

# ESTIMATIVA DAS PERDAS TÉRMICAS NA PRODUÇÃO DE ENERGIA DE DUAS TECNOLOGIAS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Carlos Henrique Rôssa – henrique.rossa@ies-def.upm.es

João Batista Dias – joabd@unisinós.br

Mário Henrique Macagnan – mhmac@unisinós.br

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

**Resumo.** Considerando a crescente possibilidade de inserção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR) nos lares brasileiros, simulações tanto a respeito do comportamento do sistema como da quantidade de energia entregue à rede se fazem necessárias. Nesse ínterim, avaliou-se a produção de energia entre duas tecnologias diferentes em dias específicos do ano – solstícios de inverno e verão -, com estimativas computacionais. Levam-se em conta dois dados na análise computacional: temperatura do ar e irradiância. A irradiância é calculada através do Modelo de Hottel para céu claro, e a temperatura do ar foi obtida no INMET. Analisou-se a potência gerada pelo painel fotovoltaico em operação a cada hora em comparação com a potência na condição padrão, bem como a variação do fator de forma nos diferentes dias analisados e em dois ângulos de instalação. Das duas tecnologias simuladas, verificou-se que o silício multicristalino está mais sujeito à variabilidade térmica, de forma que, na simulação para o solstício de inverno, a produção de energia tende a se equiparar a do silício monocristalino, sugerindo que essa tecnologia pode ser uma alternativa mais barata em locais onde predomine baixa incidência de irradiância e temperaturas mais amenas.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica, Perdas Térmicas, Estimativa Computacional, Dias Ensolarados

## 1. INTRODUÇÃO

Antes de qualquer instalação de um sistema fotovoltaico, é necessário que se faça uma estimativa da energia elétrica necessária para suprir a demanda. Nesse contexto, o entendimento dos pormenores numa instalação fotovoltaica, como as perdas atreladas à variação de temperatura das células e diferenças de produção de energia é útil para que haja uma escolha adequada do tipo de equipamento a ser escolhido para uma instalação. No presente estudo, estimou-se a energia elétrica produzida nos solstícios através de equacionamento implementado no MATLAB e analisou-se as diferenças de produção do ponto de vista das perdas térmicas. As perdas térmicas foram analisadas especificamente em dois dias: solstício de verão e solstício de inverno, com o painel inclinado a 20° e 30° para ambas as tecnologias e dias. Entre esses dois dias, há significativa variação de temperatura do ar e irradiância, que aquecem a célula e diminuem sua eficiência, mesmo que a irradiância seja responsável direta pela produção de energia.

As simulações foram feitas com auxílio de uma ferramenta computacional. Na configuração atual, o cálculo de irradiância é feito através do Modelo de Hottel (1976).

As temperaturas do ar foram obtidas no INMET, primando-se especificamente por temperaturas condizentes com dias ensolarados, típicas especificamente para o dia analisado.

## 2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA FV

As simulações foram executadas mantendo a mesma configuração do sistema para ambas as tecnologias implementadas, a fim de verificar a produção de energia por parte de ambas as tecnologias. A Tab. 1 descreve o sistema FV completo simulado. As simulações concentraram-se no comportamento dos módulos FV.

## 3. MODELO MATEMÁTICO UTILIZADO

### 3.1. Modelo para o cálculo da irradiância

Para o cálculo da irradiância, optou-se num primeiro momento pelo Modelo de Hottel (1976), para 23 km de visibilidade. O Modelo de Hottel calcula a transmissividade atmosférica  $\tau_b$  à passagem de irradiância do topo da atmosfera aos módulos, e é obtida pela Eq. (1).

Tabela 1 - Descrição dos componentes simulados

Tecnologias das células	Silício monocristalino / Silício multicristalino
Potência nominal dos módulos	85 W <sub>p</sub>
Quantidade de módulos por <i>string</i>	15
Número de <i>strings</i>	4
Potência total instalada	5,1 kW <sub>p</sub>
Potência nominal do inversor	3,8 kW

A Fig. 1 exemplifica o objeto de estudo do presente trabalho.

