telureto de cádmio (CdTe), células multijunção, células para concentração (CPV - Concentrated Photovoltaics).

A energia solar térmica, por sua vez, tem o interesse de absorver a maior quantidade de energia sobre forma de calor, a partir da radiação solar. Além do conhecimento em como captar essa energia, necessita-se saber como armazená-la. A forma de captação mais conhecida é classificada como coletores solares planos. (CEPEL; CRESESB, 2014).

O presente estudo propõe avaliar a viabilidade técnica da geração híbrida térmica e elétrica a partir de painéis fotovoltaicos. Para o desenvolvimento da pesquisa os objetivos específicos tratam de quantificar a temperatura, tensão e iluminância no painel fotovoltaico; avaliar a temperatura, tensão e iluminância no coletor térmico-fotovoltaico e determinar a viabilidade técnica de aproveitamento do calor armazenado no coletor térmico-fotovoltaico.

O método experimental e instrumento de pesquisa, visam descrever e mensurar as características do sistema, a eficiência energética, a quantificação do calor gerado e a viabilidade técnica. Todas as etapas desta pesquisa foram realizadas no terraço e no laboratório de eletricidade, localizados ambos no bloco D, na área das engenharias do Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE, em Brusque - SC, no período de julho de 2014 a outubro de 2015.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De toda a radiação solar que chega às camadas da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre devido à reflexão e absorção dos raios solares pela terra. Segundo Tavares (2009), nem toda energia solar está disponível, pois a Terra reflete de volta para o cosmo cerca de 30% da energia, sendo 4% refletida pela superfície, 20% refletida pelas nuvens e 6% refletida pela atmosfera, ficando este percentual de 30% definitivamente perdido para o uso na Terra. Do, 70% restantes, 19% é absorvida na atmosfera e nas nuvens, sobrando assim 51% como energia solar que incide diretamente sobre o solo na forma de luz e calor.

A energia solar chega de forma gratuita e limpa na Terra e, os raios solares, além de traze-

rem a luz e o calor essencial para a vida na terra, podem gerar energia tanto na forma de calor quanto de eletricidade. O Sol fornece anualmente uma energia equivalente a 10 mil vezes o consumo energético mundial (CEPEL; CRESESB, 2014). No entanto, essa energia para ser aproveitada para o uso humano deve ser coletada ou absorvida por meio de métodos específicos, os quais abordaremos na sequência.

## 2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os sistemas fotovoltaicos são usuais na vida das pessoas, com aplicações simples, como em calculadoras, em relógios, entre outros. Porém, podem ter aplicações muito mais complexas como a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos (efeito fotovoltaico). Esses painéis são compostos por várias células fotovoltaicas, feitas geralmente de silício. As informações pesquisadas na literatura atual, normalmente encontram-se em idiomas estrangeiros, nesta revisão literária devido à escassez de publicação específica, utilizou-se de muitas informações oriundas de sítios.

O efeito fotovoltaico, segundo a BlueSol (2015) é o surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor, quando é exposto à luz visível. Foi descoberto pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, em 1839.

Na geração de energia, a radiação solar e a temperatura são fatores que influenciam na potência dos sistemas fotovoltaicos. A corrente gerada pelo sistema é diretamente proporcional à radiação solar incidente, e a tensão é inversamente proporcional à temperatura nos painéis fotovoltaicos. (COOPER; MARTINS, 2013).

O Brasil apresenta um dos mais altos índices de radiação no mundo, devido à sua localização próxima à linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações de radiação solar durante o dia. A região nordeste do Brasil é a mais próxima à linha do Equador. É a região que possui maior área de radiação solar e maior eficácia. (BRASILSOLAIR, 2015).

### 2.1.1 PAINEL FOTOVOLTAICO

A eletricidade produzida diretamente da luz solar é chamada de fotovoltaica, sendo luz o significado para foto e volt (tensão) dá significado à palavra voltaica. A energia solar fotovoltaica é a energia absorvida e convertida, instantaneamente, em energia elétrica para ser consumida. O elemento principal é a célula solar fotovoltaica. Várias células formam um painel fotovoltaico e vários painéis formam um módulo fotovoltaico.

