

**INFLUÊNCIA DA DIREÇÃO DE PLACA SOLAR NA GERAÇÃO DE ENERGIA.**

**Guilherme Botega Torsoni,**  
**IFMS, Naviraí,**  
**guilherme.torsoni@ifms.edu.br**

**João Pedro Kikuta Miranda,**  
**IFMS, Naviraí,**  
**joaopedrokikuta@gmail.com**

**Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido,**  
**IFMS, Naviraí,**  
**lucas.aparecido@ifms.edu.br**

**RESUMO**

Nos últimos anos observou-se um grande aumento na utilização de energia elétrica tanto residencial quanto industrial. Com isso ficou impreverível a busca por outras formas de geração de energia, principalmente as renováveis. Neste fundamento a energia solar, que converte a luz do sol em energia elétrica, se destacou no Brasil e em algumas partes do mundo onde tem-se alta incidência de raios solares. Pesquisa da instalação de placas solares têm sido feitas para aumentar a geração de energia, e se tornar eficazes do ponto de vista econômico. A eficiência da placa solar é diretamente influenciada por sua orientação tanto azimutal quanto a inclinação. Fato este que se deve ao ângulo de inclinação alteram a radiação solar que atinge a superfície do coletor perpendicularmente. Neste trabalho investigou-se os parâmetros de orientação, otimizando o sistema para uma maior geração de energia. Ao final do trabalho a inclinação se mostrou divergente dos valores utilizados comercialmente na região de Naviraí. As orientações e o azimute que proporcionou a maior eficiência energética foram de  $12^{\circ}28'$  e  $50^{\circ}01'$ , respectivamente. Com essa orientação houve um aumento no desempenho das placas instaladas, em 16%, quando se comparada com placas instaladas pela orientação utilizada comercialmente.

**Palavras-chave:** Energia Solar; Orientação; Rendimento.

## 1 INTRODUÇÃO

A implementação e consolidação do uso da energia fotovoltaica como fonte viável para geração de energia elétrica, tem se intensificado ao longo dos últimos anos, tanto para instalações residenciais quanto industriais. Segundo Absolar (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) em 2019 o Brasil terá um aumento de 44% na capacidade energia solar instalada, alavancada principalmente pela redução nos custos de equipamentos fotovoltaicos e também pela Resolução Normativa nº 482, publicada em 17 de Abril de 2012 pela ANEEL, que regulamentou as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica (geração distribuída) e o sistema de compensação de energia elétrica “net metering”. O sistema de compensação baseia-se em créditos de energia (ANEEL, 2014).

Segundo FADIGAS (2012) o grande desenvolvimento nas características físicas das células solares têm impulsionado a pesquisa para a produção com materiais diferentes do silício monocristalino, que são habitualmente utilizados. Recentemente estão sendo estudados silício policristalino e amorfo, o arseneto de gálio e sulfeto de cádmio, dentre outros.

Todas as pesquisas têm como foco o aumento da eficiência na conversão de energia solar em energia elétrica. Com essa ideia determinação de uma inclinação ótima para instalação das placas pode produzir um incremento de sua eficiência energética e capacidade produtiva. Esse trabalho mostra que, mediante a orientação determinada experimentalmente, das placas instaladas na Região de Naviraí poderão ter melhor desempenho se comparadas com placas instaladas sem essas considerações.