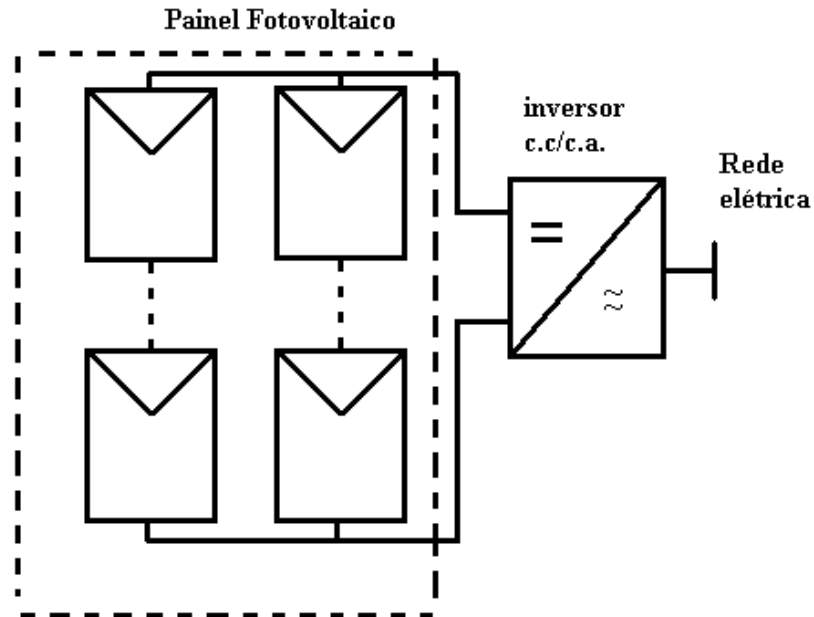


Figura 1 - Esquema básico de um SFCR

$$\tau_b = r_0 a_0^* + r_1 a_1^* \exp\left(-\frac{r_k k^*}{\cos \theta_z}\right) \quad (1)$$

onde,  $a_0^*$ ,  $a_1^*$  e  $k^*$  são calculados pelas Eq. (2), Eq. (3) e Eq. (4). Os coeficientes de ajuste para 23 km de visibilidade são dados na Tab. 2, e  $\theta_z$  é o ângulo zenital do Sol, calculado pela Eq. (5).

$$a_0^* = 0,4237 - 0,00821(6 - A)^2 \quad (2)$$

$$a_1^* = 0,5055 - 0,00595(6,5 - A)^2 \quad (3)$$

$$k^* = 0,2711 - 0,01858(2,5 - A)^2 \quad (4)$$

onde A é a altitude local, dada em km ( $0 \leq A \leq 2,5$ ).

$$\cos \theta_z = \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) \quad (5)$$

onde:  $\varphi$  é a latitude local ( $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ )

$\delta$  é a declinação solar ( $-23,5^\circ \leq \delta \leq 23,5^\circ$ )

$\omega$  é o ângulo horário do Sol, sendo  $0^\circ$  ao meio-dia solar,  $-90^\circ$  no nascente e  $90^\circ$  no poente.

A Tab. 2 mostra os coeficientes climáticos utilizados no modelo, específicos para estimativas com 23 km de visibilidade.

Tabela 2 - Fatores de correção para tipos climáticos

Clima	$r_0$	$r_1$	$r_k$
Tropical	0,95	0,98	1,02
Latitude Média Verão	0,97	0,99	1,02
Latitude Média Inverno	1,03	1,01	1,00
Verão Subártico	0,99	0,99	1,01

A obtenção de  $\tau_b$ , que nada mais é que o percentual da irradiância no topo da atmosfera que chega na superfície terrestre, permite obter a irradiância numa superfície arbitrariamente inclinada, através da Eq. (6).

$$G_{cb} = G_{on} \tau_b \cos \theta_z \quad (6)$$

onde,  $G_{on}$  é a irradiância no topo da atmosfera, obtida pela Eq. (7), e  $\theta_z$  é o ângulo de afastamento do Sol ao zênite, calculado pela Eq. (5) (Duffie e Beckman, 2006).

$$G_{on} = G_{sc} [1,000110 + 0,034221 \cos(B) + 0,001280 \sin(B) + 0,000716 \cos(2B) + 0,000077 \sin(2B)] \quad (7)$$

$G_{sc}$  é a constante solar no topo da atmosfera, equivalente a 1367 W/m<sup>2</sup>, B é calculado pela Eq. (8) sendo o dia do ano ( $1 \leq n \leq 365$ ),

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (8)$$

### 3.2 Equacionamento da célula e produção de energia elétrica

A produção de energia elétrica atenta para alguns algoritmos implementados no Matlab e um equacionamento específico para a célula. Na proposta do presente estudo, atenção especial deu-se na análise dos resultados das Eq. (10), Eq. (11), Eq. (12) e Eq. (13).

$$\text{Fator de forma da célula: } FF = \frac{I_{PMP} V_{PMP}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (10)$$

onde  $I_{PMP}$  é a corrente máxima produzida,  $V_{PMP}$  a tensão máxima produzida,  $V_{oc}$  a tensão de circuito aberto e  $I_{sc}$  a corrente de curto circuito.

$$\text{Corrente de curto-circuito da célula: } I_{sc} = \frac{G_a}{G_{a0}} [I_{sc0} + C u_{Isc} (T_c - T_{c0})] \quad (11)$$

onde  $G_a$  é a irradiância incidente no módulo,  $G_{a0}$  é a irradiância na condição padrão (1000 Wm<sup>-2</sup>),  $I_{sc0}$  a corrente de curto circuito na condição padrão,  $C u_{Isc}$  o coeficiente de variação de corrente com a temperatura da célula,  $T_c$  a temperatura da célula e  $T_{c0}$  a temperatura da célula na condição padrão (25 °C).

$$\text{Tensão de circuito aberto da célula: } V_{oc} = V_{oc0} + C u_{Voc} (T_c - T_{c0}) \quad (12)$$

onde  $V_{oc0}$  é a tensão de circuito aberto na condição padrão e  $C u_{Voc}$  o coeficiente de variação da tensão de circuito aberto com a variação de temperatura da célula.

$$\text{Temperatura de operação da célula: } T_c = T_a + G_a \left( \frac{T_{noct} - 20}{800} \right) \quad (13)$$

onde  $T_{noct}$  é a temperatura normal de operação da célula.

