

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO MÓDULO FOTOVOLTAICO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Raiana Spat Ruviaro – raianaruviaroarq@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Estruturas e Construção Civil

Jenifer Godoy Daltrozo – jegodoy.arq@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Estruturas e Construção Civil

Liége Garlet – liegeg9@gmail.com

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Departamento de Arquitetura e Urbanismo

William Magalhães de Lourenço – creativearquiteto@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Estruturas e Construção Civil

Ísis Portolan dos Santos – isisporto@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Arquitetura e Urbanismo

5.3. Energia solar associada ao conforto térmico de ambiente construído

Resumo. Os estudos e discussões sobre o uso da energia solar fotovoltaica têm se tornado cada vez mais relevantes no contexto nacional, por se tratar de um sistema de geração de energia limpa. A implementação de sistemas de geração de energia local em edificações é de grande importância, visto o potencial de fatores como a área de cobertura e incidência solar. Assim, este trabalho apresenta a avaliação da integração de energia solar fotovoltaica à cobertura de uma edificação educacional pública localizada na cidade de Santa Maria – RS, onde aferiu-se a influência da temperatura na geração de energia do módulo fotovoltaico, relacionando uma geração real versus uma geração estimada de energia. A metodologia baseou-se na caracterização do módulo fotovoltaico, levantamentos de dados existentes de geração de energia e cálculo de perda da eficiência do módulo em função da temperatura. Como resultado, tem-se os gráficos comparativos das gerações reais e estimadas. Esta pesquisa demonstra que a relação entre a geração real e a estimada não se apresenta de maneira uniforme ao longo do ano, pois os fatores como temperatura, irradiação solar e a sujidade acumulada ao longo do ano influenciam diretamente nos resultados.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, simulação computacional, módulos fotovoltaicos.

1. INTRODUÇÃO

Devido a fatores como o aumento do consumo energético, preocupações ambientais e financeiras, a sociedade vem buscando iniciativas onde a eficiência energética, a sustentabilidade e o conforto térmico possam estar presentes em suas edificações. No contexto nacional, o Brasil possui um relevante aproveitamento para a geração fotovoltaica, em virtude da incidência de radiação solar. Porém, a energia solar ainda representa uma parcela pequena das fontes renováveis utilizadas na matriz energética brasileira, com representatividade nula no ano de 2014 (0%) e 0,01% no ano de 2015 (GONÇALVES, CUNHA; RHEINGANTZ, 2017). A partir de então, é visível a carência por mais estudos de relevância sobre o tema, além de incentivos das iniciativas públicas e privadas.

Segundo EPE (2014), no Brasil, o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais, comerciais e serviços públicos correspondem a 45,2% da energia elétrica produzida, consumida na operação, manutenção e conforto térmico. A arquitetura, por consequência, se enquadra de forma relevante no tema do uso racional da energia, sustentabilidade e eficiência energética, pois, grande parte do consumo de energia advém da necessidade do conforto térmico dos usuários dentro das edificações, ocasionado pelo modo de vida urbano em resposta as condições bioclimáticas das cidades (LONGO; ANIBAL, 2013). Uma das grandes vantagens da forma de geração fotovoltaica é a possibilidade de integração às edificações, utilizando os módulos FV tanto sobrepostos à arquitetura existente, em substituição aos materiais de vedação existentes ou em projetos novos.

Conforme Araújo, Bueno e Rank (2016, p. 40), a corrente produzida nas células fotovoltaicas é diretamente proporcional à irradiação solar e é muito pouco afetada pela temperatura da célula. Assim, a corrente apresenta um pequeno aumento da temperatura em torno de 0,06%/°C (PRIEB, 2011).

Entretanto, com o aumento da temperatura, ocorre a redução da tensão e, consequentemente, a potência gerada diminui. As perdas por temperatura são decorrentes em questão da redução da tensão, e como o resultado da potência elétrica é uma proporção da tensão e da corrente, ocasiona uma menor geração de energia, conforme figura 1.

