

OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA: CONSIDERAÇÕES SOBRE A EFICIÊNCIA DO SISTEMA E ANÁLISE DE POSICIONAMENTO

Leonardo Moreira Antunes do Nascimento E-mail: leomoreiran@gmail.com

Rodrigo Arruda Felício Ferreira E-mail: rodrigoarff@gmail.com

Resumo: Com o crescente aumento da demanda energética no mundo juntamente com a preocupação a respeito do esgotamento dos combustíveis fósseis, faz-se necessário o estudo de energias renováveis. O Brasil possui a maior parte de sua matriz energética concentrada nas fontes hídricas, tornando cada vez mais necessário diversificá-la. Esse trabalho apresenta um estudo sobre a energia solar fotovoltaica como alternativa para diversificação da matriz energética. Ele propõe o dimensionamento de uma microssistema fotovoltaica conectada à rede elétrica capaz de suprir a demanda equivalente ao consumo de energia dos aparelhos de ar condicionado do bloco M do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - Campus Juiz de Fora. O trabalho também apresenta um estudo sobre os principais aspectos a serem levados em consideração ao se dimensionar um sistema fotovoltaico. Além disso, é realizado um estudo de casos com a intenção de reduzir as perdas por sombreamento que influenciam a eficiência do sistema em questão e analisar o melhor posicionamento para instalação. Por fim, pôde-se concluir que a inclusão dos fatores de perdas se tornam imprescindíveis ao se fazer o dimensionamento do sistema, devido ao fato de representarem uma queda significativa na geração de energia.

Palavras-chave: Eficiência energética. Energia renovável. Energia solar fotovoltaica.

OPTIMIZATION OF A GRID-TIED PHOTOVOLTAIC SYSTEM: CONSIDERATIONS ON SYSTEM'S EFFICIENCY AND POSITIONING ANALYSIS

Abstract: Considering the growth of the energy demand in the world along with the concern about the depletion of fossil fuels, it is necessary to study renewable energy. Brazil has most of its energy matrix based in hydroelectric sources, making it increasingly necessary to diversify it. This paper presents a study on solar photovoltaic energy as an alternative for the diversification of the energy matrix. It proposes the designing a photovoltaic microsystem connected to electric power capable of supplying the demand equivalent to the energy consumption of the air conditioning units of block M of the Federal Institute of the Southeast of Minas Gerais - Campus Juiz de Fora. The paper also presents a study on the main aspects that have to be taken into account when designing a photovoltaic system. In addition, a case study was conducted with the intention of reducing the shading losses that influence the efficiency in the system in question and analyze the best positioning for its installation. Finally, it can be concluded that an inclusion of the loss factors becomes essential when designing the system, due to the fact that it represents a significant drop in energy generation.

Keywords: *Renewable energy. Photovoltaic solar energy. Energy efficiency.*

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população e conseqüentemente o aumento da demanda de energia, surgiram novas preocupações como o esgotamento dos combustíveis fósseis. No século XXI são recorrentes as discussões sobre a preocupação a respeito de assuntos que envolvem os altos índices de utilização de combustíveis fósseis como fonte primária de energia, por estarem diretamente ligados com excesso de poluição e o efeito estufa.

Com o aumento da preocupação a respeito do futuro do planeta, aumentaram-se também os estudos e investimentos em fontes renováveis de energia. Mesmo após esse aumento, o setor de geração de energia ainda é mal distribuído no Brasil, concentrando a maior parte da sua geração de energia nas fontes hídricas. Por outro lado, o país possui um

grande potencial para geração de energia solar. Em termos de comparação, a radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha, por exemplo, que é um dos líderes no uso da energia fotovoltaica, é 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil (SALAMONI; RÜTHER, 2007). Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, diariamente incide entre 4.500 Wh/m² a 6.300 Wh/m² no país (MARTINS et al., 2017).

1.1 Geometria Solar

A terra realiza, além do movimento rotacional ao longo do seu eixo, o movimento de translação ao redor do sol. Esses fatos são os responsáveis, respectivamente, pela mudança na posição do planeta em função do tempo, e também pela mudança de estações ao longo do ano. Ambos fatores são responsáveis pela variação de radiação solar recebida em um local com determinada latitude, como mostra a Figura 1.



Figura 1 - Órbita da terra em torno do sol. Fonte: (MARTINS et al., 2017).