Algoritmos específicos implementados na rotina computacional calculam a tensão e a corrente no ponto de máxima potência de um painel fotovoltaico, conforme mostra a Eq. (14). A energia produzida por este painel pode ser obtida pela Eq. (15). É importante salientar que a Eq. (15) calcula a energia produzida, considerando que o inversor esteja polarizando o painel fotovoltaico no *PMP*.

$$PPMP = V_{PMP} I_{PMP} \quad (14)$$

$$E_{ger} = \int PPMP dt \quad (15)$$

#### 4. OBTENÇÃO DA TEMPERATURA DO AR

Para a obtenção das temperaturas do ar, as estimativas foram feitas para dias ensolarados a fim de encontrar temperaturas condizentes para esses dias. Para isso, analisou-se uma amostra obtida no INMET, dos dias 31 de agosto de 2012 a 4 de janeiro de 2013, dos dados coletados pela estação automática A801, localizada em Porto Alegre - RS. A análise se deu de forma qualitativa, verificando a curva de irradiância global medida em cada dia da amostra. Os dias com curvas típicas para dias ensolarados foram pré-selecionados, e analisou-se imagens de satélite obtidas no INPE, a fim de verificar a presença ou não de nebulosidade na região de Porto Alegre. Dessa amostra, foram obtidos 40 dias ensolarados. Desses dias, foram separadas as temperaturas do ar correspondentes a fim de implementar nas simulações. Alguns dias implementados que não tiveram ocorrência de céu claro na amostra especificada tiveram suas temperaturas obtidas de uma amostra de dados medidos pela mesma estação, abrangendo os dias 1 de janeiro de 2004 a 31 de dezembro de 2009.

#### 5. SIMULAÇÕES REALIZADAS

A Tab. 3 ilustra os resultados encontrados para produção de energia produzida pelo painel fotovoltaico nas simulações diárias especificadas.

Tabela 3 - Energias produzidas pelo painel fotovoltaico para dias ensolarados

Tecnologia	Energia produzida [kWh]			
	Solstício de inverno		Solstício de verão	
	$\beta=20^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=20^\circ$	$\beta=30^\circ$
Si monocristalino	18,70	20,76	29,51	27,40
Si multicristalino	19,02	20,97	28,28	26,49

Embora a eficiência das células de silício monocristalino seja tipicamente maior, verifica-se uma produção de energia pouco maior por parte das células de silício multicristalino no solstício de inverno, para ambas as inclinações analisadas, sendo 1,72% superior à produção por parte do silício monocristalino com o painel inclinado a  $20^\circ$  e 1,00% em inclinação de  $30^\circ$ . No solstício de verão, verifica-se uma produção 4,17% superior por parte do silício monocristalino com o painel inclinado a  $20^\circ$  e 3,32% superior também por parte do silício monocristalino com inclinação de  $30^\circ$  do painel.

É característico no período de inverno, na região de Porto Alegre, dias mais frios e menor presença de radiação solar, seja pelo maior ângulo zenital, seja pela maior distância da Terra ao Sol, que, ainda que resulte em pouca diferença de produção de energia, é ainda assim, mensurável (Rossa, Dias, Karnas, 2013).

##### 5.1 Análise das perdas térmicas de geração

A potência de pico é aquela que o painel gera na condição padrão ( $1000 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $T_a=25^\circ\text{C}$ , AM 1,5). Da Eq. (10), entende-se que a potência no ponto de máxima potência produzida pode ser obtida pelo produto  $V_{oc}I_{sc}$  pelo fator de forma. Esse produto, em valores especificados de fábrica ( $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$  e FF), resulta num valor constante, que nada mais é que a potência máxima teórica que o painel produziria. O produto  $V_{oc}I_{sc}$  nada mais é que a própria potência total instalada. A Tab. 4 ilustra esses valores para ambas as tecnologias.

Tabela 4 - Potência no ponto de máxima potência na condição padrão

Tecnologia	Fator de Forma <i>standard</i> ( $FF_{std}$ )	$V_{oc}I_{sc}$ (kW)	PPMPstd (kW)	Potência total instalada ( $kW_p$ )
Silício monocristalino	0,77	5,1	3,93	5,1
Silício multicristalino	0,71	5,1	3,62	5,1

Para as duas tecnologias, verificou-se as curvas de potência geradas para os dias e inclinações simulados. Comparou-se com máxima potência de laboratório (condição padrão), ilustrada pela reta e, baseado nos valores horários simulados, estimou-se as perdas atreladas à produção. As Fig. 2 e Fig. 3 comparam as curvas de potência gerada pelo painel com as duas tecnologias simuladas nos solstícios de verão e inverno, com inclinação de 20° e 30°, com a potência gerada pelo painel na condição padrão.