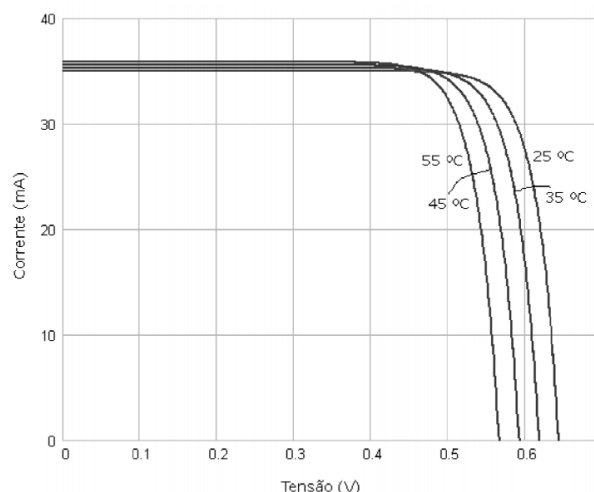


Figura 1 – Influência da temperatura ambiente na tensão da placa
Fonte: Adaptado de Honsberg e Bowden, 1999.

Os fatores de perda mais considerados nas bibliografias são: perdas por acúmulo de sujeira e sombreamento parcial, perdas por aumento de temperatura, perdas nos inversores, descasamento de módulos, perdas na fiação elétrica – conectores e condutores, degradação de painéis, corrosão, delaminação, descoloração, PID – *Potential Induction Degradation* e LID – *Light Induced Degradation*. Desses, o objetivo desta pesquisa tem foco na perda por temperatura.

Quanto às avaliações das condições do painel solar, deve ser considerado o *STC* (*Standard Testing Conditions*) que significa condições normais de ensaio e são os padrões da indústria solar para as condições em que um painel solar é testado. Segundo Gabriel Filho (2012, p. 655) as condições padrão de teste são a temperatura da célula, irradiação e massa de ar. A temperatura da célula deve estar a 25°C, independente da temperatura do ambiente. A irradiação solar que deve ser de 1000 W/m² que se refere à quantidade de energia que incide sobre uma determinada área em um determinado momento. A estimativa da temperatura de um módulo fotovoltaico leva em consideração a velocidade média do vento, assim como a temperatura ambiente e irradiância (TAMIZHMANI, 2003). Sabendo-se que a energia solar é absorvida pelo módulo e convertida em sua maior parte em energia térmica (REITER, 2016).

A partir de resultados de testes padrão, análise e elaboração de cálculos de potência estimada, foi possível elaborar um diagnóstico com a comparação da perda da eficiência dos módulos FV por temperatura de um caso real com um caso estimado.

Este artigo tem por objetivo comparar a perda da eficiência do módulo FV como função de sua temperatura, comparando a potência real do módulo e a potência estimada em um sistema instalado na cobertura de uma edificação educacional na cidade de Santa Maria – RS, que apresenta medições para o período do ano de 2016.

2. METODOLOGIA

A metodologia baseou-se na comparação da perda de eficiência do módulo FV devido a sua temperatura alcançada pela irradiação, comparando-se uma potência real instalada com uma estimada.

2.1. Características da edificação

A edificação analisada nesse estudo é um dos edifícios do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, localizado na cidade de Santa Maria, edificação educacional com área de 612,48m² por pavimento. A edificação possui 2 pavimentos, a planta baixa do pavimento térreo (que possui os mesmos limites do segundo pavimento) pode ser observada pela Figura 1 a seguir, com orientação solar indicada.