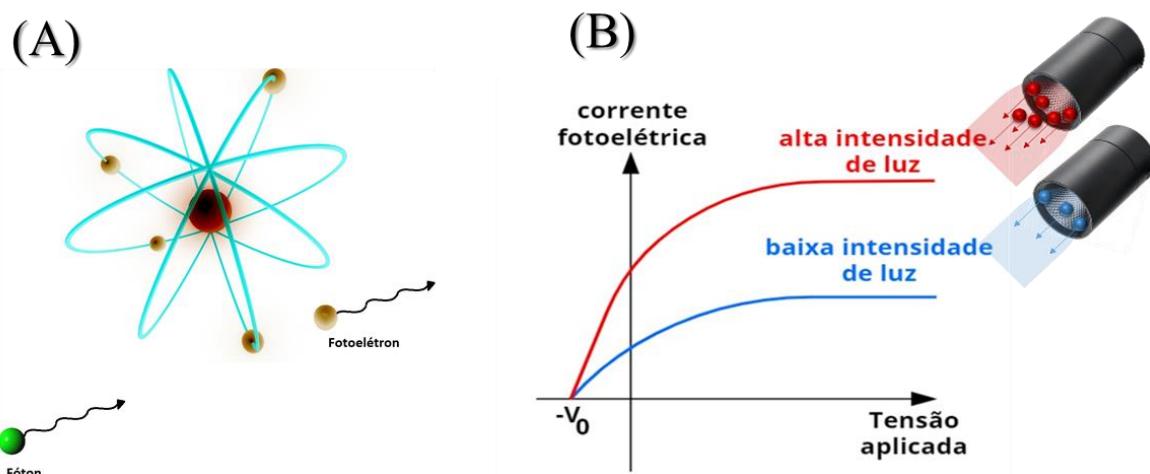
## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Com uma inclinação de  $23^{\circ}27'$  em relação ao Equador Celeste o planeta terra tem (ZEILIK; GAUSTAD, 1990) o que é chamado de obliquidade da eclíptica. Em função disso, obtém-se as estações do ano devido à divergência da inclinação solar que incide sobre a terra em decorrência de diferentes Latitudes. Por esse motivo a distância da Terra ao Sol varia em torno de 3% ao ano, sendo mais perto do Sol (periélio) entre as datas de 4 a 7 de janeiro e mais longe (afélio) entre 4 e 7 de julho (salvo os anos bissextos) (MORAN, 2012). A inclinação e distância em relação ao sol influenciam diretamente a radiação solar, sendo a

mesma descrita pelo efeito fotoelétrico.

O físico Albert Einstein foi o primeiro a descrever o efeito fotoelétrico completamente e recebeu o Prêmio Nobel por seu trabalho, esse descreve que a quantidade de fôtons incidentes sobre o material, colidem com os elétrons e usa parte de sua energia para desalojá-lo do átomo (Figura 1A), esses chamados de fotoelétron, que a quantidade de fotoelétron arrancados estão diretamente relacionados a quantidade de energia elétrica gerada pelo sistema (Figura 1B)(GOETZBERGER *et al.*, 2003) .

**Figura 1: (A) Esquema do efeito fotoelétrico, (B) Gráfico da corrente elétrica gerada pela quantidade de luz que chega ao material.**



**Fonte: Próprio autor**

A eficiência de conversão de energia de uma célula solar ( $\varepsilon$ ), é a porcentagem de energia convertida (a luz absorvida para geração de energia elétrica). Este termo é calculado usando a relação do ponto de potência máxima,  $P_m$ , dividido pela irradiação de luz de entrada,  $E$  ( $\text{W/m}^2$ ) e a área da superfície da célula solar  $A_c$  ( $\text{m}^2$ ), Equação 1 (QUEISSER; WERNER, 1955).

$$\varepsilon = \frac{P_m}{E \cdot A_c} \quad (1)$$

As orientações das placas solares, para uma maior transformação de energia, resultam em uma direção onde os raios solares devem incidir sobre a placa solar, de forma

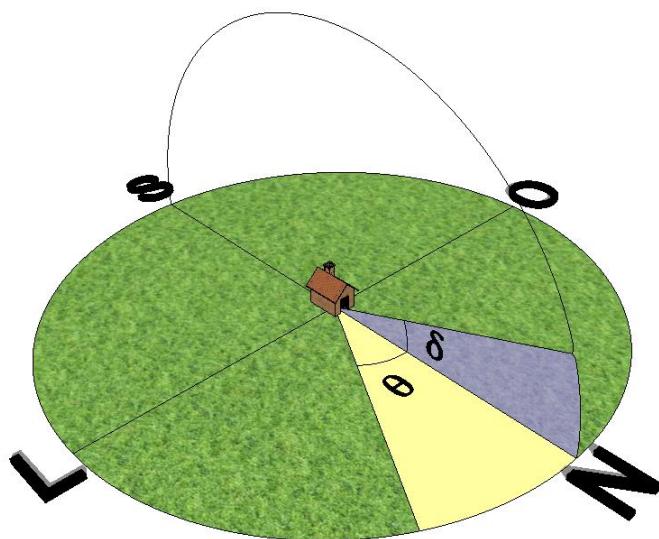
perpendicular (sombra zero), obtendo uma maior área para a incidência solar (GRANQVIST, 2007; RÜTHER; BRAUN, 2005).

