

Capítulo IV – Análise da Irradiação para Instalação de um Sistema Fotovoltaico “On-Grid” em Londrina: Definindo a Orientação e Inclinação.

Willian Henrique da Silva¹²

Marco Aurelio Arbex¹³

Wesley Cândido da Silva¹⁴

RESUMO

Dentre as fontes de energia mais utilizadas nas ultimas decadas, destaca-se a hibrida, carvão e petroleo, porém, são fontes de energia não renováveis e finitas. Na constante busca de outras alternativas, a energia solar foi também se destacando e anualmente vem se desenvolvendo e crescendo. Este trabalho, desmonstra os resultados alcançados a partir da coletas de dados na cidade de Londrina/Pr e com o auxilio do software *Solaris-PV*, foram testados os niveis de aproveitamento da irradiação de um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica com diferentes orientações e fixando o valor da inclinação igual a latitude. Atraves destas simulações, foram elencados os cenários ideias para tal instalação.

Palavras-chave: Fotovoltaico. Energia Solar. Software.

¹² Formando do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial – Faculdade da Indústria SENAI Londrina

¹³ Docente da Faculdade da Indústria Senai Londrina. E-mail: marco.arbex@sistemafiep.org.br

¹⁴ Orientador - Docente da Faculdade da Indústria SENAI Londrina. E-mail: Wesley.candido@sistemafiep.org.br

IRRADIATION ANALYSIS FOR THE INSTALLATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM ON GRID IN LONDRINA: DEFINING YOUR ORIENTATION AND INCLINATION.

ABSTRACT

Among the most used energy sources in the last decades, we highlight hybridity, coal and oil, however, are non-renewable and finite energy sources. In the constant search for other alternatives, solar energy has also stood out and annually has been developing and growing. This work demonstrates the results achieved from the data collection in the city of Londrina/Pr and with the help of the software Solarius-PV, were tested the levels of utilization of the irradiation of a photovoltaic system connected to the electric network with different orientations and fixing the value of the inclination equal to latitude. Through these simulations, the scenarios were listed ideas for such an installation.

Key-words: Photovoltaic. Solar Energy. Software.

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica está presente aos níveis sociais, econômicos e sustentáveis, integrando os recursos que proporcionam uma melhora na qualidade de vida daqueles que a usufruem (NÓBREGA *et al.*, 2018).

Infelizmente a energia elétrica não chega a todos e além disso, atualmente nossa matriz energética está fixada em fontes não renováveis, tais fontes como a híbrida, petróleo e carvão, fazendo com que aconteça a escassez (ARAUJO, 2019).

Dentre as fontes de energia elétrica, encontra-se a energia solar fotovoltaica, disponibilizada abundantemente, superando aproximadamente cerca de 1.000 vezes do consumo mundial, porém, existem oscilações no fluxo de irradiação, devido a diferentes sazonalidades, latitudes e condições atmosféricas (BRADACZ, 2020).

O sistema de conversão fotovoltaica, promove diversos benefícios ao sistema elétrico e também ao meio ambiente, pois, além de possuir uma produção pontual, isso significa produzir no mesmo ponto de consumo, possibilita uma expansão da energia de forma descentralizada (BENEDITO; ZILLES, 2009).

A procura por sistemas fotovoltaicos no Brasil possui um aumento significativo, resultado da baixa nos valores e pela regulamentação da resolução normativa 482/2012 e suas atualizações (ARAUJO, 2019).

Um dado importante para entendimento do alto crescimento e penetração do assunto no meio nos últimos anos, já ultrapassam os 11500 MW de potência pico instalados em todo mundo, isso significa um crescimento anual de mais de 30% (SANTOS *et al.*, 2012).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é demonstrar, através de simulações em software, diferentes cenários de aproveitamento da irradiação para instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica paranaense, para que através deste, possa ser identificado qual melhor orientação e inclinação dos módulos fotovoltaicos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No ano de 1839 o físico Edmond Becquerel francês, observou que quando submetido à luz uma célula eletroquímica, gera uma diferença de potencial entre dois eletrodos, a partir deste conceito, em 1880 através de Charles Fritts são desenvolvidos os painéis solares e instalados em Nova Iorque sobre um telhado, porém em torno de 1940 surge a patente do produto juntamente com o trabalho de Russel Ohl, no qual os painéis solares passam a serem constituídos com junções p-n de silício, deste modo se tornando acessível e prático (LIMA *et al.*, 2020).