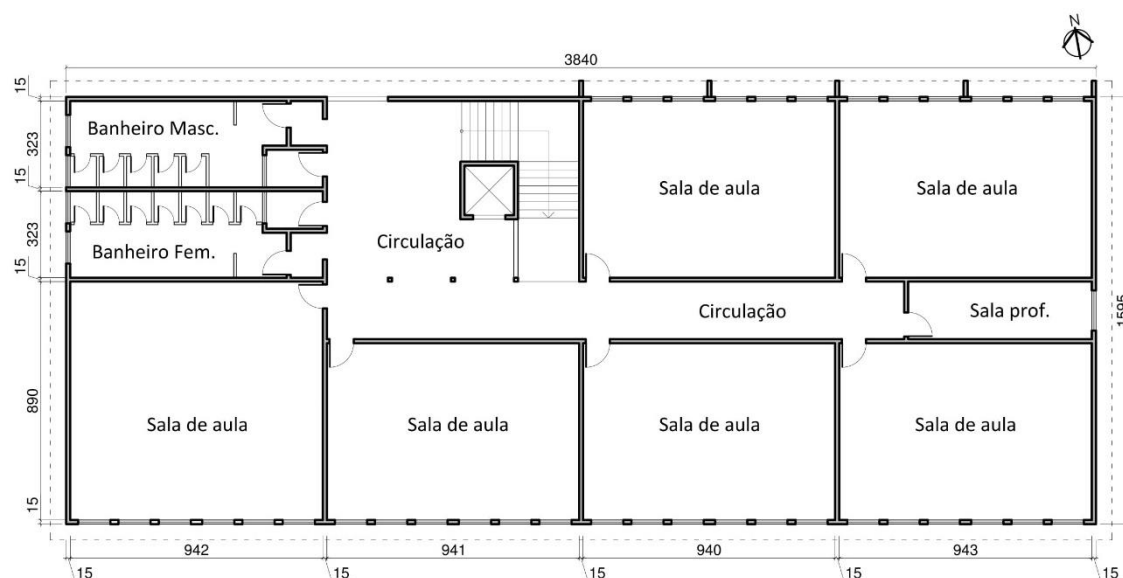


Figura 2. Planta baixa pavimento térreo do Colégio Politécnico da UFSM

O sistema construtivo da edificação é alvenaria, com paredes externas e internas construídas com tijolos cerâmicos e reboco. A cobertura é composta por laje em concreto, e telha de fibrocimento com caimento de 10°.

2.2. Coleta e levantamento de dados

A partir do sistema FV instalado no Colégio Politécnico da UFSM foram coletadas as informações visando compreender a sua capacidade de geração de energia elétrica e de instalação.

Os dados referentes à geração de energia elétrica são fornecidos pelo equipamento inversor do sistema e representam a saída disponibilizada na rede, já descontadas as perdas de eficiência devido à qualidade do cabeamento ou a potência do inversor.

Tratando-se dos dados referentes à irradiação solar coletados na região em que se encontra instalado o sistema, esses foram coletados a partir de um sensor do tipo domo e serão comparados através da potência do sistema, com os dados da geração de energia elétrica. Foram coletados também dados referentes à temperatura ambiente, bem como a temperatura do módulo fornecida pelo equipamento.

Os dados analisados correspondem ao ano de 2016, com medição a cada 5 minutos.

2.3. Módulo fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos utilizados na edificação são em silício policristalino, da marca Risen Solar Technology, tipo SYP250P, com potência máxima de 250W, eficiência do módulo de 15,37%, e dimensões de 164,0cm x 99,2cm x 4,0cm (comprimento/largura/altura). O módulo possui certificado da ISO 9001 (2008), ISO 14001 (2004) e OHSAS 18001 (2007), justificando a escolha do módulo. As condições padrão de teste são de 1000W/m² de irradiação e temperatura do módulo de 25°C (±2°C). A Tabela 1 apresenta as características técnicas dos módulos utilizados.

Tabela 1. Características técnicas do módulo do sistema fotovoltaico

Características gerais	
Tecnologia	Silício policristalino
Dimensões do módulo	1640x992mm
Espessura	40mm
Peso	19,5kg
Quantidade de células	3 barramentos 6"
Vidro	3,2mm
Moldura	alumínio

São 14 módulos FV instalados na cobertura da edificação com afastamento de 15cm da telha de fibrocimento, e inclinação de 10°, paralelos ao telhado, conforme pode ser observado na Figura 2. A potência instalada é de 3,5kWp, com área em torno de 23m². Estão conectados à rede através de um inversor monofásico em 220 V de 3,1 kW. Os módulos são voltados a norte, conforme mostra a Figura 3, e também pode ser visto na planta de cobertura (Figura 4).