Recentemente, existem vários modelos de padrões para orientações das placas solares disponíveis em periódicos e diversos dados de inclinações solares para a região do Brasil fornecida por diversas fontes, desde científico até comercial, uma forma teórica de calcular a inclinação do sol ( $\delta$  em graus) pelos dias do ano (n), pode ser vista na Equação 2 (BECKMAN; DUFFIE, 1980):

$$\delta = 23,45 \sin \left( \frac{2\pi(284+n)}{365} \right) \quad (2)$$

Um dos métodos comerciais encontrados para o hemisfério Sul, pode ser calculado através do ângulo de inclinação ser igual à latitude do local requerido e o azimute ( $\theta$ ) (Figura 2) apontando sempre na direção Norte (COLLE; PEREIRA, 1996; LIU; JORDAN, 1962). A utilização desses métodos podem apresentar algum desvio e uma maneira de amenizar esses erros é por meio dos ajustes dos modelos de simulação (CAMPOS; ALCANTARA, 2013; GOPINATHAN, 1990; DAVE, 1977).

**Figura 2: Esquema de medida do azimute ( $\theta$ ) e da inclinação solar ( $\delta$ ).**



**Fonte:** Próprio autor

### 3 METODOLOGIA

As medidas foram obtidas no Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Naviraí, localizado especificamente na Latitude 23°04'S e Longitude 54°12'W (Figura 3).

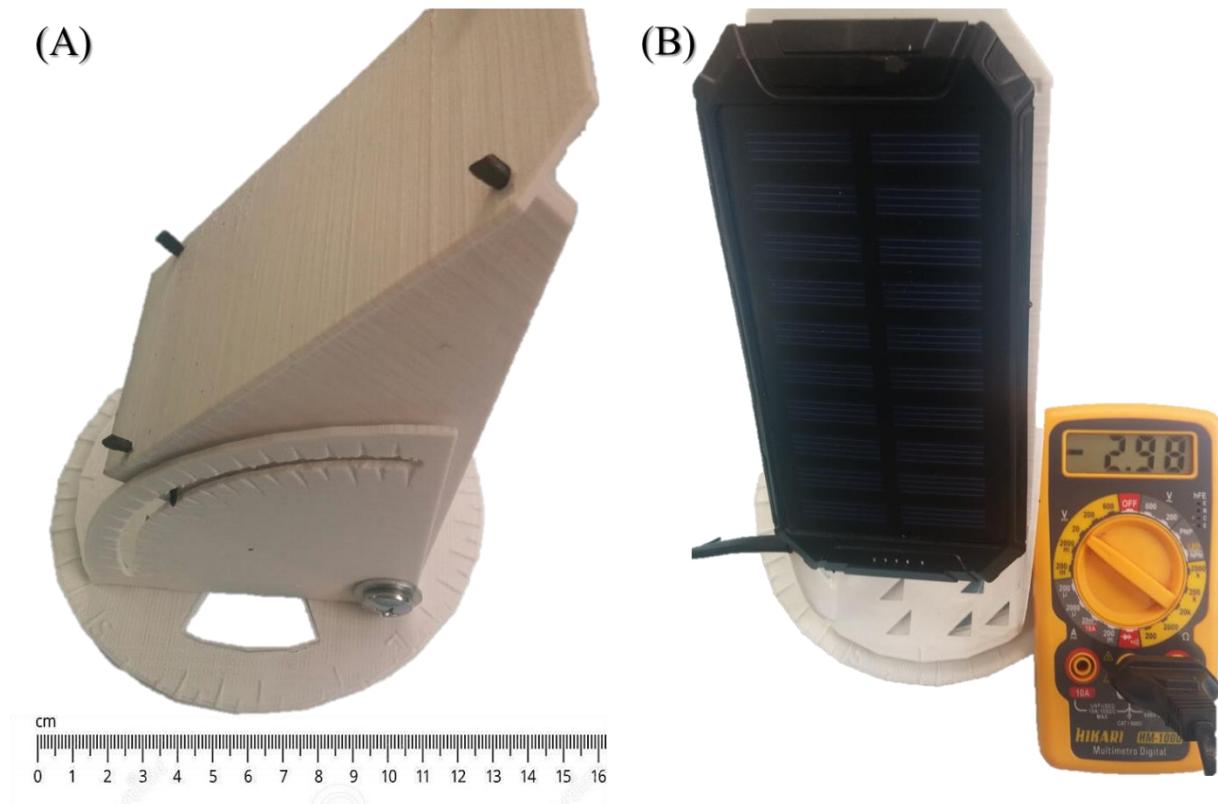
**Figura 3: Localização geográfica da região de Naviraí, Cone Sul do Mato Grosso do Sul.**