A variação do ângulo de incidência dos raios solares no período de um dia é representada pelo Ângulo Horário (ω). Essa inclinação é gerada a partir do deslocamento angular Leste-Oeste do meridiano do sol, e pode ser calculada pela Equação 1:

$$\omega = (H - 12) \times 15^\circ \tag{1}$$

onde H representa a hora solar, que por convenção, recebe valores negativos para o período da manhã, positivos para o período da tarde e zero para o meio dia solar.

Além disso, pode-se observar através da Figura 1 a variação da duração dos dias, que ocorre devido à variação da inclinação do eixo da terra em relação ao sol durante o ano. Essa inclinação pode ser medida através da Declinação Solar (δ) que apresenta variações entre $23^\circ 27'$ e $-23^\circ 27'$ ao longo do ano. Por convenção, a declinação solar é representada por valores negativos quando a localidade se encontra no hemisfério Sul e positivos quando localizada no hemisfério Norte. Ela também representa os solstícios quando seus valores são máximos e o equinócio quando seu valor é nulo, como mostra a Figura 2.

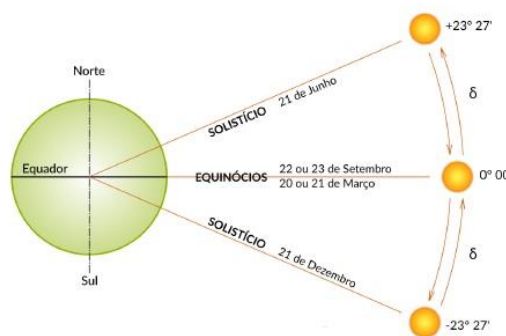


Figura 2 – Ângulos de declinação solar. Fonte: (MARTINS et al., 2017).

A declinação solar (δ) pode ser calculada pela Equação 2:

$$\delta = \text{sen}(23,45^\circ) \times \left[\left(\frac{360}{365} \right) \times (J - 80) \right] \quad (2)$$

onde J são os números julianos representados de 1 a 365 e contados a partir do dia 1 de Janeiro.

Também existem outras relações geométricas importantes entre os raios solares e a superfície terrestre, como a Altitude Solar (α), o Ângulo Zenital (θ_z) e o Ângulo Azimutal (γ). A Figura 3 mostra a relação entre os ângulos citados, onde pode-se perceber que os ângulos (α) e (θ_z) são complementares.

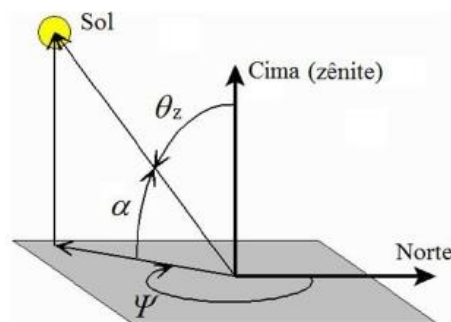


Figura 3 - Ângulos solares. Fonte: (CAMPOS, 2013).

A Altitude Solar (α) é o ângulo entre a radiação do feixe de luz e a projeção da mesma no plano horizontal. Ela pode ser calculada a partir da Declinação Solar (δ), do Ângulo Horário (ω) e da Latitude local (ϕ), de acordo com a Equação 3:

$$\alpha = \arcsen[\text{sen}(\delta) \times \text{sen}(\phi) + \cos(\delta) \times \cos(\phi) \times \cos(\omega)] \quad (3)$$

Já o Ângulo Zenital (θ_z) é o ângulo formado entre os raios de sol e a vertical local (Zênite). Ele pode ser calculado pela equação complementar à da altitude solar (Equação 4):

$$\theta_z = \arccos[\text{sen}(\delta) \times \text{sen}(\phi) + \cos(\delta) \times \cos(\phi) \times \cos(\omega)] \quad (4)$$

Por fim, o Ângulo Azimutal (γ) é o ângulo formado a partir da projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul, como mostra a Figura 3. Tomando a orientação no sentido horário a partir do Norte geográfico por convenção, esse ângulo é positivo quando localizado à Leste e negativo quando à Oeste, variando entre -180° e 180° . Esse ângulo é responsável por determinar a orientação do painel em relação ao hemisfério e pode ser calculado através da Equação 5:

$$\cos(\gamma) = \frac{\text{sen}(\alpha) \times \text{sen}(\phi) \times \text{sen}(\delta) + \text{sen}(\delta)}{\cos(\alpha) \times \cos(\phi)} \quad (5)$$

A revisão realizada sobre geometria solar é de suma importância para a compreensão dos conceitos de energia solar fotovoltaica e de seu sistema de geração, os quais serão abordados nas próximas sessões.