Figura 3. Módulos FV instalados na cobertura da edificação

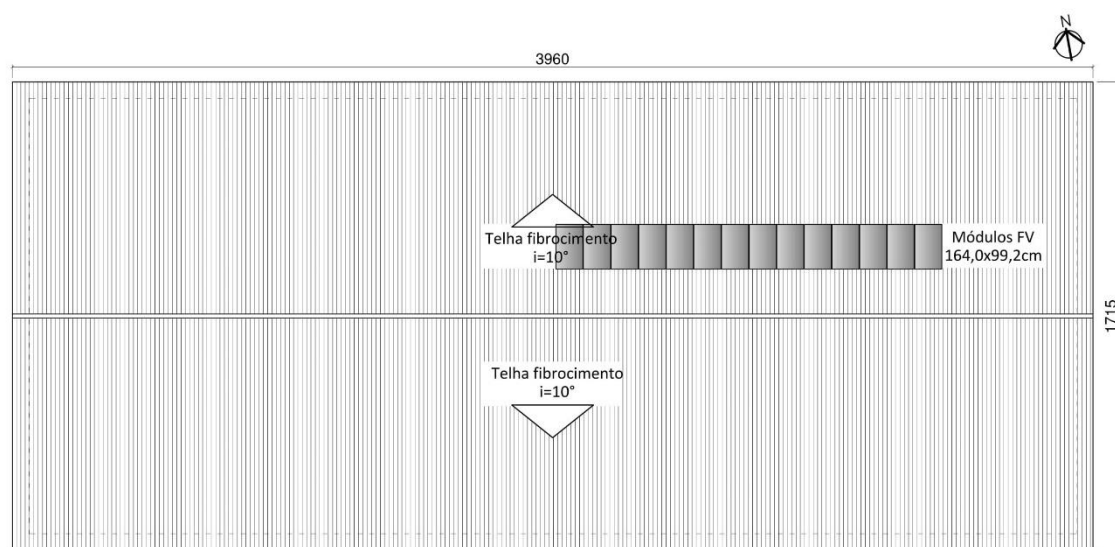


Figura 4. Planta de cobertura do Colégio Politécnico da UFSM

2.4. Cálculo da Potência Estimada

Para o levantamento da eficiência do painel utilizado, considerando o efeito da perda por temperatura, foi calculada uma potência estimada para posteriormente compará-la à potência real do sistema em operação. Essa potência estimada é decorrente da potência instalada, do coeficiente de eficiência do próprio painel, da irradiação e do coeficiente de perda, conforme a Equação 1. A potência instalada é o somatório da potência dos módulos, onde 14 módulos de 0,25W resultam em 3,5kWp.

$$Pot_{est} = 3,5 \times 0,8 \times Irr \times perda \quad (1)$$

Todos os painéis solares perdem eficiência quando aquecem. O coeficiente de temperatura de Pmax (potência máxima) demonstra o quanto de energia ele perde para cada °C que o painel estiver acima dos 25°C (25°C é a temperatura do painel em condições de laboratório – condições padrão de teste –STC).

O painel utilizado perde 0,39% de sua potência máxima para cada grau acima de 25°C, conforme especificação do fabricante. O cálculo do coeficiente de perda é dado pela Equação 2.

$$Perdas do painel = 1 - (temp_{módulo} - 25^{\circ}C) \times 0,0039 \quad (2)$$

3. RESULTADOS

A análise do efeito da temperatura na perda de eficiência do módulo fotovoltaico é apresentada pela relação da geração real de energia versus geração estimada de energia, conforme o gráfico da Figura 5.