O painel fotovoltaico transforma a radiação solar em eletricidade. A luz do Sol entra em contato com o silício metal base da placa, gerando energia elétrica na forma de corrente contínua. A transmissão da corrente contínua é feita por cabos até um aparelho inversor que transformará essa corrente em eletricidade alternada. No sistema conectado à rede, a energia que não é consumida voltará para a rede distribuidora e é contabilizada como créditos. A conta de energia é calculada com a diferença do que foi gerado e o que foi captado da rede.

### 2.1.2 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A estrutura da célula fotovoltaica é constituída por dois eletrodos metálicos, um negativo e outro positivo, entre eles duas placas de silício, uma negativa (tipo N) e outra positiva (tipo P),

formando uma união entre elas (junção P-N), que permite o fluxo elétrico em um só sentido.

As células fotovoltaicas constituintes dos painéis solares são fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si), podendo ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo. Outro tipo de material, além dos clássicos, são as células de película fina, visando menor custo. (PORTAL ENERGIA, 2014).

A célula monocristalina, apresentada na figura 01, representa a primeira geração das células fotovoltaicas. O rendimento elétrico é de aproximadamente 16%. As técnicas utilizadas na produção são complexas e caras, sua fabricação utiliza materiais em estado muito puro e com estrutura de cristal perfeita, necessitando de grande quantidade de energia em sua produção.

Figura 01: Célula monocristalina.



Fonte: OLIVEIRA; GARCIA (2010).

## 2.2 ENERGIA SOLAR CALORÍFICA

O Brasil é um país com clima muito favorável à energia solar. O Sol que brilha na maior parte dos dias permite um excelente aproveitamento da sua energia para, além da geração elétrica, o aquecimento de água. Existem dois métodos convencionais para captação de energia calorífica, podendo ser feita por painéis planos ou espelhos concentradores. O sistema de energia solar concentrada gera inicialmente calor, por meio de um sistema de espelhos concentradores, que concentram a radiação solar nos reservatórios. Somente depois o calor é transformado em energia elétrica, não deixando de ser um sistema de energia solar térmica, porém, o seu propósito final é gerar energia elétrica. As maiores restrições para a instalação do sistema é o alto custo e a complexidade, sendo mais adequada para instalações de grande porte. (NEOSOLAR, 2015).

Um sistema de aquecimento solar com painéis planos é um conjunto de equipamentos com coletores solares que, bem posicionados em relação ao Sol, captam sua energia aquecendo a água. Esta água aquecida é então enviada para o boiler solar, um reservatório térmico, que conserva a água aquecida até o momento do consumo da água quente no chuveiro, banheiro, lavatório, cozinha ou onde desejar. (SOLAREM, 2014).

### 2.2.1 COLETOR SOLAR

O coletor solar é o dispositivo responsável pela absorção da radiação solar. Em seu funcionamento, ocorre a transferência de energia por irradiação, condução e convecção. A radiação solar transfere calor para um fluido em forma de energia térmica. O fluido que circula pelo coletor normalmente é água, e os materiais dos coletores são fabricados com alumínio e cobre, pintados da

cor preta, para facilitar a absorção da radiação incidente. (ALVES, 2009).

Segundo Silva (2015), na parte inferior do coletor é colocado lã de vidro e, na parte superior uma cobertura de vidro, ambos para isolar termicamente, diminuindo a transferência de energia para o ambiente. O vidro, transparente à luz, catalisa o efeito estufa, impedindo a dissipação da radiação infravermelha, aumentando a temperatura da água que circula no interior da tubulação.

A instalação deve ser feita voltada para o Norte geográfico, com desvio máximo de até 30° para ambos os lados. O ângulo de inclinação deve ser igual ao da latitude do local, com um acréscimo de 10°, nunca sendo inferior a 15°.

O sistema de aquecimento solar normalmente é feito pela circulação de água, sendo o termossifão o sistema de aquecimento mais comum. Seu funcionamento é feito por meio das diferenças de pressão e densidades da água quente e fria do sistema. A água quente, menos densa e com maior pressão, tem o sentido de circulação tendendo a subir (C para D), e a água fria, tem o sentido de circulação tendendo a descer (A para B). A figura 02 mostra o funcionamento do sistema de aquecimento solar por termossifão.