1.2 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF, 2007).

O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica (GREEN et al., 2000). São utilizados materiais semicondutores de propriedades diferentes, que permitem o surgimento de uma diferença de tensão elétrica quando há incidência de raios solares. A Figura 4 apresenta a estrutura de uma célula fotovoltaica.

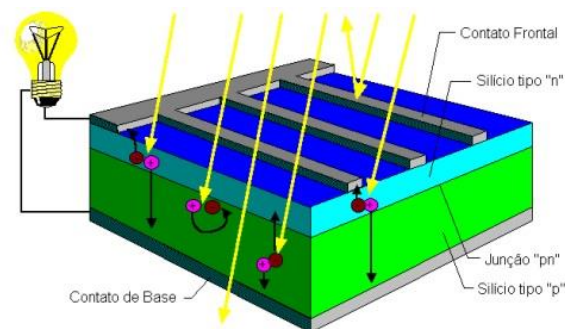


Figura 4 – Corte Transversal de uma célula fotovoltaica. Fonte: (SOLAR, 2006).

A utilização de energia solar fotovoltaica apresenta várias vantagens. Dentre elas, é possível citar a geração de energia limpa (com mínimos danos ao meio ambiente), ausência de ruídos na geração, além de possuir o sol como fonte primária de energia, que é uma fonte inesgotável e presente no mundo inteiro.

1.3 Diodos de *by-pass*

Além do entendimento sobre energia solar fotovoltaica, é necessário também conhecer os componentes presentes no sistema de geração. Para o trabalho em questão, enfatiza-se a relevância dos diodos de *by-pass*.

Os diodos de *by-pass* funcionam como um caminho alternativo para a corrente elétrica e tem a finalidade de impedir que uma célula defeituosa ou má operante limite o funcionamento das demais células. Isso ocorre devido ao fato da ligação de células ser feita em série, onde no caso o defeito ou sombreamento de uma célula também ocasionaria uma dissipação de potência exagerada sobre a mesma.

A conexão desses diodos é realizada não em uma única célula, mas em uma série de células. Além disso, a ligação desse diodo é feita de forma que em condições normais de operação, ele se encontra reversamente polarizado, não permitindo assim passagem de corrente pelo mesmo. A Figura 5 apresenta como é feita a conexão.

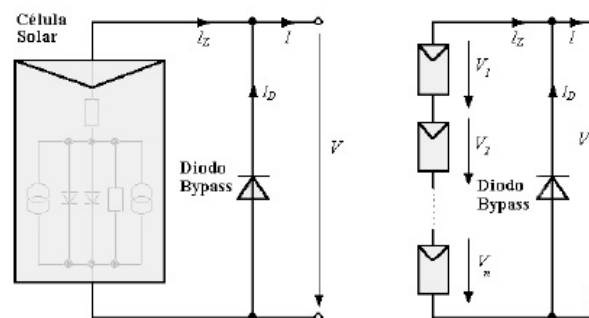


Figura 5 - Diagrama de ligação do diodo *by-pass* em um módulo fotovoltaico. Fonte: (CRESESB, 2006).

2. METODOLOGIA

Inicialmente foi feito um levantamento de cargas referentes ao bloco M do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - Campus Juiz de Fora, onde foi estabelecida a quantidade de aparelhos de ar condicionado instalados e suas potências. Para que o cálculo do consumo diário em kWh referente à utilização dos mesmos fosse realizado, foram levados em consideração a quantidade de equipamentos e suas respectivas potências, seu tempo de utilização diária média ao longo do ano, e seus dias de uso em uma semana. O valor obtido foi de 33,91kWh por dia.

Com o consumo diário já estabelecido, faz-se necessária a aplicação do fator de demanda, que é responsável por estimar a simultaneidade no período de utilização dos equipamentos. Os valores padrão encontrados para os fatores de demanda relativos aos equipamentos que necessitam de tomadas de uso específico, que são o caso dos aparelhos de ar condicionado, foi de 60%, considerando sete equipamentos.