O setor de energia elétrica é um fator importante e contribui para a evolução social e econômica de um país, há uma correlação entre a aplicação e utilização da energia elétrica e determinados indicadores de desenvolvimento sociais, como a expectativa de vida, mortalidade infantil e analfabetismo (ALBUQUERQUE; MALDONADO; VAZ, 2017).

A energia solar, assim denominada, é a energia provinda do sol, podendo ser utilizada tanto por suas formas térmicas como por irradiação (BRADACZ, 2020).

Através do potencial solar, irradiado em um módulo, ocorre o chamado efeito fotovoltaico, que é a transferência ou movimentação dos elétrons (faixa de valência) para a faixa de condução, e esse ciclo de movimentos, se dá em materiais semicondutores, com propriedade de conduzir eletricidade (SANTINI *et al.*, 2019).

Este sistema em comparação com as mais diversas fontes de energia existentes, é destacado por ser um sistema praticamente silencioso, de fácil instalação, possui um baixo índice de manutenção comparado a outros sistemas de geração de energia e uma alta durabilidade (ANGELO; TIEPOLO, 2018).

Um sistema fotovoltaico on-grid, depende única e exclusivamente a sua conexão com a rede elétrica, pois, é através desta conexão que é realizado o repasse dos créditos da energia produzida em excesso pelo sistema a concessionária. Os créditos gerados pelo sistema são estabelecidos, através da diferença entre consumo e geração (BOSO *et al.*, 2015)

Na sua totalidade, um sistema depende sempre de estudos para definir qual melhor ângulo de inclinação e qual melhor orientação, pois, a produção em kwh do sistema está diretamente ligado a estes fatores (NÓBREGA *et al.*, 2018). Ainda é afirmado pelos autores que, na fase inicial de um projeto, deve-se tomar conhecimento

e atenção sobre os limites e intervalos de inclinação e orientação, afim de garantir um bom desempenho do sistema (NÓBREGA *et al.*, 2018).

Dentre os fatores importantes para garantir um bom aproveitamento e produção, os sistemas dependem também da temperatura ambiente e de produção no plano em que foram instalados, da radiação e derivações, da curva de desempenho do inversor e das perdas a serem consideradas (GASPARIN; KRENZINGER, 2017).

Segundo Angelo e Tiepolo (2018), para se obter a maximização da produção anual de energia através de um sistema fotovoltaico, este deve ser orientado em direção a linha do equador e seu ângulo em relação ao solo, deve ser igual a latitude local.

Segundo Nóbrega *et al* (2018, p.176) “Um ângulo de inclinação de 0° indica que o módulo está na posição horizontal, enquanto um ângulo de 90° significa posição vertical. Um azimute de 0°, 90°, 180°, 270° coincide com as orientações para o norte, leste, sul, oeste, respectivamente, para sistemas no hemisfério sul”.

Também, é necessário avaliar os níveis de sombreamento e definir se para aquela orientação e inclinação, além das zonas de potencial perigo, se as distancias entre fileiras de módulos estão corretas para assegurar de seu correto funcionamento (POTES; PROAÑO, 2020).

Inicialmente, a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, deu-se em centros urbanos e aos poucos foi também sendo migrado para o ambiente rural, onde a utilização dos sistemas isolados era a forma mais comum para garantir que mesmo em locais distantes dos grandes centros de distribuição, chegasse energia (ARAUJO, 2019). E também, segundo Santos *et al* (2012), em regiões rurais remotas da América central e Caribe, a utilização de pequenas fontes renováveis, representam uma opção econômica e sustentável para provisão de energia elétrica.

Comparado com outros países da União Europeia mais desenvolvidos no setor, o Brasil possui características favoráveis para tal expansão da geração solar fotovoltaica, seu índice de irradiação, que esta presente em todo território (1550 – 2372 kWh/m² ano), ultrapassam a Alemanha (900 – 1250 kWh/m² ano), França (900 – 1650 kWh/m² ano) e Espanha (1200 – 1850 kWh/m² ano) (MELO, 2012).

3. METODOLOGIA

A pesquisa realizada foi do tipo revisão bibliográfica com estudos e testes em software aplicado. Os estudos foram realizados para definir os fatores e níveis de aproveitamento da irradiação, de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, variando a inclinação e orientação.