Figura 02: Funcionamento do sistema de aquecimento solar por termossifão.



Fonte: TAVARES (2009).

### 2.3 FLUIDO TÉRMICO

Os fluidos térmicos são substâncias empregadas como veículos térmicos. O fluido emissor do sistema pode ser o fluido de trabalho, podendo ser a água, devido às suas propriedades e o baixo custo. O processo que utiliza a água em ambas funções é muito vantajoso, pois a água possui emissividade elevada e não existe resistência térmica associada aos tubos de circulação nem da placa, ocorrendo evaporação, que pode se revelar uma mais-valia para o arrefecimento. (GONÇALVES, 2013).

De acordo com Gonçalves (2013), a adição de glicol no processo com água reflete-se na capacidade térmica do fluido, diminuindo o calor específico e, aumentando a condutibilidade tér-

mica. O valor ideal é água com 25% de glicol. A água com aditivo apresenta outras vantagens, tais como: evita o depósito de calcário promovendo a condutividade térmica e alta capacidade de absorção, além de transportar o calor e ser anticorrosivo.

## 2.4 SOFTWARE MATLAB E SITRAD

O Matlab é um software que desenvolve cálculos numéricos, processa sinais e constrói gráficos. Os elementos básicos da linguagem são os vetores e matrizes. Apresenta uma linguagem de alto nível e ambiente interativo para computação numérica, visualização e programação, assim sendo um ambiente ideal para a exploração interativa e resoluções de problemas. (PALM, 2013).

O Sitrad é um software para gerenciamento a distância das instalações de refrigeração, aquecimento, climatização e aquecimento solar. Sua função é avaliar, configurar e armazenar continuamente dados de temperatura, umidade, tempo, pressão e tensão, permitindo a modificação dos parâmetros de operação dos instrumentos com segurança e precisão, de qualquer lugar do mundo, via internet, por meio do computador ou celular. (SITRAD, 2015).

A aquisição de dados se realiza pelo módulo de aquisição de dados, conectado ao computador com o Sitrad instalado. A esse módulo de aquisição de dados são conectados os sensores de medição.

## 3 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

Após o procedimento do levantamento de informações, foi iniciada a fase da definição dos equipamentos em função de pesquisas já realizadas (julho de 2014 a maio de 2015). Para mensuração das grandezas de energia calorífica e elétrica foram utilizados equipamentos que auxiliaram na caracterização de temperaturas no sistema, tensão da placa fotovoltaica e iluminância sobre a área superior da placa fotovoltaica.

Os equipamentos foram selecionados de acordo com a necessidade das mensurações das grandezas de energia calorífica e elétrica, tendo sido utilizados os respectivos equipamentos para a 1ª mensuração de grandezas: módulo solar, controlador eletrônico de carga e descarga, bateria, multímetro digital para a mensuração da temperatura do sistema e da tensão da placa fotovoltaica, e o luxímetro digital para a mensuração da iluminância da área superior da placa fotovoltaica.

Foram quantificadas 45 medições manuais durante os dias 09/03/2015 a 11/05/2015 e, na sequência, inseridos esses dados no software Matlab, com finalidade de avaliar a temperatura da placa fotovoltaica, bem como as variações de iluminância e tensão permitindo, dessa forma, determinar quais os materiais que poderiam ser utilizados para a adaptação dos equipamentos.

De posse dos dados citados foram pesquisados e definidos, os equipamentos a serem utilizados para a 2ª mensuração de grandezas: módulo solar, serpentina de alumínio, poliuretano expansível, boiler, água, glicol, adaptador de conexão, mangueira, bomba d'água de máquina de lavar, controlador eletrônico de carga e descarga, bateria, multímetro digital, luxímetro digital, módulo de aquisição de dados e o software Sitrad.

A adaptação de acessórios ao módulo solar foi executada, parcialmente, por uma empresa terceira. Esta etapa consistiu no desenvolvimento de um único dispositivo, acoplando um coletor térmico a um painel fotovoltaico, aqui denominado coletor térmico-fotovoltaico. A figura 04 mostra o sistema do coletor térmico-fotovoltaico.

Figura 03: Coletor térmico-fotovoltaico



Fonte: O autor.