A partir do levantamento de cargas onde o consumo diário (C) foi estabelecido, juntamente o fator de demanda (FD), pôde-se calcular a energia diária consumida (E), também em kWh, de acordo com a Equação 6 (FARRET; SIMOES, 2006):

$$E = C \times FD = 33,9 \times 0,6 = 20,34 \text{ kWh} \quad (6)$$

2.1 Geração Fotovoltaica

O dimensionamento dos arranjos fotovoltaicos varia de acordo com a localidade onde serão instalados. Isso ocorre devido ao fato de a irradiação solar (que significa exposição à radiação solar), variar de acordo com a latitude local. Para a cidade de Juiz de Fora, localizada na latitude 21°45' Sul, o valor médio de irradiação ao longo o ano é de 4.52 kWh/m²/dia.

Foi realizado um pré dimensionamento, onde para o calcular a potência à ser gerada pelos módulos fotovoltaicos, foi necessário utilizar o valor correspondente à energia consumida (E), obtida através do levantamento de cargas, as Horas de Sol Pleno (HSP) e a Taxa de Desempenho (TD), equivalente à 75%. A potência dos módulos fotovoltaicos é dada pela Equação 7 (PINHO; GALDINO, 2014):

$$P_{FV} = \frac{E}{HSP \times TD} \quad (7)$$

As HSP equivalem a razão entre irradiação média (H) na localidade e a irradiância de referência (G), estabelecida como 1kWh/m² (PINHO; GALDINO, 2014).

$$HSP = \frac{H}{G} \quad (8)$$

Substituindo a Equação 8 na Equação 7, obtém-se:

$$P_{FV} = \frac{E}{HSP \times TD} = \frac{E}{\left(\frac{H}{G}\right) \times TD} = \frac{E \times G}{H \times TD} = \frac{20,34}{4,52 \times 0,75} = 6 \text{ kWp} \quad (9)$$

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado com auxílio do software PVSyst®. O PVSyst® é um software de computador para o estudo, dimensionamento, simulação e análise de dados de sistemas fotovoltaicos completos.

Para isso, foram escolhidos o módulo fotovoltaico e o inversor que atenderiam as características do projeto. O módulo escolhido foi o Canadian - CS5U335P por melhor se

adaptar ao projeto, onde foram levados em consideração a potência e eficiência do módulo, além de ser de um fabricante atuante no Brasil. O inversor escolhido foi o ABB - PVI5000OUTD-US por atender os requisitos do sistema ao possuir uma potência de operação de 5 kW. Para o dimensionamento, é admissível que o intervalo de potência do inversor seja de $PFV \times 0,7 < PINV < 1,2 \times PFV$, onde PFV é a potência do arranjo fotovoltaico e PINV é a potência do inversor (GREENPRO, 2004).

Para atender a potência de 6kW_p, será necessária a utilização de 18 módulos de 335W. A configuração que melhor atende é a conexão de 2 séries em paralelo com 9 módulos cada, operando assim em faixas de tensões e correntes aceitas pelo inversor.

2.2 Análise de Perdas Detalhadas

Para aproximar o sistema simulado de um sistema real, faz-se necessária a inclusão das perdas detalhadas. Existem as perdas na eficiência da célula causadas por questões ambientais, como a temperatura e a irradiância, e também outros fatores que são responsáveis por diminuir a eficiência de geração de um sistema fotovoltaico. Dentre esses fatores, podemos citar:

- IAM: o fator modificador do angulo de incidência (do inglês, *Incidence Angle Modifier*) (IAM), é ocasionado pela reflexão dos raios solares causada pelos componentes do módulo.
- Sujidade: é o acúmulo de sujeira nos painéis, causados por fatores como: folhas, fezes de aves, poluição, poeira, dentre outros.
- LID: A sigla LID, se refere a degradação induzida pela luz, *Light Induced Degradation* (LID), e ocorre durante as primeiras horas de exposição das células de um painel ao sol. Essa degradação é causada por vestígios de oxigênio incluídos no silício fundido durante o processo para a obtenção de cristais de silício. Devido ao efeito de exposição à luz, estes dímeros de oxigênio carregados positivamente podem se difundir através da rede de silício e criar complexos com aceitadores dopantes de boro (SOLAR FRONTIER, 2014). A composição boro-oxigênio constrói seu próprio nível de energia na estrutura do silício e pode capturar elétrons e espaços, que são então perdidos no processo de produção de eletricidade. (RUTSCHMANN, 2008).
- PID: A degradação induzida do potencial (do inglês, *Potential Induced Degradation*) (PID), é causado por elétrons migrantes que se acumulam na superfície da célula de silício, onde eles afetam a capacidade da junção P-N na célula para converter a luz solar (YEWDALL, 2014). Essa degradação é causada por tensões elevadas geradas a partir da ligação de módulos em série, que geram correntes de fuga quando o sistema não está adequadamente aterrado. Além disso, outro fator causador do PID é o fato do isolamento elétrico gerado a partir do backsheet do módulo não ser perfeito, gerando uma mobilidade iônica dentro do módulo entre o material semicondutor e outros elementos do módulo como por exemplo o vidro e a moldura.
- *Mismatch*: As perdas por *mismatch* são aquelas que ocorrem devido ao ‘descasamento’ de módulos fotovoltaicos. Módulos e células de mesmo modelo e mesmo fabricante ainda sim podem apresentar diferenças na sua constituição, onde por exemplo, uma célula de menor corrente pode ocasionar a limitação de todo o módulo, afetando a eficiência do sistema em geral.
- Perdas Ôhmicas: As perdas ôhmicas ocorrem devido ao aquecimento ou degradação dos cabos de ligação, causados por fatores como a corrosão, envelhecimento,