**Fonte: Próprio autor**

Para realizar as medidas utilizou-se uma placa solar, retirada de carregador solar para celular comercial, com voltagem máxima de 6V e corrente elétrica de 4000mA/h. Acoplou-se a placa solar a um suporte, projetada e fabricada em uma impressora 3D modelo GT Max3D Pro Core H4 + impressa em material plástico de poliácido láctico (PLA), proporcionando ajustar a orientação do eixo com relação a referência adotada (Figura 4A). O equipamento de medida é composto por um multímetro digital Hikari modelo HM-1000, que realiza medida de tensão (Figura 4B).

**Figura 4: (A) Suporte produzido em uma impressora 3D, (B) Sistema de medidas montado.**



**Fonte: Próprio autor**

Foram aferidas tensões nas inclinações de 67° e 60°, com relação a horizontal. Também foram aferidas as tensões em sombra zero (ausência de sombras - incidência perpendicular), para comparar como o padrão. Vale a pena ressaltar, que em sombra zero, o azimute pode variar em relação ao norte. As aferições foram realizadas durante três vezes ao dia, nos horários de 9h:20min, 11h:40min, e às 15h:20min, diariamente durante o decorrer de um ano.

Com os dados coletados foram aplicados testes estatísticos de posição (média). Também foram ajustados modelos de regressões não lineares (Sigmoidal e Gaussiano) usando o Solver do Excel.

#### **4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS**

Com base nos dados coletados, foram feitas as análises das médias da inclinação e do Azimute, com relação a horizontal e a direção Norte respectivamente. No inverno notou-se

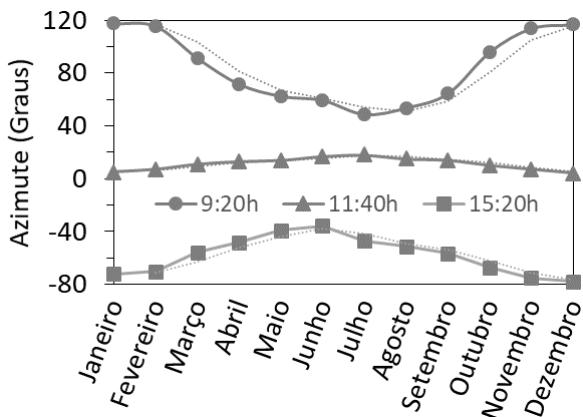
# III Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação

## 10 a 13 de setembro de 2019 | Naviraí - MS



que o azimute para as 9:20 e 15:20 se aproximaram nitidamente do Norte, enquanto que no verão, ambos demonstraram azimutes elevados. Por sua vez, para o azimute das 11:40 não houve uma grande variação no decorrer do ano (Figura 5).

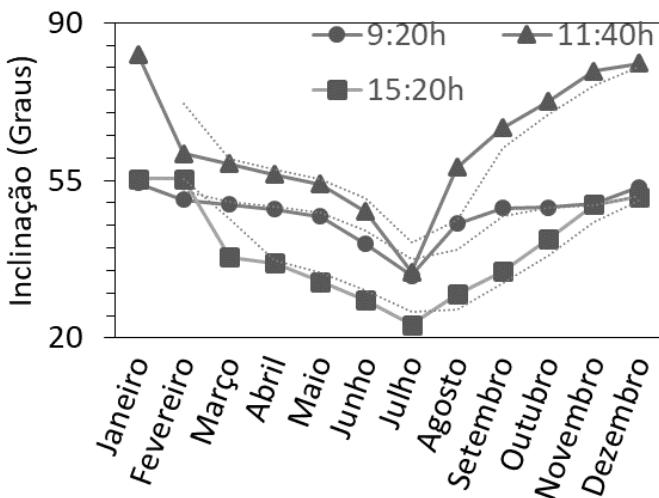
**Figura 5: Gráfico da média do Azimute mensal com relação ao Norte.**