Acoplou-se uma serpentina de alumínio em circuito fechado e poliuretano expansível na parte inferior do módulo fotovoltaico, visando aproveitar o calor gerado e trocar calor com um boiler de 25 litros de água. No interior do boiler instalou-se, da mesma forma, uma serpentina, formando um sistema de circuito fechado com a serpentina instalada na parte traseira do painel fotovoltaico.

O acoplamento da serpentina entre a placa fotovoltaica e o boiler foram feitas com o auxílio de mangueiras e adaptadores de conexões. No interior desse circuito fechado circula uma mistura de água (75%) e glicol (25%)e, a mistura do fluido movimenta-se devido à gravidade, densidade e com o auxílio de uma bomba d'água. A figura 05 mostra a superfície traseira do coletor térmico-fotovoltaico.

Figura 04: Superfície traseira do coletor térmico-fotovoltaico.



Fonte: O autor.

Num segundo momento, as análises das temperaturas foram necessárias em função do calor gerado na placa fotovoltaica, podendo assim, aproveitar o calor gerado sobre a placa fotovoltaica. Para a análise das temperaturas foi utilizado o software Sitrad, com 716 medições durante os dias 18/09/2015 a 05/10/2015.

Ao módulo de aquisição de dados conectou-se três sensores com a finalidade de mensurar as temperaturas; o primeiro sensor posicionado na parte superior da placa fotovoltaica; o segundo, posicionado na parte inferior da placa fotovoltaica e o terceiro, posicionado no interior do boiler.

Medições complementares foram realizadas de forma manual, tendo sido quantificadas 45 medições para a análise da temperatura ambiente, tensão e iluminância. Utilizou-se, para essas medições manuais, os equipamentos multímetro digital e luxímetro digital.

As comparações e as avaliações foram efetuadas logo após as mensurações das grandezas de energia calorífica e elétrica no sistema. As medições permitiram comparar indicadores numéricos de energia elétrica versus energia calorífica, entre a 1ª e a 2ª mensuração, utilizando-se, para tal, os gráficos gerados pelo Matlab.

Devido à diferença do método de medição de temperatura entre a 1ª e 2ª mensuração, foram feitas novas medições de temperaturas. Repetiu-se no dia 20/10/2015, com o auxílio do software Sitrad, medições da temperatura ambiente e as temperaturas superiores e inferiores da placa fotovoltaica, totalizando 45 medições.

Após a 3ª mensuração das temperaturas do sistema, as medições permitiram comparar indicadores numéricos entre a 1ª e 3ª mensuração e a 2ª e 3ª mensuração, por meio de gráficos desenvolvido no software Matlab. Essa comparação dos valores numéricos permitiu comprovar a ocorrência de variação entre os métodos utilizados para mensurar as temperaturas.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Nesta etapa serão descritos os resultados obtidos após as medições e análises desenvolvidas conforme o planejamento e metodologia descritos.

### **4.1 ANÁLISE DA 1ª MENSURAÇÃO DE GRANDEZAS**

Inicialmente, para a determinação das grandezas de energia calorífica e elétrica da placa fotovoltaica, foram avaliadas as variáveis que influenciam na eficiência do sistema. Foram desenvolvidos gráficos por meio do Matlab, com 45 medições manuais, realizadas em 16 dias, referentes às variações das temperaturas do sistema, tensões e iluminância.

Os gráficos demonstram que a relação da temperatura do ambiente e a iluminância incidente sobre a placa influenciam diretamente na tensão do equipamento. Verifica-se que, quando a iluminância se eleva, a tensão tende a aumentar e quando a temperatura do ambiente se eleva, a tensão tende a diminuir, devido ao calor gerado sob a placa fotovoltaica.

Na relação temperatura do ambiente e iluminância verifica-se que, quando a temperatura do ambiente se eleva a iluminância tende a aumentar, e quando a temperatura do ambiente diminui a iluminância tende a reduzir.

A relação tensão e iluminância apresenta maior tensão quando a iluminância se eleva, vindo ao encontro da relação tensão e temperatura do ambiente, pois as medições com maior tensão são aquelas que apresentam a temperatura ambiente igual ou inferior a 25°C e a iluminância igual ou superior a 60.000 lux. A temperatura nas superfícies da placa são tipicamente maiores que a tem-

peratura do ambiente.