sobretensão ou até mesmo danos causados por animais.

- Perdas no Inversor: são as perdas geradas nas conversões de energia realizadas pelo inversor.
- Inatividade: essas perdas são ocasionadas pelo desligamento do sistema ao longo do ano para a realização de limpeza e manutenções.

No projeto em questão, os fatores de perdas e seus respectivos valores utilizados foram determinados de acordo com suas condições específicas de instalação, e são exibidos pelo diagrama apresentado pela Tabela 1.

Tabela 1 - Influência dos fatores de perdas na eficiência do sistema.

Fatores de Perda	Percentual
IAM	2,3%
Sujidade	3%
Temperatura	8,5%
Irradiância	0,8%
LID e PID	3%
<i>Mismatch</i>	1,6%
Perdas Ôhmicas	1%
Inversor	3,4%
Inatividade	0,4%

Fonte: Elaboração própria.

Além dos fatores de perdas encontrados na Tabela 1, o software também inclui um fator de ganho, que é a irradiação difusa, gerada a partir da reflexão dos raios solares em superfícies ou objetos próximos ao sistema. Obtida a partir da simulação no software, a irradiação difusa representa um ganho de 4,5% na geração de energia desse sistema.

A partir da análise realizada, pôde-se perceber que as perdas representam uma queda de 710kWh por ano na produtividade do sistema, fazendo com que sua inclusão seja indispensável no dimensionamento de um arranjo fotovoltaico.

3. ESTUDO DE CASOS

Para a obtenção dos resultados, novamente foi utilizado o software PVSyst®, o qual permitiu uma análise detalhada sobre a influência do sombreamento na eficiência do sistema.

Foram testados os sete posicionamentos possíveis para a instalação da microusinha em questão. Dentre essas configurações estão presentes duas opções. A primeira seria a instalação dos arranjos sob o telhado já presente no local, que apresenta uma inclinação de 17,7°.

A segunda seria a remoção do telhado e a instalação dos painéis sobre a laje do local e com uma inclinação de 23,45° (de acordo com a latitude local). Nesse caso, faz-se necessária a utilização de técnicas de impermeabilização para evitar infiltrações.

3.1 Simulações

Foram realizadas as devidas simulações correspondentes às variações de posicionamento do sistema. As Figuras 6, 7 e 8 mostram a simulação do projeto realizada com os módulos posicionados no telhado, na laje em orientação ‘paisagem’ e na laje em orientação ‘retrato’, respectivamente.

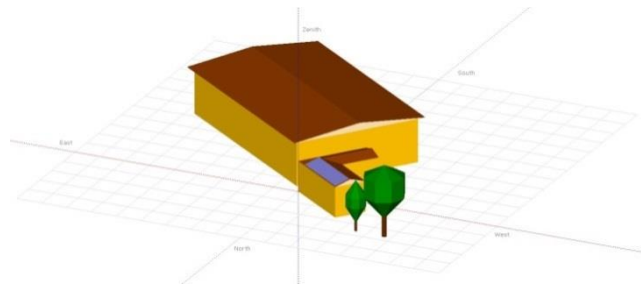


Figura 6 - Simulação utilizando software PVSyst® com os painéis instalados sobre o telhado.