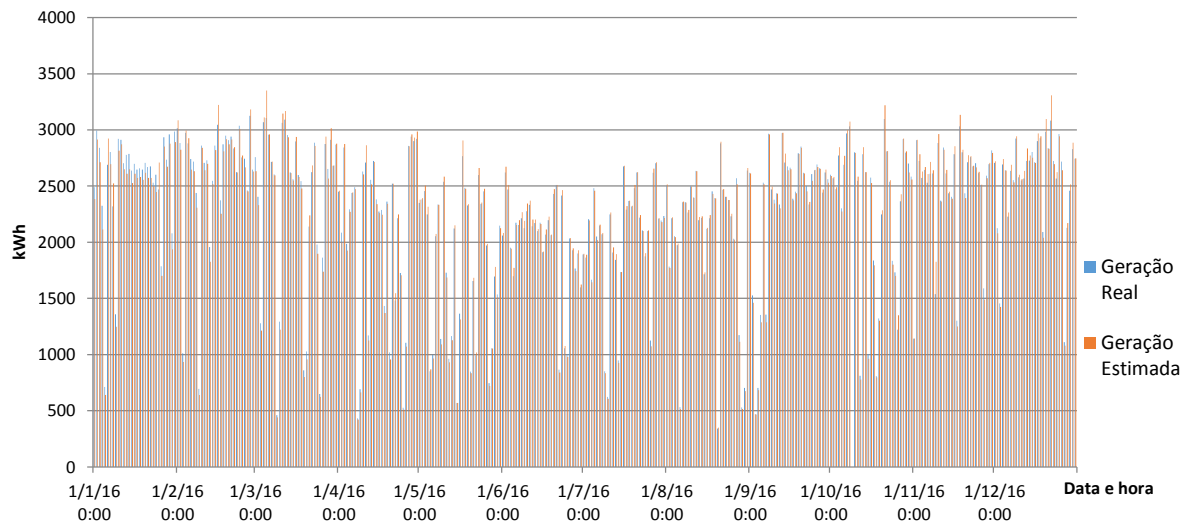


Figura 5 - Análise anual da Geração Real de Energia x Geração Estimada de Energia

O gráfico da Figura 5 corresponde a uma análise anual, em que se podem observar picos onde a os níveis de geração de energia real é superior aos níveis estimados de geração no início do ano, e no restante do período essa relação se inverte. Para uma análise mais clara, foram seccionados os dados referentes aos meses de janeiro e julho, por serem, respectivamente, os meses que apresentam as maiores e as menores temperaturas, como se observa nas Figuras 6 e 7.

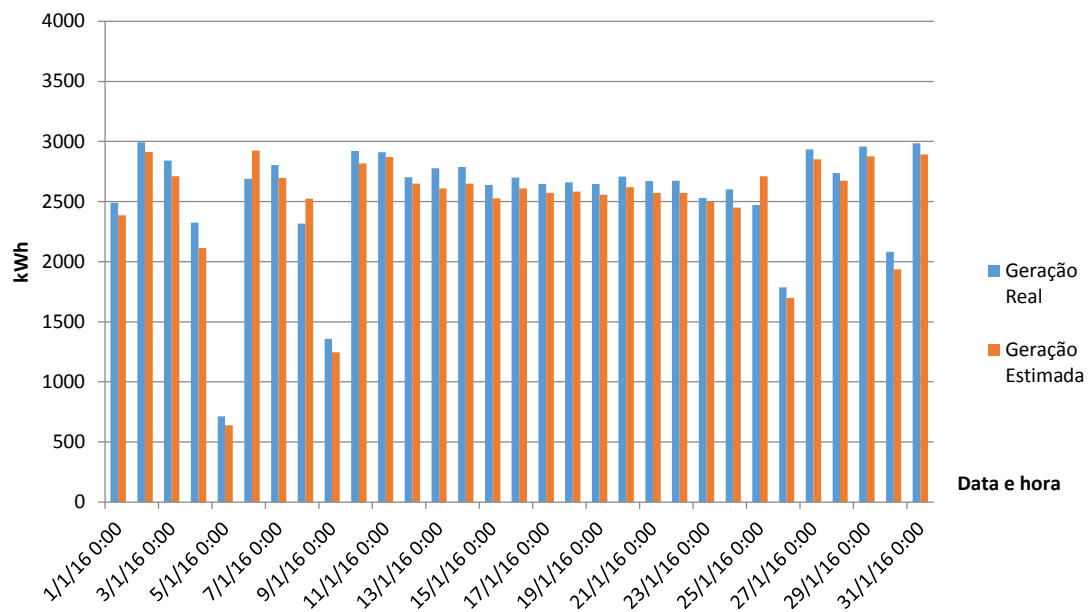


Figura 6 – Geração Real de Energia x Geração Estimada de Energia (janeiro de 2016)