#### 4.2 ANÁLISE DA 2ª MENSURAÇÃO DE GRANDEZAS

Foram efetuadas 716 medições pelo Sitrad, realizadas no decorrer de 21 dias, referente às variações das temperaturas do sistema, sendo gerados gráficos com auxílio do aplicativo Matlab. Os gráficos das 45 medições manuais, realizadas no decorrer de 21 dias, referente às variações da temperatura do ambiente, tensão e iluminância, foram unidos a 45 medições selecionadas no Sitrad, conforme os horários que as medições manuais foram feitas.

Os gráficos demonstram que ao aquecer as superfícies superiores e inferiores da placa fotovoltaica a tendência é também aquecer a água do boiler. Verifica-se que a temperatura na face superior do equipamento é relativamente maior que a temperatura na face inferior deste.

A temperatura superior influencia diretamente na tensão do equipamento, quanto maior a temperatura, menor é a tensão. Quando ocorre o aumento da temperatura na superfície superior da placa fotovoltaica, a tendência da iluminância é aumentar e, por consequência, maior deveria ser a tensão gerada. No entanto, o aumento excessivo da temperatura na superfície superior da placa fotovoltaica, não permite o aumento de geração de tensão.

A temperatura do boiler é, por vezes, maior que a temperatura do ambiente. As medições da temperatura do ambiente são maiores devido ao tempo de resposta do aquecimento da água, e após a água aquecida, ela tende a manter a temperatura acima da temperatura ambiente. A temperatura da água do boiler apresentou a média de 22,7°C e a temperatura ambiente apresentou a média de 22°C.

De posse dos dados de temperatura, acima citados, deduz-se:

Calor específico (c) = 1 cal/g°C (água)

Massa (m) = 24945 gramas (0,9978 g/ml (22°C) x 25000 ml)

Varição de temperatura ( T) = 0,7°C (22,7°C (final) - 22°C (inicial))

Com 25 litros o calor sensível foi de 17.461,5 cal. Se o mesmo calor esquentar 1 litro de água, o boiler atingiria 39,5 °C.

Na relação temperatura do ambiente e iluminância, nota-se que as medições com maior iluminância são aquelas com temperaturas maiores, e as medições com menor iluminância são aquelas com temperaturas menores.

Na relação tensão e iluminância, verifica-se que as medições com maior tensão são aquelas com maior iluminância. As medições acima de 20,5 volts que apresentaram iluminância abaixo de 40.000 lux, são justificadas na relação tensão e temperatura do ambiente, devido às temperaturas serem abaixo de 23°C, mostrando que o equipamento necessita de iluminância, o excesso de calor reduz a tensão.

As medições com iluminância acima de 90.000 lux, que apresentam tensões iguais ou abaixo de 20 volts, apresentaram temperaturas do ambiente acima de 25°C, justificando a perda de tensão.

#### 4.3 COMPARAÇÃO E AVALIAÇÃO ENTRE A 1ª E 2ª MENSURAÇÃO DE GRANDEZAS

As medições permitem comparar e avaliar a tensão, iluminância, temperatura do ambiente e as temperaturas superior e inferior da placa fotovoltaica (1ª mensuração) e do coletor termo-fotovoltaico (2ª mensuração), por meio de gráficos feitos no Matlab.

Os gráficos demonstram que há maior índice de medições de iluminância na 1ª mensuração, com uma média de 46.000 lux e, na 2ª mensuração é menor, com uma média de 33.000 lux. Nota-se que há maior índice de medições de temperatura do ambiente na 1ª mensuração, com uma média de 25°C e, na 2ª mensuração é menor, com uma média de 22°C. A 1ª mensuração apresenta maiores picos de tensão. A 1ª mensuração apresenta uma média de 20,13 volts e a 2ª mensuração apresenta uma média de 19,72 volts.

Verifica-se que a 1ª mensuração apresentou maiores picos de iluminância, com 21 medições acima de 40.000 lux e também maiores picos de temperatura do ambiente, com 23 medições acima ou igual a 25°C. A 2ª mensuração apresentou 10 medições acima de 40.000 lux e 9 medições acima de 25°C.