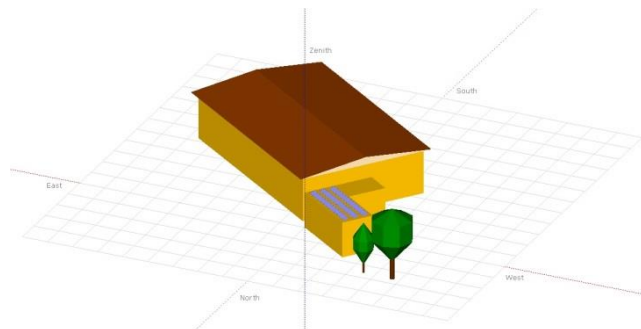


Figura 7 - Simulação utilizando software PVSyst® com os painéis instalados sobre a laje e com orientação 'paisagem'.

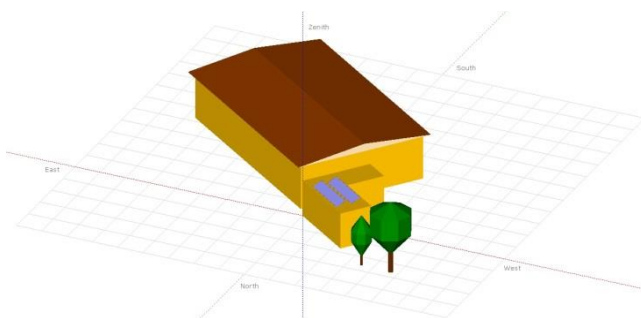


Figura 8 - Simulação utilizando software PVSyst® com os painéis instalados sobre a laje e com orientação 'retrato'.

No caso de utilização do telhado, apenas uma posição de instalação é viável devido à localização geográfica do local. Já no caso de utilização da laje, foram analisadas seis combinações, onde os módulos foram instalados nas orientações 'retrato' e 'paisagem' e posicionados em três posições em cada: canto esquerdo (Posição 1), centralizado (Posição 2) e canto direito (Posição 3) do telhado, como mostram as Figuras 9 e 10.

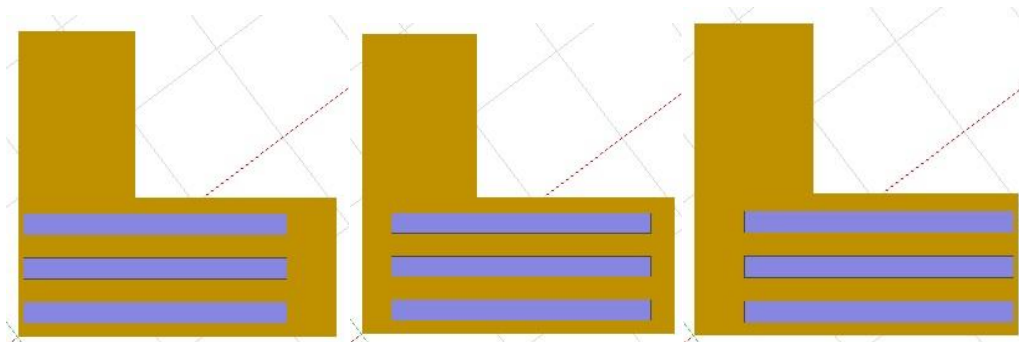


Figura 9 – Configuração dos módulos na orientação 'paisagem' instalados em diferentes posições sobre a laje.

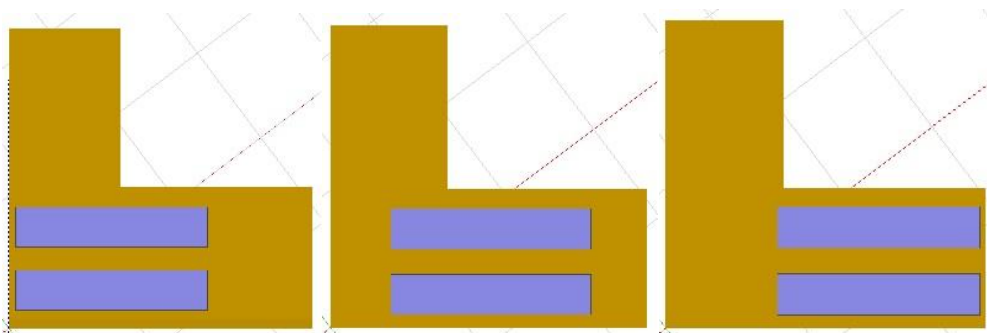


Figura 10 – Configuração dos módulos na orientação 'retrato' instalados em diferentes posições sobre a laje.