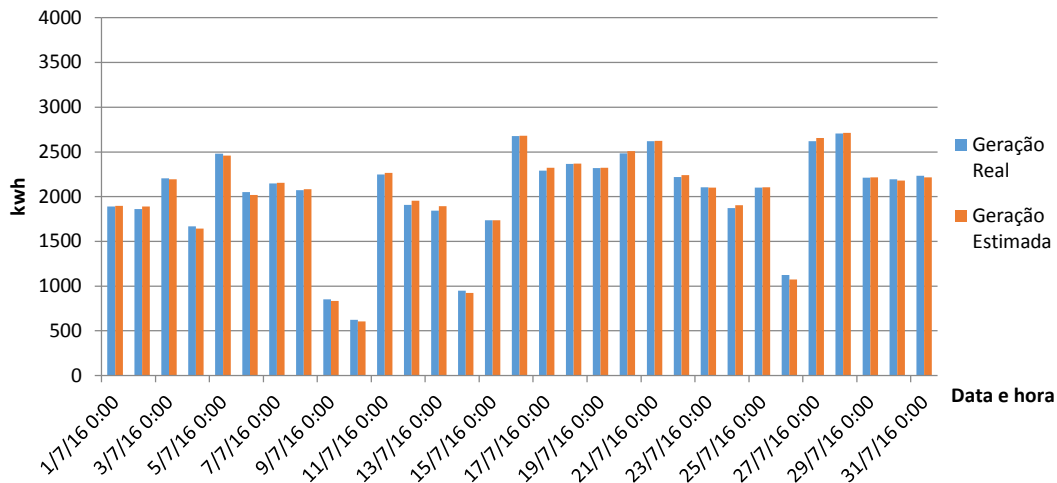


Figura 7 –Geração Real de Energia x Geração Estimada de Energia (julho de 2016)

Nas figuras 6 e 7 observa-se que, em janeiro, a potência real é mais elevada que a potência estimada em quase todo o período analisado, com ressalva para alguns dias, em que a potência estimada é superior no período de análise posterior às 19h.

Em julho, pode-se dizer que a potência estimada é superior a real na totalidade do período analisado. Estes fatos confirmam o efeito da temperatura no funcionamento do módulo fotovoltaico, em que temperaturas elevadas acabam diminuindo a sua eficiência. Embora, a temperatura apenas não responda por todas as perdas, a questão da ventilação e as conexões elétricas também contribuem para as perdas de eficiência, como citado por Reiter (2016), em que a temperatura de um módulo fotovoltaico leva em consideração a velocidade média do vento, a temperatura ambiente e a irradiância solar.

Analizando o total diário da geração real e o total estimado, para estes dois meses, acrescentando o mês de dezembro, pode-se ter uma relação mais completa do que acontece ao longo do ano, conforme exposto nos gráficos da Figura 8.