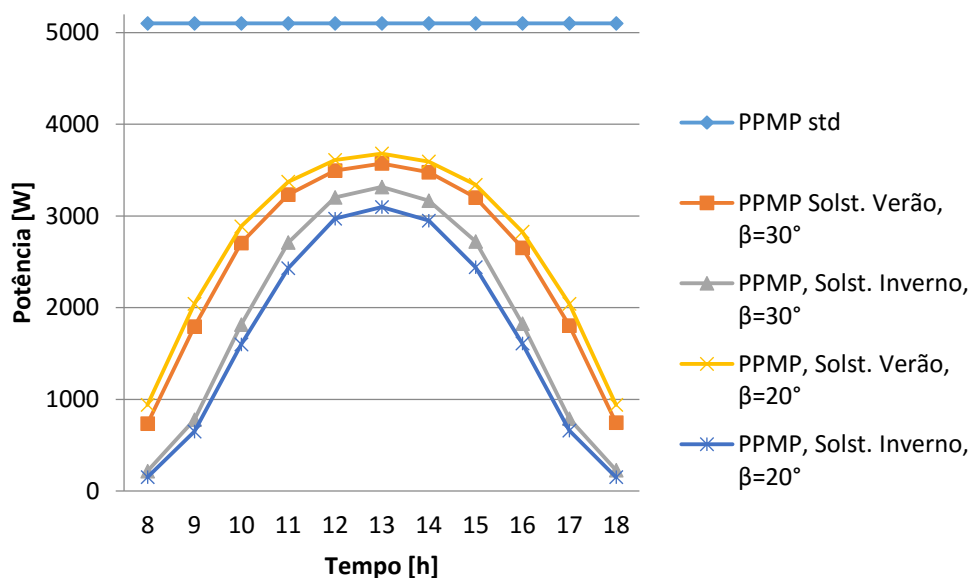


Figura 2 - Curvas de potência gerada pelo painel de módulos de silício monocristalino

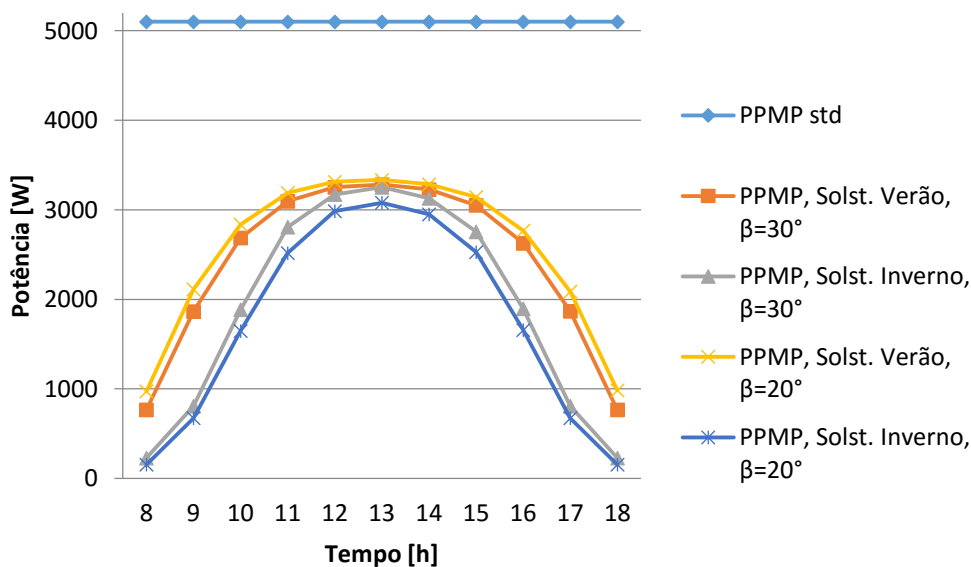


Figura 3 -Curvas de potência gerada pelo painel de módulos de silício multicristalino

Primeiramente, verifica-se, nas Fig. 2 e Fig. 3, que, para qualquer dia simulado, a geração de energia fica sempre abaixo da energia máxima que o módulo deveria gerar, resultado esse esperado pelo fato de as condições climáticas locais dificilmente atingirem a condição padrão de laboratório simultaneamente ( $1000 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $T_a=25 \text{ }^\circ\text{C}$ , AM 1,5). Na Fig. 2, nota-se que os pontos máximos das curvas de ponto de máxima potência no solstício de verão com o painel inclinado a  $20^\circ$  e  $30^\circ$  se afastam mais que os máximos das mesmas curvas na Fig. 3. Como os módulos de ambas as tecnologias estão sujeitos ao mesmo aquecimento, de acordo com a Eq. (13), o que deve influenciar o comportamento dos módulos para que haja essa diferença de produção de energia nesses períodos são os coeficientes térmicos de suas células, que, por sua vez, influenciam o fator de forma  $FF$ , calculado pela Eq. (10), com a variação de temperatura. Os coeficientes térmicos das células utilizadas são mostrados na Tab. 5.