**Fonte: Próprio autor**

No verão entre os meses de Novembro a Fevereiro notou-se uma maior inclinação para todos os horários, sendo valores maiores que  $50^\circ$ , os dias mais longos e há maior intensidade radiação solar (Figura 6). Por outro lado, para os meses de Junho a Agosto foi observado os pontos de mínimo,  $45^\circ$ ,  $57^\circ$  e  $29^\circ$  para os horários 09:20, 11:40 e 15:20h, respectivamente, devido ao hemisfério de inverno, e consequentemente as alturas são menores e os dias mais curtos.

**Figura 6: Gráfico da média de Inclinação com relação Horizontal.**



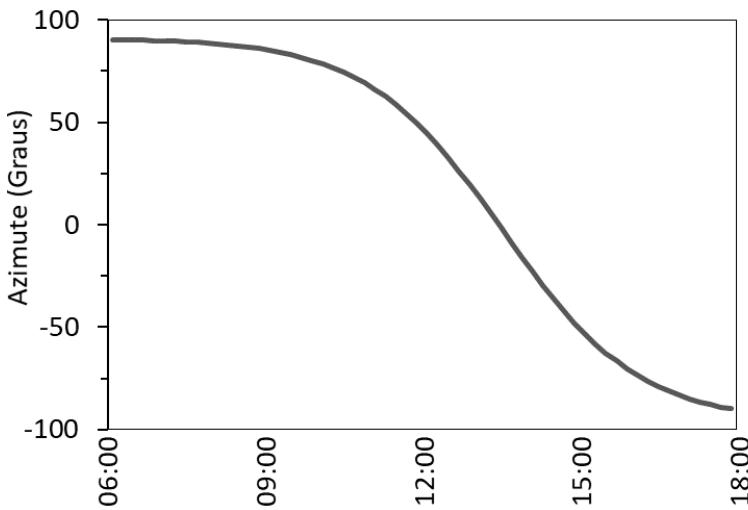
**Fonte: Próprio autor**

O ajuste da trajetória solar na média anual com relação aos horários (Figura 7) demonstrou que a linha do Azimute apresenta uma tendência Sigmoidal (Equação 3), sendo que a maior taxa de crescimento foi de 62° e ocorreu as 13:26h. No início e final do dia o azimute resultou em uma orientação Leste e Oeste, respectivamente. A orientação Norte, que é a orientação padrão comercial, ocorreu as 13:35h.

$$A_z = 91,07 + \frac{91,07+96,19}{1 + \left(\frac{H}{0,56}\right)^{0,05}} \quad (3)$$

Onde, Az é o azimute (graus) e H a hora em decimal.

**Figura 7: Média anual do azimute no decorrer de um ano em função dos horários diários.**



**Fonte:** Próprio autor

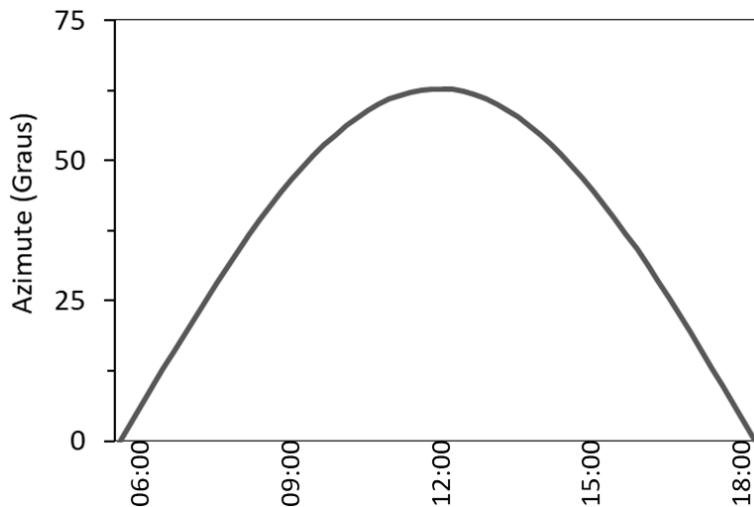
A tendência da curva de inclinação com relação a horizontal foi ajustada pela curva Gaussiana (Equação 4).