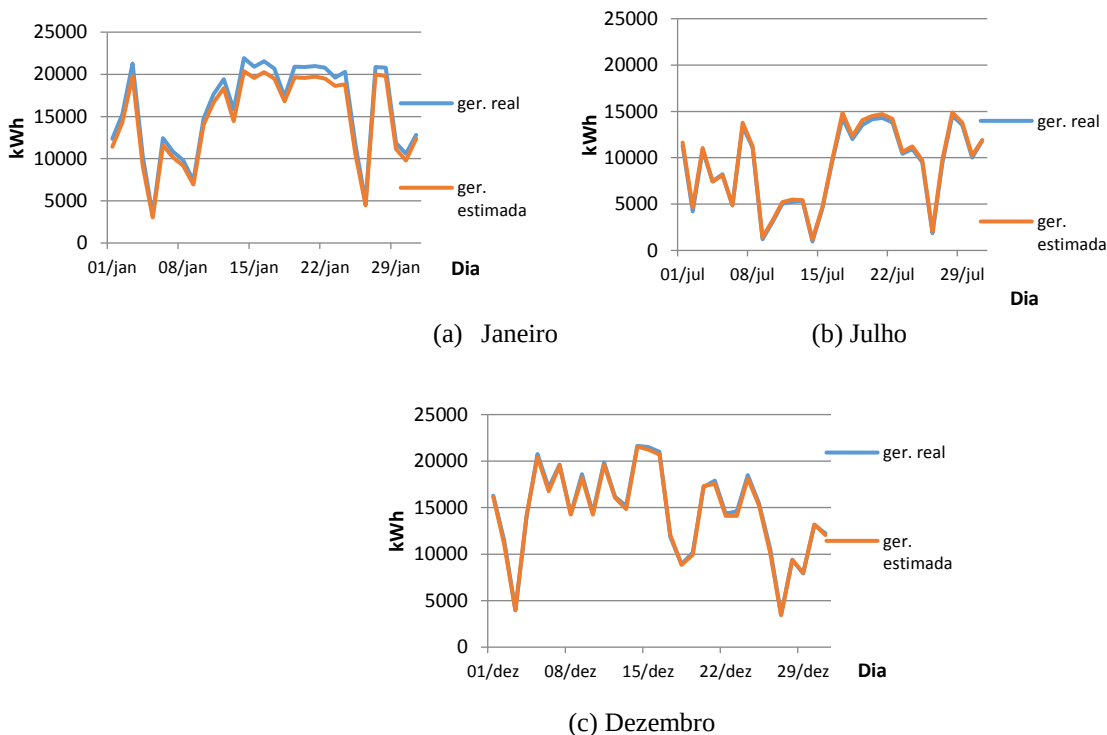


Figura 8– Média diária da Geração Real de Energia x Geração Estimada de Energia

Verificam-se que os níveis de geração real são superiores aos estimados no mês de janeiro, no início das medições, já em dezembro, mês de características climáticas semelhantes, sua geração real é próxima aos valores da estimada. Isto

ocorre devido à acumulação de sujeira nos painéis ao longo do ano, que também influenciam na perda de eficiência do sistema.

O mês de julho apresenta gerações de energia inferiores aos outros dois meses, devido à menor irradiação recebida, e seu comportamento é contrário aos meses de verão analisados, com potência real menor que a estimada, confirmando a influência da temperatura, que ocasiona perdas de eficiência ao funcionamento do sistema fotovoltaico nos meses mais quentes.

Considerando-se a média diária da geração real e da geração estimada para os mesmos meses analisados, podem-se relacionar as perdas obtidas ao longo do ano, como exposto no gráfico da Figura 9.

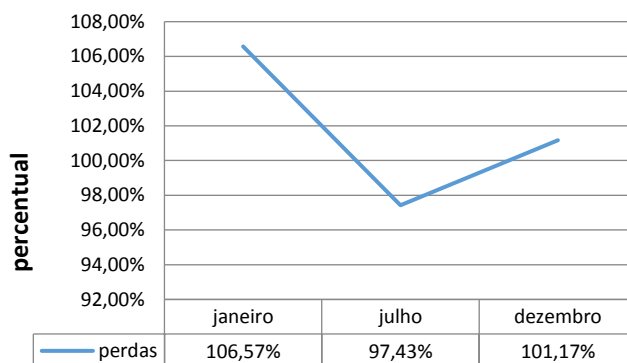


Figura 9 – Nível de energia atingido x nível de energia estimado ao longo do ano

Observa-se que, no período de medição analisado, de janeiro a dezembro, o módulo tem perda de eficiência de 5% devido à sujeira acumulada. Esta perda pode ser considerada elevada, já que a degradação estimada do módulo fotovoltaico é de 0,5% ao ano.

4. CONCLUSÃO

As células fotovoltaicas raramente operam em condições nominais, a temperatura de operação, entre outros fatores, depende da temperatura incidente e da variação da radiação solar. Os condicionantes climáticos são aspectos que devem ser considerados na geração de energia fotovoltaica. As condições padrões de teste são condicionadas a uma temperatura de 25°C nos módulos, relação difícil de obter em um clima que apresenta estações bem definidas, com altas temperaturas no período de verão e baixas temperaturas no período de inverno, além das próprias condições de instalação dos módulos, que sofrem influência de seu sombreamento e das condições de ventilação.