Tabela 5 - Coeficientes térmicos das células simuladas

	$Cu_{Voc} [\text{mV}^\circ/\text{C}]$	$Cu_{Isc} [\text{mV}^\circ/\text{C}]$
Silício monocristalino	-1,9	3,25
Silício multicristalino	-2,26	4,32

A magnitude desses coeficientes influencia diretamente na produção de energia. O aumento da temperatura da célula  $T_c$  induz uma queda na tensão de circuito aberto e um incremento de corrente de curto circuito na célula. Pela Tab. 5, nota-se que o silício multicristalino apresenta maior queda na tensão de circuito aberto com o aumento da temperatura da célula e maior incremento de corrente de curto circuito com a temperatura da célula.

### 5.2 Análise da variação do Fator de Forma das células

O fator de forma é a razão entre a potência máxima produzida pelo painel em operação pelo produto entre a tensão de circuito aberto e a corrente de curto circuito. Quanto mais próximo da unidade for essa razão, maior é o aproveitamento da energia do painel.

Os módulos vêm de fábrica com a especificação do fator de forma na condição padrão. Para o silício monocristalino utilizado na simulação, esse valor é 0,77, e para o silício multicristalino, 0,71. Com a variação da temperatura da célula, o produto  $V_{oc} I_{sc}$  varia, o que pode resultar em ganhos de produção devido à variabilidade térmica da célula, nos casos em que o fator de forma resulta superior ao fator de forma na condição padrão. Nesse caso, analisou-se a variação do fator de forma das células nos casos simulados, a fim de verificar se ocorriam essas variações, e se as mesmas poderiam influenciar nas diferenças de produção de energia.

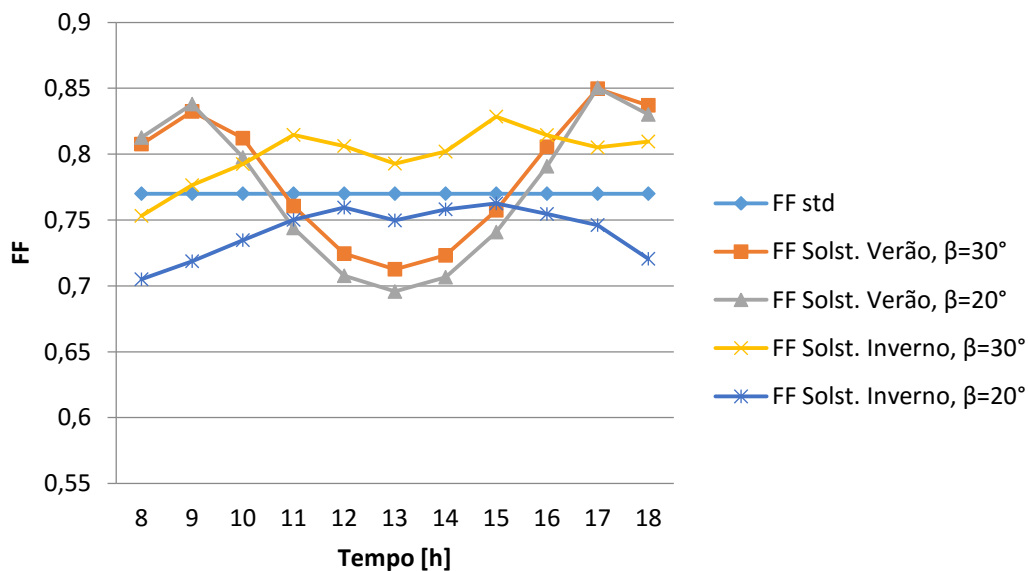


Figura 4 - Variação do fator de forma com a temperatura de célula em relação ao fator de forma na condição padrão para as células de silício monocristalino

Na Fig. 4, é possível ver que, no solstício de verão, há maior variabilidade do fator de forma ao longo do dia. Para as duas inclinações simuladas, as curvas para esse dia apresentam pouca diferença, havendo uma tendência a valores menores de fator de forma para o painel inclinado a  $20^\circ$ , ou seja, mais voltado ao Sol. O fator de forma varia mais significativamente com a inclinação do painel no solstício de inverno. Para a inclinação de  $20^\circ$ , ou seja, com a face geradora menos voltada ao Sol nesse dia, a curva do fator de forma permanece abaixo do fator de forma *standard* da

célula. Ao inclinar-se o painel a 30°, a curva do fator de forma permanece abaixo do fator de forma *standard* somente na primeira medida, que corresponde à primeira hora de irradiação no painel. A temperatura da célula na inclinação de 30° é relativamente maior que a 20°, devido à maior quantidade de irradiação, que contribui para o aquecimento da célula, de acordo com a Eq. (13). Porém, a maior disponibilidade de irradiação acaba gerando potência suficiente a ponto de se sobrepor às perdas térmicas, o que evidencia-se na tendência da curva do fator de forma com o painel inclinado a 30° manter-se acima do fator de forma *standard* durante a maior parte do dia.