Para definir o tema do artigo, foi realizado uma análise, primeiramente no conteúdo disponível na plataforma online (Google acadêmico) e após uma compilação das informações encontradas para um modelo de leitura digital.

Durante o processo de revisão, alguns outros artigos e informações complementares precisaram ser estudados, para aprofundar e melhorar as análises realizadas no software *SOLARIUS-PV*, como por exemplo, a realização do desenho 3D.

Além da construção bibliográfica, item fundamental, foi necessária uma visita técnica ao local previsto para instalação, situado em -23.31°S e -51.11°O , para coleta de informação e registro fotográfico para montagem do plano panorâmico.

Para coleta dos dados, um plano auto questionário foi realizado, como demonstrado abaixo, utilizando como base as informações obtidas na empresa OTTOSET ENERGY:

- Local possui alto nível de vegetação ou arboredo?
- Local necessita de terraplanagem ou a instalação será em telhado?
- Existe ramal da rede elétrica passando próximo a propriedade?
- Qual a área disponível para instalação do sistema?
- Foto do google Earth está atualizada com as condições vistas no local?
- Realizou a foto 360° do ponto central da futura instalação?
- Identificou o norte geográfico, visto do ponto central da futura instalação?

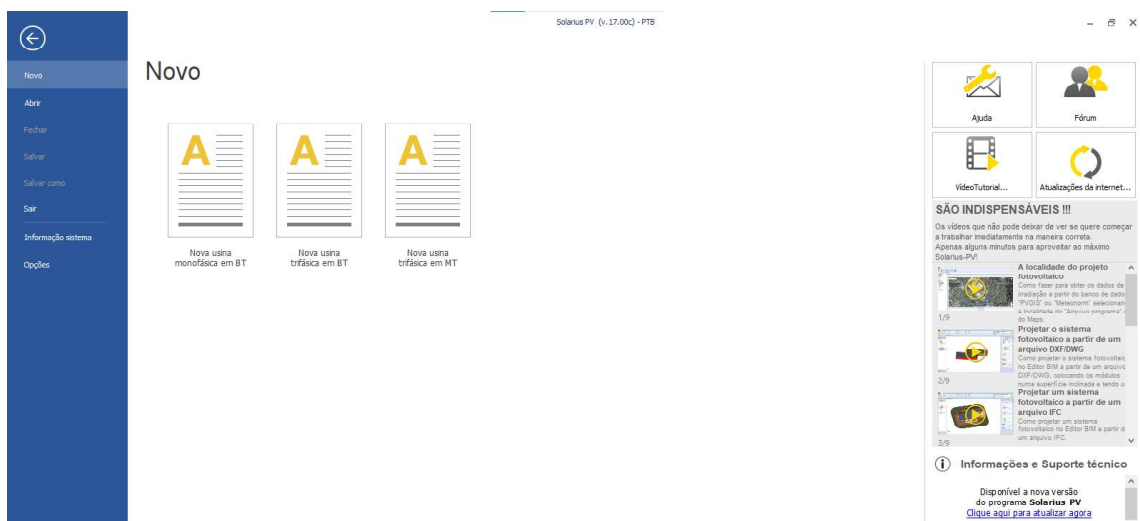
Por fim, todos os dados coletados, tanto por meio da revisão bibliográfica, quanto pela plataforma *SOLARIUS-PV*, foram estruturados para o modelo deste artigo.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O caso do estudo foi um local situado em uma área rural/urbana, localizado na zona leste da cidade de Londrina, Paraná.

Os dados coletados através da visita técnica, foram registrados no software *SOLARIUS-PV*, Figura 2, e serão apresentados a seguir, como forma de demonstrar os testes realizados e resultados obtidas.