Como verificado neste trabalho, nos meses mais quentes do ano, ocorre perda da eficiência dos módulos fotovoltaicos, como função de sua temperatura, apresentado pela relação da sua geração real de energia que é superior a estimada. No período frio, esta relação se inverte devido à menor irradiação solar incidente nos painéis.

Observou-se também, que a sujidade dos módulos a que são acometidos ao longo do ano influencia na perda de sua eficiência na ordem de 5%.

A energia solar fotovoltaica é indubitavelmente uma alternativa viável para as questões de eficiência energética em diversos locais do mundo, incluindo o Brasil, por seu potencial de geração. Porém, devem ser levados em consideração, a importância dos fatores que influenciam na perda de eficiência destes sistemas, como a temperatura, que pode ser ajustada com deixando espaçamento entre os módulos e a superfície de instalação, para que ocorra a ventilação do conjunto, assim como, da necessidade de fazer a limpeza dos painéis proporcionando melhor desempenho na geração de energia.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. J. N.; BUENO, T. B. A.; RANK, N. I. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba**. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.
- GABRIEL FILHO, Luís R. A. et al. **Mathematical analysis of maximum power generated by photovoltaic systems and fitting curves for standard test conditions**. Eng. Agríc. Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 650-662, Ago. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162012000400004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 31 Out. 2017.
- GONÇALVES, Isabel Piúma; CUNHA, Eduardo Grala da; RHEINGANTZ, Paulo Afonso. **Estudo da Relação Custo-Benefício na Implantação de Diferentes Sistemas Fotovoltaicos em um Edifício de Escritórios na ZB 2**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14., 2017, Pelotas. **Anais**. Balneário Camboriu: Antac,

2017. p. 1388 - 1397. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/encac/encac2017_artigos.html>. Acesso em 29 out. 2017.
- LONGO, Filomena Mata Vianna; ANIBAL, Larissa Gomes. **Transformar uma Edificação Residencial Unifamiliar Típica Requalificando seu Projeto Arquitetônico e usando Painéis Fotovoltaicos: um caso em Belém.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2013, Belém. **Anais.** Brasília: Antac, 2013. p. 1 - 10. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2013/topico4artigo13.pdf>>. Acesso em 28 out. 2017.
- MME – Ministério de Minas e Energia; EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica DEA 19/14: Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos;** Série: Recursos Energéticos. Rio de Janeiro. 2014.
- PRIEB, César Wilhelm Massen. **Determinação da eficiência de seguimento de máxima potência de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Porto Alegre, 2011.
- REITER, Renan Diego de Oliveira. **Análise e projeto de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos parcialmente sombreados.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.
- TAMIZHMANI, G. J. et al. **Photovoltaic Module Thermal/Wind Performance: Long -Term Monitoring and Model Development For Energy Rating.** p. 936–939, 2003.

ANALYSIS OF THE VARIATION OF PHOTOVOLTAIC MODULE EFFICIENCY IN TEMPERATURE FUNCTION

Abstract. *The studies and discussions on the use of photovoltaic solar energy have become increasingly relevant in the national context, because it is a system of clean energy generation. An implementation of local power generation systems in buildings are of great importance, considering the potential of factors such as an area of coverage and solar incidence. In this paper, we present the results of a photovoltaic solar energy study in the city of Santa Maria, RS, where the influence of the temperature on the photovoltaic module is related to generation versus an estimated generation of energy. The methodology was based on the characterization of the photovoltaic module, surveys of existing data of energy generation and calculation of the efficiency of the module as a function of temperature. As a result, we have the comparative graphs of the real and estimated generations. This research demonstrates the relationship between the real generation and an estimate that does not appear uniformly throughout the year in terms of factors such as temperature, solar irradiance and accumulated dirt along the influence in our results.*

Keywords: Photovoltaic solar energy, computer simulation, photovoltaic modules.