$$I_n = -90,59 + \frac{93,66 \cdot e^{\frac{-4 \cdot \ln(2)(H-0,50)^2}{0,49^2}}}{0,49 \sqrt{\frac{\pi}{4 \cdot \ln 2}}} \quad (4)$$

Onde, In é a inclinação (graus) e H a hora em decimal.

A maior inclinação (pico) da placa solar ocorreu às 12:12h com um valor de 62°48' com relação a horizontal (Figura 8). O ajuste da curva se demonstrou acurado uma vez que o início e término do dia, também conhecido como nascer e pôr do sol, foi conveniente com os horários pré-definidos pelo INPE. O modelo ajustado evidenciou que os horários de nascer e pôr do sol ocorrem às 06:08h e 18:12h, respectivamente.

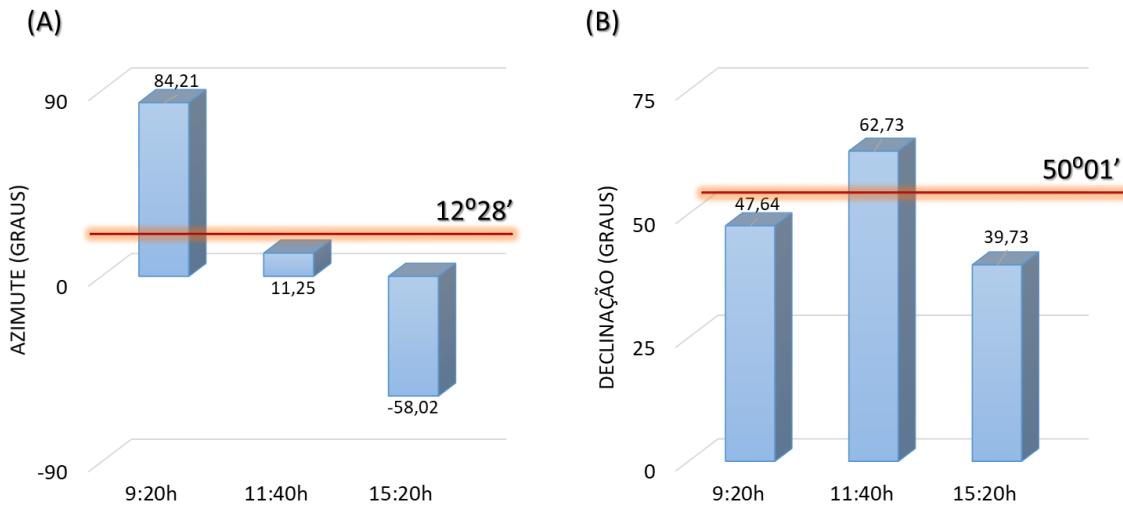
**Figura 8: Média anual da inclinação solar no decorrer de um ano em função dos horários diários.**



**Fonte: Próprio autor**

A média dos dados obtidos na condução do experimento (Figura 9) foram diferentes dos valores que são utilizados comercialmente. Os valores de azimute ideal foram de 12°28' (Figura 9A), enquanto o comercial relatava 0° (direção Norte) e de inclinação foi de 50°01' (Figura 9B,) entretanto comercial indicava 23°04', orientações essas que repercutiu em um ganho de aproximadamente 16% na geração de energia, o que pode ser considerada um grande ganho financeiro com o passar dos anos.