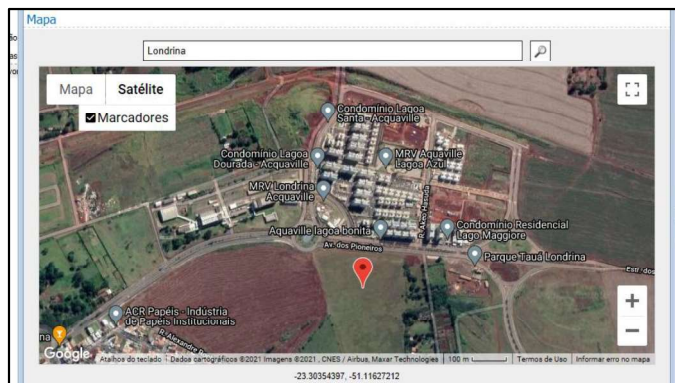
Figura 2: Interface inicial *SOLARIUS-PV*



Fonte: *SOLARIUS-PV* V.17 (2021)

Para tanto, a Figura 3 demonstra através do sistema *view* da plataforma, o ponto definido como referência de estudo e através deste, o software identifica as coordenadas geográficas, elevação do solo, índices de irradiação e metragem aproximada do local disponível para instalação.

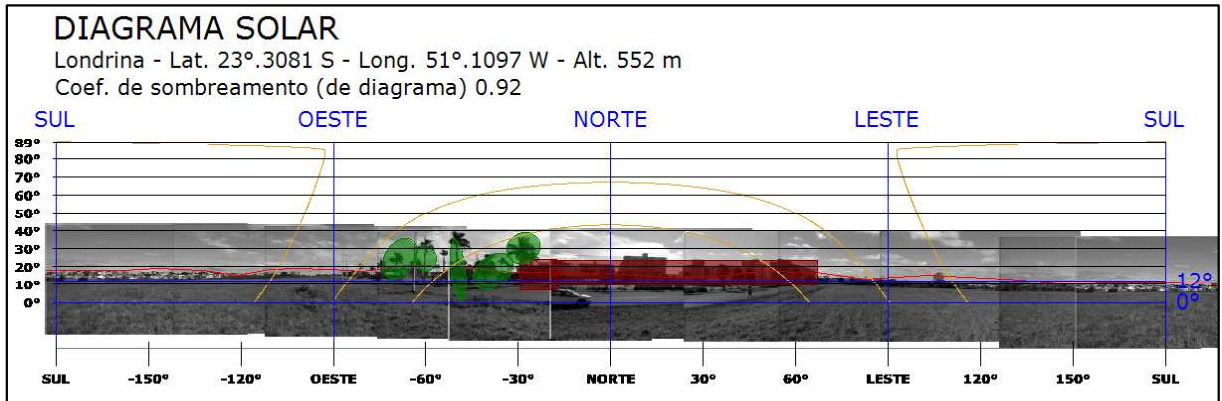
Figura 3: Localização do ponto escolhido para o estudo



Fonte: *SOLARIUS-PV* V.17 (2021)

Após análise e definição do local, foi necessário realizar a montagem da foto 360° (panorâmica) do ponto central da futura instalação, para que, através da imagem, o software pudesse calcular as perdas com relação ao sombreamento do horizonte, definição do ângulo de alcance (linha do olho e limite do horizonte) e curva do ângulo solar, como é demonstrado na Figura 4 e melhor visualizado o local na Figura 5.