Observar as diferentes posições para a instalação dos módulos é de suma importância visando a minimização das perdas do sistema causadas por sombreamento ou fatores externos, onde pode se obter uma eficiência maior do sistema apenas mudando os módulos de lugar. A orientação dos módulos também se faz importante nesse caso, pois a mudança de 'retrato' para 'paisagem' pode alterar a quantidade de células inoperantes perante uma situação de sombreamento, que ocorre devido à presença dos diodos de by-pass, que podem limitar a operação de uma célula ou uma série de células.

3.2 Resultados

Foram realizadas simulações considerando todos os casos apresentados para esse sistema. Essas simulações apresentaram os resultados obtidos para geração de energia a partir desse sistema fotovoltaico no período de um ano, onde os mesmos são encontrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado das simulações em diferentes combinações.

MODO	ENERGIA PRODUZIDA (MWh/ano)	PR (%)	YIELD (produtividade) (kWh/kWp)
Sem perdas	8,82	86,03	1463
C/ perdas e S/ sombreamento	8,11	78,11	1344
Laje paisagem (Posição 1)	7,88	75,96	1307
Laje paisagem (Posição 2)	7,85	75,66	1302
Laje paisagem (Posição 3)	7,89	76,05	1309
Laje retrato (Posição 1)	7,83	75,48	1299
Laje retrato (Posição 2)	7,89	76,03	1308
Laje retrato (Posição 3)	7,88	75,94	1307
Telhado	8,01	77,18	1328

Fonte: Elaboração própria.

Como pode ser observado na Tabela 2, a melhor alternativa seria a instalação sobre o telhado, que mesmo não estando na inclinação ideal de acordo com a latitude local, apresenta uma maior capacidade de geração ao longo do ano quando comparado com as outras configurações que também apresentam a presença de perdas.

A Tabela 2 também comprova que um sistema sem perdas é abstrato quando se aplicado a um caso real, devido ao fato de geração de energia teórica ser muito maior do que quando aplicada na prática. As perdas são um fator importante a ser considerado ao se dimensionar um sistema fotovoltaico. Nesse caso, devido à otimização realizada, o sistema

apresenta um superdimensionamento quando aplicado na prática, onde além de atender a demanda de energia gerada pelos aparelhos de ar condicionado, também poderia atender parte da demanda de energia proveniente das lâmpadas, computadores e outros equipamentos.

Por outro lado, poderia ser dimensionado um sistema mais simples onde seria feita a redução do número de módulos com o objetivo de atender apenas a demanda solicitada. Nesse caso, seria de suma importância uma análise bem feita de posicionamento, para que as perdas por sombreamento não comprometessem a geração do sistema.

Em ambos os casos, essa análise se faz importante pois comprometendo ou não o sistema, as perdas são consideráveis e geram prejuízos. Considerando o melhor e o pior caso, ao longo de um ano o sistema deixaria de produzir 180kWh apenas variando seu posicionamento. O gráfico a seguir (Figura 11) apresenta as perdas por sombreamento do sistema ao longo do ano encontrados por simulação.

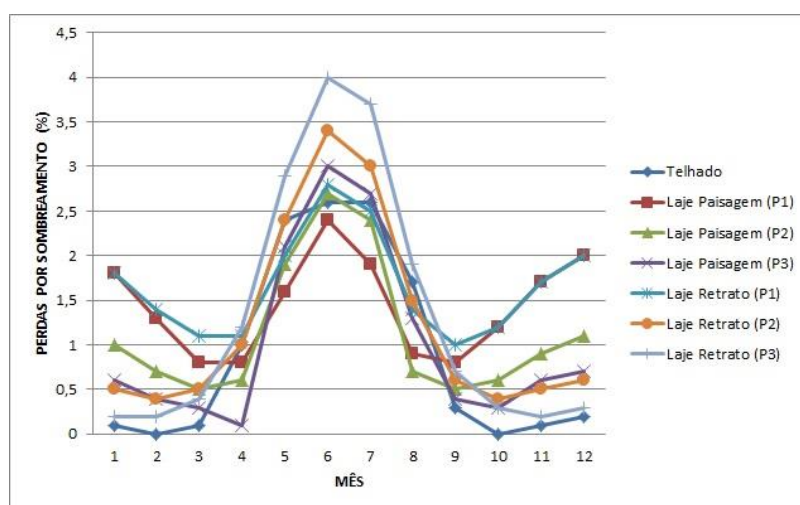


Figura 11 – Perdas por sombreamento ao longo do ano. Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar pela Figura 11 que as perdas por sombreamento apresentam um padrão em suas curvas características, independente do posicionamento do sistema. Isso ocorre devido ao fato do posicionamento do sol em relação a terra variar de acordo com a estação do ano. Esse fato juntamente com os resultados deixam claro que o sistema mais eficiente não é aquele que apresenta menor pico de sombreamento, e sim o que apresenta a menor média de sombreamento ao longo de um ano.

4. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho, foi possível analisar detalhadamente os fatores mais relevantes para a realização do dimensionamento de uma microssistema fotovoltaica conectada à rede elétrica. Foi realizado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico capaz de suprir a demanda de energia elétrica gerada pela instalação dos aparelhos de ar condicionado no bloco M do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - Campus Juiz de Fora. O dimensionamento foi realizado a partir da consideração dos fatores de perda que influenciam a eficiência do sistema, que foram estudados individualmente e considerados nos cálculos de geração de energia com o auxílio do software PVSyst®. Também com a utilização do software, foi feito um estudo de casos onde foi possível simular e analisar diversas situações e configurações com o intuito de minimizar as perdas do sistema.

Os resultados obtidos comprovam a importância de se fazer uma análise específica ao se dimensionar um sistema fotovoltaico, onde cada caso apresenta suas peculiaridades que

influenciam a eficiência do sistema. O trabalho mostrou que um mesmo sistema pode ser otimizado apenas variando a posição e orientação dos módulos. Para o caso estudado, outro fator importante a ser observado é o fato de mesmo não estando na inclinação ideal, o posicionamento dos módulos sobre o telhado foi o que apresentou melhores resultados. Isso ocorreu devido ao fato de a redução de perdas por sombreamento nesse caso ser mais relevante que a diferença de graus referentes à sua inclinação ideal.

Por fim, o trabalho também conclui que o sistema mais eficiente é aquele que apresenta a menor média de perdas ao longo do ano. Essa variação ocorre devido a mudança de posicionamento da terra em relação ao sol, que modifica o ângulo de incidência dos raios solares e conseqüentemente as condições de sombreamento.

REFERÊNCIAS

- ABB.** ABB string inverters: PVI-5000/6000-TL-OUTD 5kW to 6kW. 2015. Disponível em: <<https://library.e.abb.com/public/056a93c2644e4f15b55475647c6e0156/PVI-5000-EN-Rev%20E.pdf>>.
- CAMPOS, M.** Programa para o cálculo da variação da direção de incidência dos raios solares ao longo do ano. In: XI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. [S.l.: s.n.], 2013.
- CANADIAN SOLAR INC.** Canadian Solar Datasheet MaxPower-CS6U-P. 2017. Disponível em: https://www.canadiansolar.com/downloads/datasheets/en/new/Canadian_Solar-Datasheet-MaxPower_CS6U-P_en.pdf.
- FARRET, F. A. SIMOES, M. G.** Integration of alternative sources of energy. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2006.
- GREEN, M. A. et al.** Solar cell efficiency tables (version 16). Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Wiley Online Library, 2000.
- GREENPRO, A. P. C.** Energia fotovoltaica-manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Europa: Comissão Europeia, 2004.
- IMHOFF, J.** Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos. 2007. 146 f. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.
- MARTINS, F. R. et al.** Atlas brasileiro de energia solar. São José Dos Campos: Inpe, 2017.
- PINHO, J. T. GALDINO, M. A.** Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.
- RUTSCHMANN, I.** A call for quality: power loss from crystalline silicon module degradation causes a big headache for the industry. Photon International, v. 3, p. 106–111, 2008.
- SALAMONI, I. RÜTHER, R.** Potencial brasileiro da geração solar fotovoltaica conectada à rede elétrica: Análise de paridade de rede. IX Encontro Nacional EV Latino Americano De Conforto No Ambiente Construído, v. 9, 2007.
- SOLAR, E.** Princípios e aplicações. Centro de Referencia para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito–CRESESB, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>, v. 4, 2006.
- SOLAR FRONTIER.** Did you know. . . ? LID – another abbreviation you should know – and why Solar Frontier CIS technology comes up trumps here too. 2014. Disponível em: <<https://www.solar-frontier.eu/en/news/useful-information/detail/wussten-sie-das-schon-lid-noch-ein-kuerzel-mit-dem-wir-sie-vertraut-machen-und-warum-die-solar-frontier->>.
- YEWDALL, Z.** ASK THE EXPERTS: Transformerless Inverters and PV Degradation.[S.l.], 2014. Disponível em: <<https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/equipment-products/ask-experts-transformerless-inverters-and-pv>>.