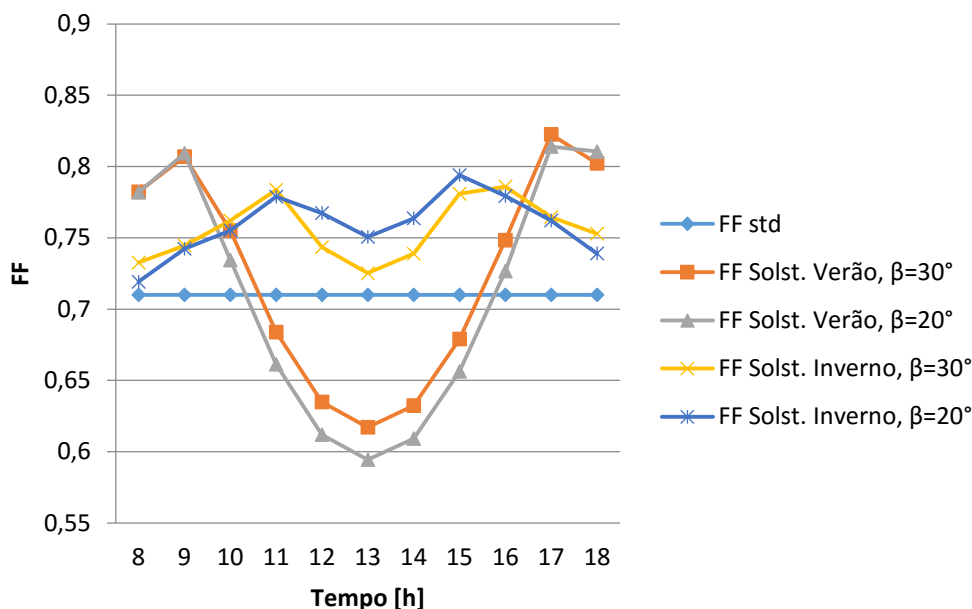


Figura 5 - Variação do fator de forma com a temperatura de célula em relação ao fator de forma na condição padrão para as células de silício multicristalino

Mantendo a análise para o solstício de inverno, correlacionando com a análise anterior, a curva do fator de forma para o silício multicristalino, nesse dia, mantém-se acima do fator de forma *standard* para as duas inclinações. Porém, o que se percebe é que, ao inclinar o painel a 30°, ou seja, deixá-lo mais voltado ao Sol, há uma pequena queda no fator de forma em relação à inclinação de 20°. Nesse caso, as perdas térmicas, referentes à variação dos coeficientes térmicos da célula, tornam-se relevantes. Além disso, no solstício de verão, há uma variabilidade muito maior do fator de forma, denotando suscetibilidade desta célula à variabilidade térmica.

## 6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS PARA AS DUAS TECNOLOGIAS SIMULADAS

Na simulação feita para a célula de silício monocristalino analisada, com o painel inclinado a 20°, houve maior produção de energia que com inclinação de 30°. A Fig. 2 ilustra essa diferença. A maior presença de radiação resultante nessa inclinação é mais favorável para a produção de energia, mesmo que resulte em maiores perdas térmicas, conforme ilustrado na Fig. 4, em que a curva do fator de forma para  $\beta=20^\circ$  apresenta valores menores. Nesse caso, em que há uma quantidade maior de radiação disponível, as perdas térmicas mostram-se irrelevantes frente à produção de energia. Além disso, a máxima produção de energia, entendida aqui como o ponto de inflexão das curvas representadas nos gráficos das Fig. 4 e 5, é mais suscetível à variação do ângulo de inclinação do painel para o silício monocristalino. Na Fig. 5, não é notável essa diferença, referente ao silício multicristalino. Lorenzo (1991) ratifica que a variação da tensão de circuito aberto é mais relevante que a variação da corrente de curto circuito na eficiência da célula. Levando-se em conta que a queda de eficiência devido ao aquecimento no silício monocristalino é menor, visto que sua queda de tensão de circuito aberto com o aumento da temperatura é menor que a do silício multicristalino, a perda de eficiência por aquecimento mostra-se pouco relevante frente à presença da radiação, sendo essa a provável causa da maior suscetibilidade à produção de energia por parte do silício monocristalino nesse dia.