Figura 4: Diagrama solar



Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

Figura 5: Rosa dos ventos no ponto central da futura instalação

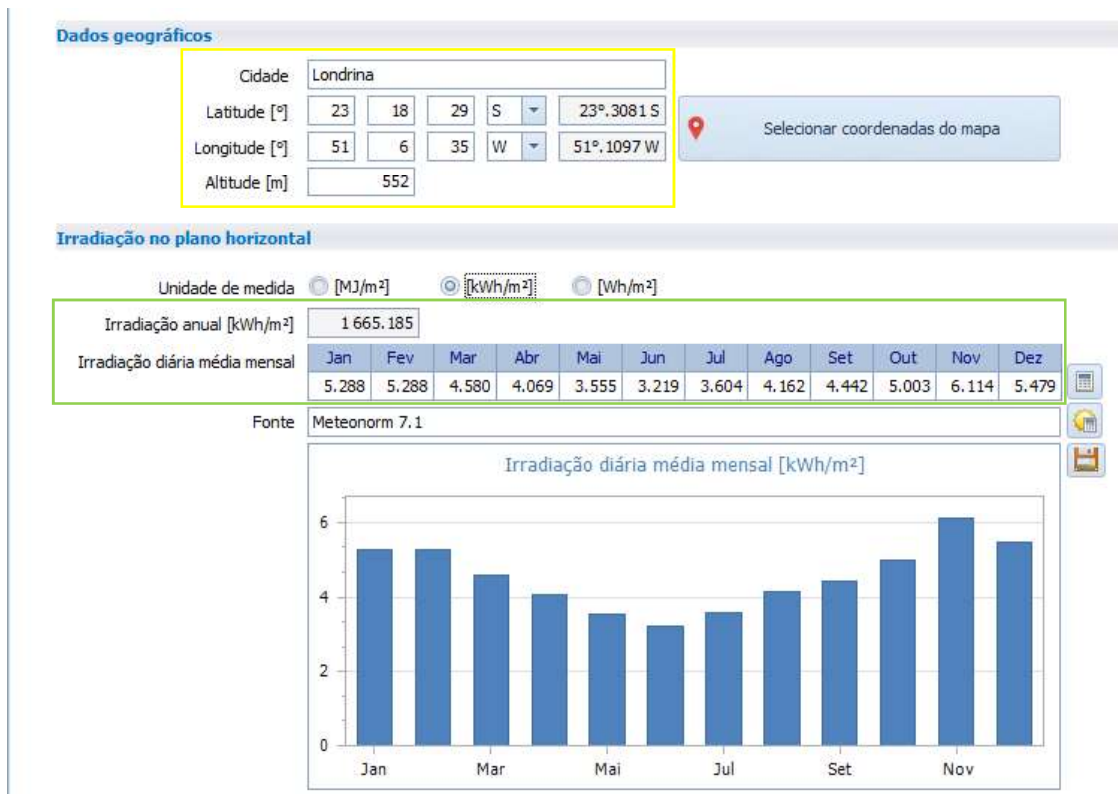


Fonte: Willian (2021)

Na Figura 6, é apresentado os dados solarimétricos (retângulo verde), sendo separados em irradiação anual [kWh/m²] e irradiação diária média mensal, assim como coordenadas (retângulo amarelo). Os valores de irradiação foram obtidos no software através do banco de dados do *Meteoorm 7.1*.

Segundo Melo (2012), “O Brasil apresenta características naturais favoráveis ao desenvolvimento da geração solar fotovoltaica. Os valores de irradiação solar incidente em qualquer região do país (1550 – 2372 kWh/m² ano)...”. Então, podemos confirmar que, o valor apresentado em irradiação anual, está dentro dos parâmetros indicados.

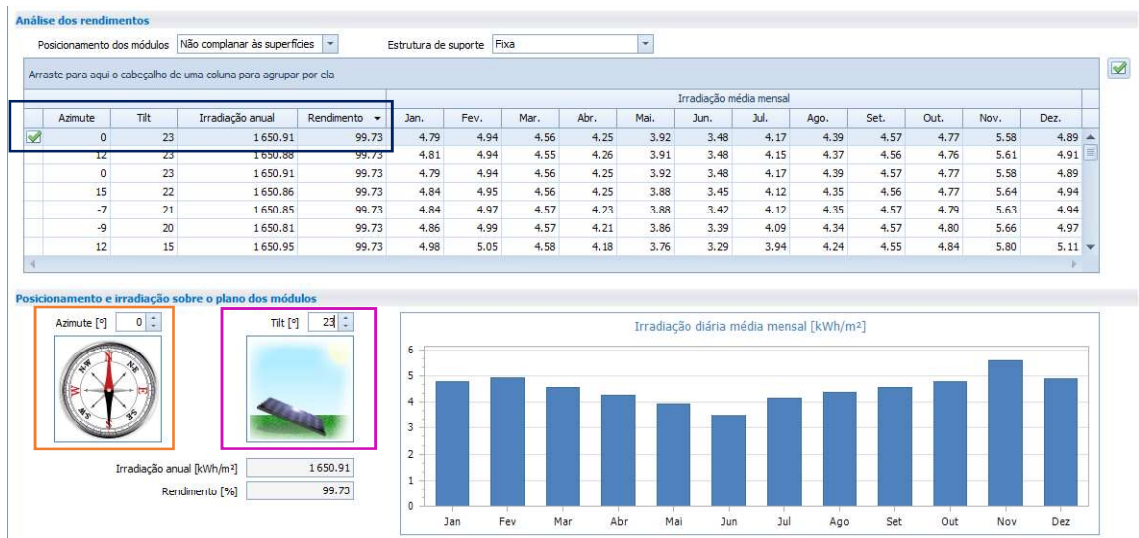
Figura 6: Índices de irradiação nas coordenadas



Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

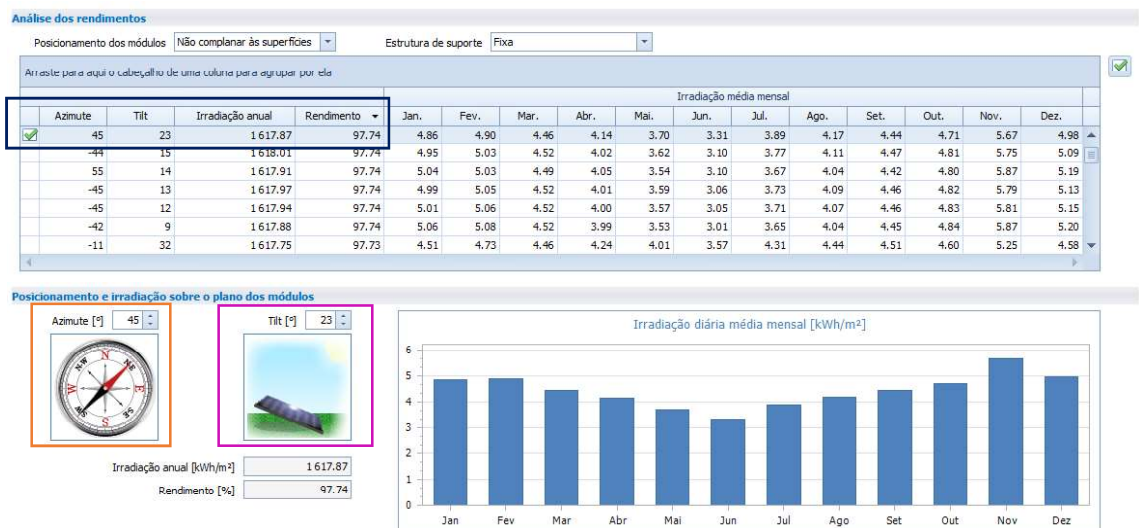
Os testes apresentados da Figura 7 até Figura 14, foram obtidos através das alterações de orientação (retângulo laranja) e fixando o valor da inclinação igual ao valor da latitude (retângulo rosa). Os resultados, acompanhados (retângulo azul escuro), mostram o rendimento do sistema em porcentagem, através de resultados instantâneos, podendo ser alterados rapidamente, gerando novos dados automáticos a cada alteração.

Figura 7: Valores obtidos com 0° azimutal e 23° de inclinação



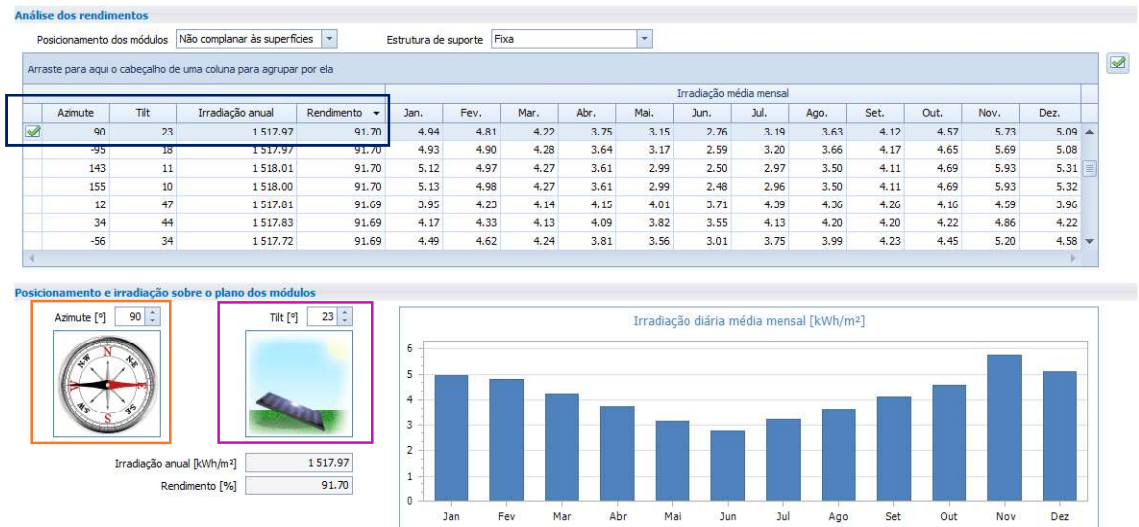
Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