Ambas mensurações apresentam a tendência de maior iluminância quando a temperatura do ambiente se eleva. A 1ª mensuração apresentou 21 medições acima de 40.000 lux, sendo 13 medições acima ou igual a 25°C. A 2ª mensuração apresentou 10 medições acima de 40.000 lux, sendo 6 medições acima ou igual a 25°C.

Verifica-se que a 1ª mensuração apresentou maior índice de medições de iluminância, com 21 medições acima de 40.000 lux e também maior índice de medições de picos de tensão, com 9 medições acima de 21 volts e todas com iluminância acima de 40.000 lux. A 2ª mensuração apresentou 10 medições acima de 40.000 lux e nenhuma medição acima de 21 volts, tendo a medição com maior tensão o valor de 20,7 volts no valor de iluminância em 113.000 lux.

Verifica-se que a 1ª mensuração apresentou 9 medições acima de 21 volts, e todas com temperatura igual ou inferior a 30°C. A 2ª mensuração apresentou 17 medições acima de 20 volts, e todas com temperatura igual ou inferior a 25°C. Em ambas mensurações, as maiores medições de tensão, não foram aquelas com maior medição de temperatura do ambiente. Nota-se que as temperaturas superiores e inferiores da 2ª mensuração apresentam picos de medições maiores que a 1ª mensuração.

#### 4.4 COMPARAÇÃO E AVALIAÇÃO ENTRE A 1ª, 2ª E 3ª MENSURAÇÃO DE GRANDEZAS

Verificou-se desigualdade entre as temperaturas superiores e inferiores entre a 1ª e 2ª mensuração. Justificado pelas diferenças de valores, entre estes dois métodos de medição se submeteu, o painel fotovoltaico, no dia 20/10/2015, a uma 3ª mensuração, desta feita com 45 medições de temperaturas.

Recorda-se, aqui, que os valores da 1ª mensuração foram obtidos de forma manual e, as temperaturas superiores e inferiores da 2ª mensuração, obteve-se de forma automatizada com o auxílio do módulo de aquisição de dados. Somente a medição da temperatura do ambiente da 2ª mensuração foi medido manualmente.

Ao desenvolver os gráficos, verifica-se na 3ª mensuração maior índice de medições de temperatura ambiente, com a média de 26,4°C, tendo a 1ª mensuração média de 25°C. A 3ª mensuração apresentou índice de medições de temperatura superior maiores que a 1ª mensuração, com a média de 39,2°C e a temperatura inferior apresentou menor índice de medições, com a média de 29,2°C. A 1ª mensuração apresentou a média de 30,1°C na temperatura superior e inferior.

Comprovado a variação das temperaturas devido ao método de medição, foram analisados as variações da temperatura do ambiente e das temperaturas superiores e inferiores da 3ª e 2ª medição.

Verifica-se que há maior índice de medições de temperatura do ambiente na 3ª medição,

com a média de 26,4°C, medidos com o Sitrad, a 2ª medição apresentou a média de 22°C, porém medidos com multímetro digital.

A 3ª mensuração apresentou maior índice de medições de temperatura superior, com a média de 39,2°C, a 2ª mensuração apresentou a média de 35°C. A 3ª mensuração apresentou menor índice de medições de temperatura inferior, com a média de 29,2 °C, a 2ª mensuração apresentou a média de 33°C.

## 5 CONCLUSÕES

Conclui-se com este estudo que os objetivos de avaliação da viabilidade técnica da geração híbrida térmica e elétrica, a partir de painéis fotovoltaicos, foram atingidos.

Esta afirmação se justifica, primeiramente, baseados nas mensurações efetuadas no painel fotovoltaico, que possibilitaram quantificar o calor gerado nesse painel. Percebeu-se, por exemplo, que as temperaturas superiores de 39,2°C e inferiores de 29,2°C do painel fotovoltaico eram maiores que a temperatura do ambiente de 26,4°C.

Com o desenvolvimento de um único dispositivo, aqui denominado coletor térmico-fotovoltaico, mensurou-se medições de temperaturas, iluminância e tensão. As mensurações apresentaram as seguintes médias de medições: temperatura ambiente 22°C, temperatura superior 35°C, temperatura inferior 33°C, iluminância 33.000 lux e tensão 19,72 volts.