No solstício de inverno, há tipicamente temperaturas do ar mais baixas e menor presença de radiação na região de Porto Alegre – RS. Menor presença de radiação resulta em menor produção de energia, mas, mesmo em períodos de mais baixa produção, há perdas térmicas que, por sua vez, influenciam na eficiência de conversão de energia. Isso evidencia-se na menor produção de energia por parte do silício monocristalino – de eficiência tipicamente maior - nesse dia. A diferença, mesmo que pequena, é ainda assim favorável a uma tecnologia de menor custo. Verifica-se nesse dia que o fator de forma varia significativamente com a inclinação do painel, mostrando-se superior ao fator de forma *standard* durante a maior parte do dia na inclinação de 30°, o que não ocorre em inclinação de 20°, como evidencia-se

na Fig. 4. Nessa inclinação, o fator de forma permanece abaixo do fator de forma *standard* o dia todo. A 20°, o painel está com sua face geradora menos voltada ao Sol, resultando numa produção de energia inferior, a ponto de as perdas térmicas tornarem-se mais relevantes.

No solstício de inverno, o fator de forma do silício multicristalino se mantém superior ao fator de forma *standard* para ambas as inclinações. Na inclinação de 20°, ou seja, com os módulos menos voltados ao Sol, o fator de forma apresentou um pequeno ganho em relação à inclinação de 30°, ao contrário do ocorrido com o silício monocristalino.

O aproveitamento de energia para as duas tecnologias decélulas, relacionado no fator de forma ilustra-se nas Fig. 6 e 7.

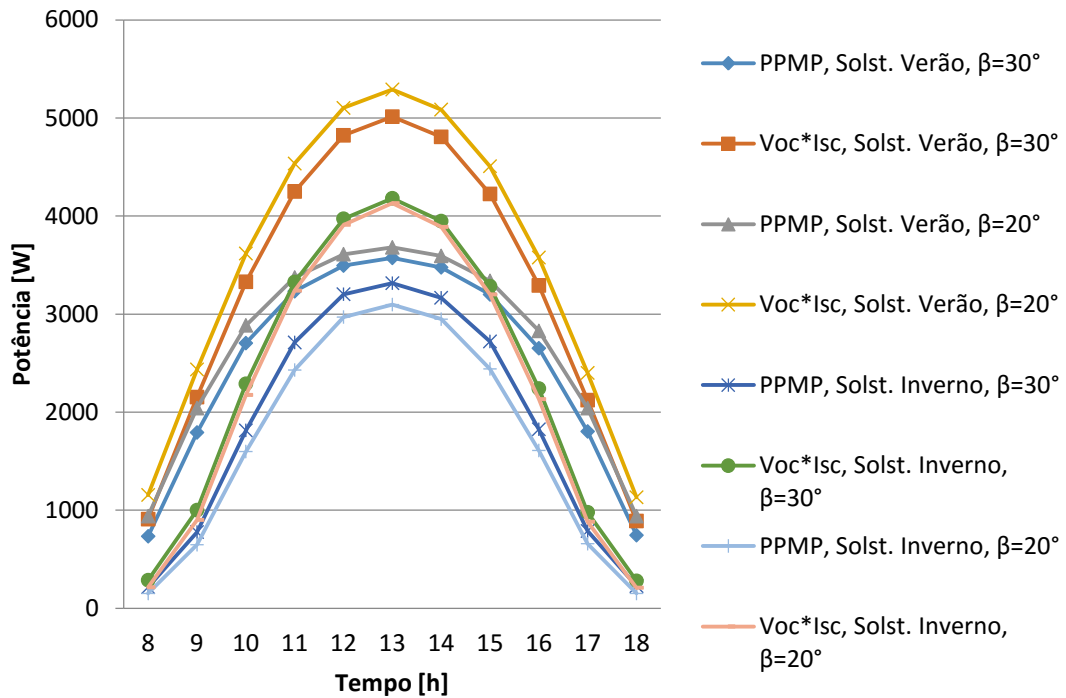


Figura 6 - Curvas do ponto de máxima potência e do produto  $V_{oc}I_{sc}$  para os dois solstícios e inclinações do painel simulados, para a tecnologia de silício monocristalino