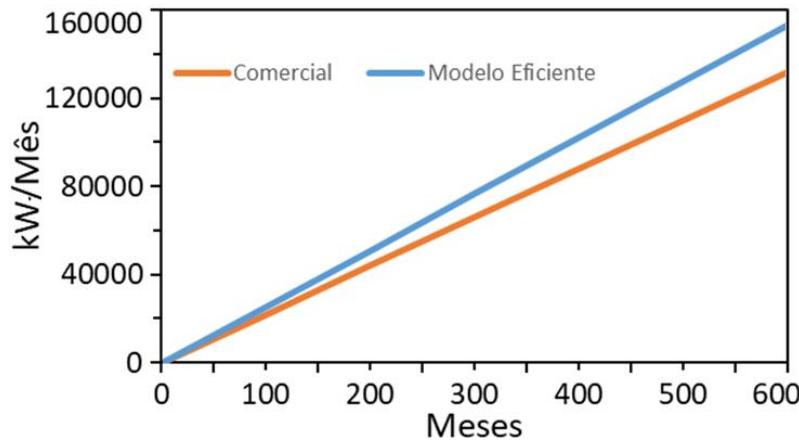
**Figura 9:** Média anual para (A) Azimute e (B) Inclinação, para diferentes horários.



**Fonte:** Próprio autor

Realizando uma estimativa ao longo de 25 anos que é o período mínimo de garantia de uma placa solar, para uma residência convencional com um consumo de 220 kwh por mês, essa inclinação representaria uma diferença de 21.120kW (Figura 10), se comparado a inclinação comercial. Realizado os cálculos para moeda corrente, segundo Energisa, companhia de distribuição de energia elétrica do Mato Grosso do Sul, a tarifa é de 0,54768 R\$/kWh, renderia um valor de R\$11.567,00 nos valores atuais, no final de 25 anos se comparado a orientação comercial com a do modelo calculado no presente trabalho.

**Figura 10:** Gráfico do rendimento entre a geração de placa solar com inclinação comercial e com inclinação do modelo eficiente calculado neste trabalho.



**Fonte:** Próprio autor

## 5 CONCLUSÕES

A orientação se revelou divergente dos valores utilizados comercialmente na região de Naviraí. As orientações e o azimute que propiciou maior eficiência energética foram de 12°28' e 50°01', respectivamente.

A diferença dos valores em relação ao padrão comercial proporcionou uma melhoria de 16% na geração de energia.

Para uma geração de 220kW/mês, em um período de 25 anos, essa eficiência demonstrou uma diferença de 21.120kW que se convertido em valor real estima-se R\$11.567,00 se comparado a orientação comercial com o modelo calculado.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL, C. T. Micro e minigeração distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF, Brasil: Centro de Documentação—**Cedoc**, 2014.
- BECKMAN, W.; DUFFIE, J. **Solar engineering of thermal processes**. 3rd ed. New York: Wiley and Sons. 1980.
- CAMPOS, M. S.; ALCANTARA, L. D. S. **Programa para o cálculo da variação da direção de incidência dos raios solares ao longo do ano**. COBENGE. 2013.
- COLLE, S.; PEREIRA, E. B. **Atlas de Irradiação Solar do Brasil**. Florianópolis: LABSOLARINMET, 1996.
- DAVE, J. **Validity of the isotropic distribution approximation in solar energy estimations**. *Solar Energy*. V.19, 1977.
- FADIGAS, E. A. F. A. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo. 2012.
- GOETZBERGER, A.; HEBLING, C.; SCHOCK, H.W. “Photovoltaic Materials, History, Status and Outlook,” **Materials Science and Engineering**. v.40, p.1-46, 2003.
- GOPINATHAN, K. Solar radiation on inclined surfaces. **Solar Energy**. v.45, 1990.
- GRANQVIST, C. G. Transparent conductors as solar energy materials: a panoramic review. **Sol. Energy Mater. Sol. Cells**. v. 91, p.1529–1598, 2007.

# III Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação

10 a 13 de setembro de 2019 | Naviraí - MS



LIU, B.; JORDAN, R. **Daily insolation on surfaces tilted towards the equator**. Trans ASHRAE. V.67, 1962.

MORAN, J.M. Climate Studies. Introduction to Climate Sciences. **Amer. Meteor. Soc.** 525p. 2012.

QUEISSER, H. J.; WERNER J. H. Principles and Technology of Photovoltaic Energy Conversion, **Solid-State and Integrated Circuit Technology**, p. 146-150, 1995.

RÜTHER, R.; BRAUN, P. **Solar Airports. Refocus**, Inglaterra, p.30-34, 2005.

ZEILIK, M.; GAUSTAD, J. **Astronomy - The Cosmic Perspective**, John Wiley and Sons, New York. 1990.