Figura 8: Valores obtidos com 45° azimutal e 23° de inclinação



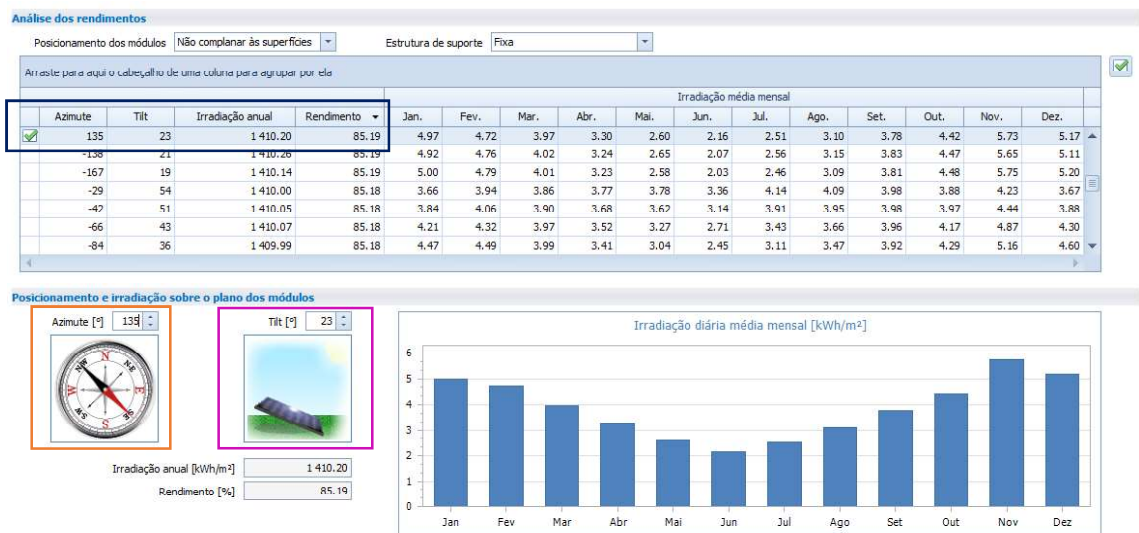
Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

Figura 9: Valores obtidos com 90° azimutal e 23° de inclinação



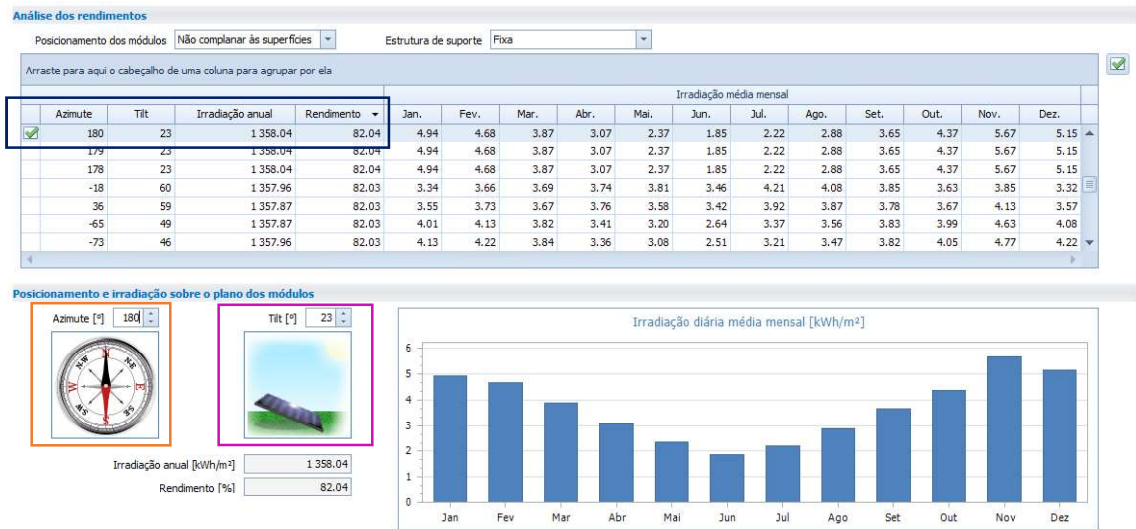
Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