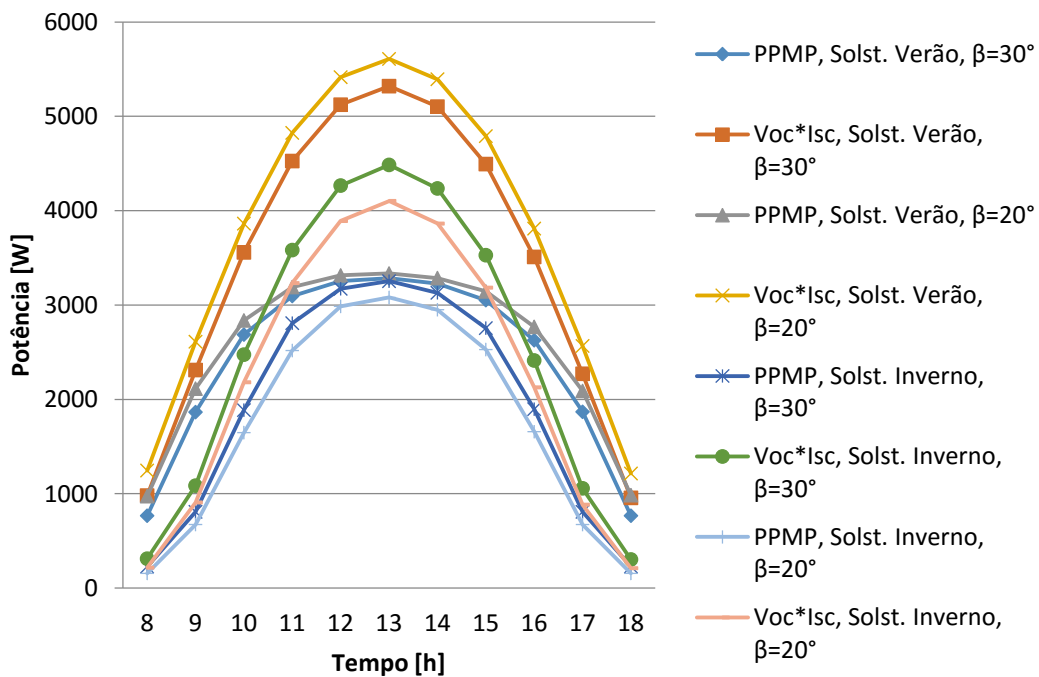


Figura 7 - Curvas do ponto de máxima potência e do produto  $V_{oc}I_{sc}$  para os dois solstícios e inclinações do painel simulados, para a tecnologia de silício multicristalino

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pôde-se perceber que, das duas tecnologias de células analisadas, a causa para a menor produção por parte do silício multicristalino é sua maior tendência a perdas térmicas, que se sobrepõem sobre a geração de energia. A menor disponibilidade de radiação, ocorrente no solstício de inverno no presente estudo, resulta em uma produção de energia mais favorável pelo silício multicristalino, que, com inclinação de 20°, acaba sendo ainda mais favorável que a produção sob mesma inclinação pelo silício monocristalino.

Simulações com períodos maiores, levando-se em conta a presença de nuvens e consequente menor quantidade de radiação, características recorrentes em regiões de maiores latitudes, assim como a região de Porto Alegre, devem esclarecer se a produção de energia numa instalação com módulos de silício multicristalino pode ser uma alternativa mais viável, devido aos custos relativamente menores dos módulos com essa tecnologia e a produção tender a se equiparar ou mesmo superar a produção do silício monocristalino nesse tipo de situação.

Pôde-se perceber que a variação dos parâmetros de radiação e temperatura do ar é determinante para a produção de energia pelo painel, e o quanto essa variação ocorre depende da magnitude dos coeficientes térmicos de cada módulo. Uma análise de mais tecnologias de célula, de fabricantes diferentes, que apresentem coeficientes térmicos variados, deve ser feita a fim de verificar se essa tendência ocorre em demais tecnologias.

### Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio prestado a este e demais estudos realizados pela equipe.

## REFERENCIAS

- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 2006. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- Hottel, H. C., 1976. A Simple Model for Estimating the Transmittance of Direct Solar Radiation Through Clear Atmospheres, Solar Energy, vol. 18. pp. 129 – 134.
- Lorenzo, E., 1991. Eletricidad Solar Fotovoltaica, Universidad Politecnica de Madrid.
- Perez, R., Ineichen, P., Seals, R. 1990. Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance, Solar Energy, vol. 44, n. 5, pp. 271 – 289.
- Rigollier, C., Bauer, O., Wald, L., 1999. On the Clear Sky Model of the ESRA – European Solar Radiation Atlas – with Respect to the Heliosat Method, Solar Energy, vol. 68, n. 1, pp. 33 – 48.
- Rossa, C.H., Dias, J.B., Karnas, G.A.M. 2013. Evaluation of energy produced by grid-connected photovoltaic systems in Porto Alegre – Brazil, Materials and Processes for Energy: Communicating Current Research and Technological Developments, vol. 1, pp. 45- 51.

## ESTIMATE OF THERMAL LOSSES IN ENERGY PRODUCTION OF TWO CELL PHOTOVOLTAICS TECHNOLOGIES

**Abstract.** *Considering the growing possibility of inserting photovoltaic systems connected to the grid (SFCR) in Brazilian homes, simulations on the behavior of the system and the amount of energy delivered to the grid are required. In those circumstances, we evaluated the production of energy between two different technologies on specific days of the year - winter and summer solstices -, with computational estimates. Two factors on computational analysis are taken into account: air temperature and irradiance. The irradiance is calculated by the Hottel model for clear sky, and the air temperature was obtained in the INMET. We analyzed the power generated by the module in operation every hour compared to the power at standard condition, as well as the variation of the fill factor on different days analyzed and two angles of installation. From the two simulated technologies, it was found that the multicrystalline silicon is more vulnerable to temperature variations, so that, in the simulation for the winter solstice, energy production tends to equate to the monocrystalline silicon, suggesting that this technology can be a cheaper alternative in places where there are predominantly low irradiance and milder temperatures.*

**Key Words:** Solar Photovoltaic, Thermal Losses, Computational Estimation, SunnyDays