A iluminância diminuiu 13.000 lux (28,26%) e, a tensão diminuiu apenas 0,41 volts (2,04%), sem aparente variação de tensão e baixo índice de medições de iluminância comparando com as medições feitas no painel fotovoltaico. Quanto à temperatura do ambiente de 22°C, apresentou a variação de aquecimento de 13°C na temperatura superior e 11°C na temperatura inferior.

Assim sendo, pelo exposto, foi possível determinar a viabilidade técnica de aproveitamento do calor gerado no painel fotovoltaico, tendo a temperatura de 25 litros de água do boiler apresentado a média de aquecimento de 0,7°C comparado com a temperatura ambiente. Deduz-se que, por conseguinte, ser possível aquecer, em 17,5°C, 1 litro de água no boiler.

## 6 REFERÊNCIA

ALVES, Raquel Barone de Mello Belloni. **Energia Solar como fonte elétrica e de aquecimento no uso residencial**. Monografia de conclusão de curso. Anhembi Morumbi, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-09/civil-39.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2014.

BRASILSOLAIR. **Energia Solar**. Disponível em: <[www.brasilsolair.com.br](http://www.brasilsolair.com.br)>. Acesso em: 20 mar. 2015.

BLUE SOL. **Os Fotovoltaicos vieram para ficar**. Disponível em: <[http://www.abravidro.org.br/downloads/rep-esp/ovidroplano\\_440\\_ago09-fotovoltaicos.pdf](http://www.abravidro.org.br/downloads/rep-esp/ovidroplano_440_ago09-fotovoltaicos.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2015.

CEPEL; CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. 530 f. GTES-CEPEL-DTE-CRESESB. Rio de Janeiro, 2014.

COOPER, Ellison; MARTINS, WellyngtonMoralles Junior. **Aplicação de Painéis Solares Fotovoltaicos como Fonte Geradora Complementar de Energia Elétrica em Residências**. Mono-

grafia de conclusão de curso. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://www.eletr.ufpr.br/p/arquivostccs/259.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2015.

GOLÇALVES, Karla Isabel Freitas. **Análise de Sistema de Arrefecimento Radiativo, um Contributo para a Obtenção de Edifícios nZEB**. Relatório de Dissertação. FEUP, Porto, 2013. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68472/2/51566.pdf>>. Acesso em: 7 maio 2015.

NEOSOLAR ENERGIA. **Energia Solar**: Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar>>. Acesso em: 4 abr. 2015.

OLIVEIRA, Fernanda Pagliari de; GARCIA, Juliana Testa. **Célula Fotovoltaica de Silício**. EEL - USP, Lorena, 2010. Disponível em: <[www.demar.eel.usp.br](http://www.demar.eel.usp.br)>. Acesso em: 28 set. 2014.

PALM, Willian J.; **Introdução ao MATLAB para engenheiros**. 3. ed. AMGH Editora Ltda.: Porto Alegre, 2013.

PORTAL ENERGIA. **Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares, Dimensionamento de Sistemas Solares Fotovoltaicos**. Disponível: <[www.portal-energia.com](http://www.portal-energia.com)>. Acesso em: 3 out. 2014.

SOLAREM. **Aquecimento Solar Tuma**: Linha de aquecedores SOLAREM. Disponível em: <[www.solarem.com.br](http://www.solarem.com.br)>. Acesso em: 15 ago. 2014.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. **Coletor Solar**. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/fisica/coletor-solar.htm>>. Acesso em: 13 maio 2015.

SITRAD. **Módulos do Sitrad**. Disponível em: <[www.sitrad.com.br](http://www.sitrad.com.br)>. Acesso em: 13 out. 2015.

TAVARES, Giordani Lopes. **Programa habitacional minha casa, minha vida**: oportunidade de aplicação do aquecimento solar. Monografia de conclusão de curso. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/tccgiordanilopes.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

TEIXEIRA, Tiago Rafael Contins. **Estudo de um Sistema Híbrido com Colectores Solares Termo-Fotovoltaicos Acoplados a um Termogerador Eléctrico**. Relatório de Dissertação. FEUP, Porto, 2009. Disponível em: <<http://www.dart-europe.eu/full.php?id=796151>>. Acesso em: 4 maio 2015.