Figura 10: Valores obtidos com 135° azimutal e 23° de inclinação



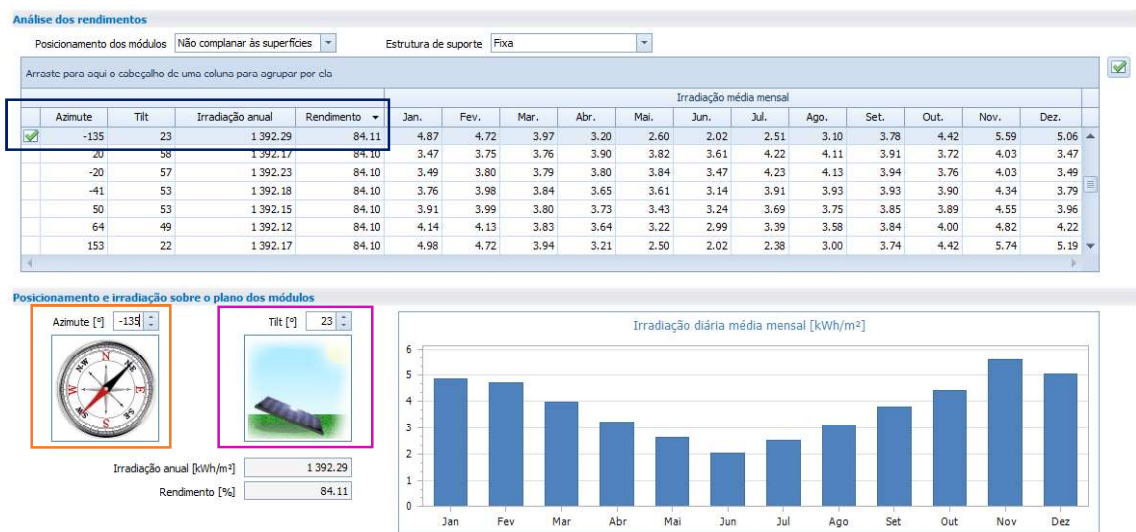
Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

Figura 11: Valores obtidos com 180° azimutal e 23° de inclinação



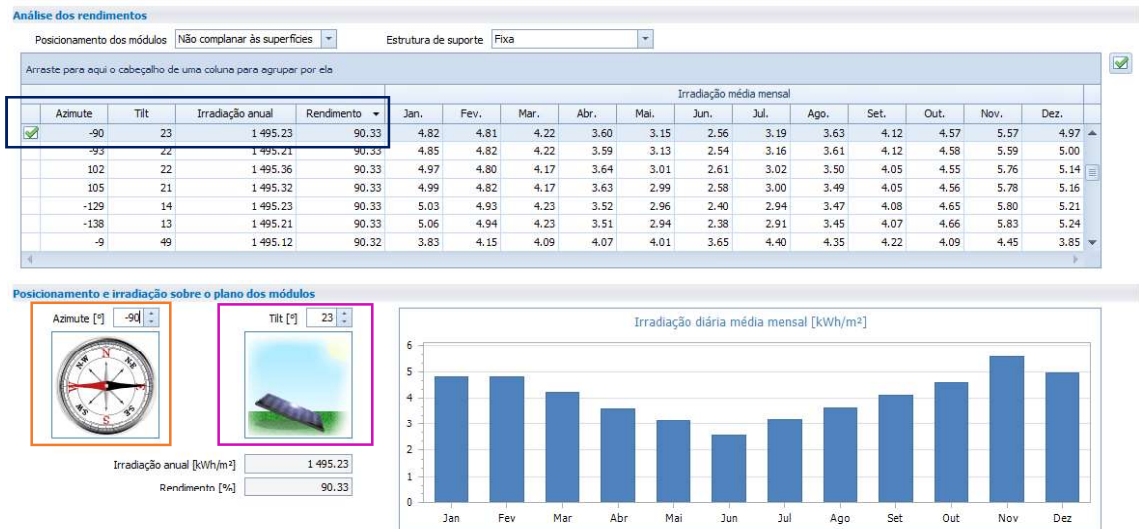
Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

Figura 12: Valores obtidos com -135° azimutal e 23° de inclinação



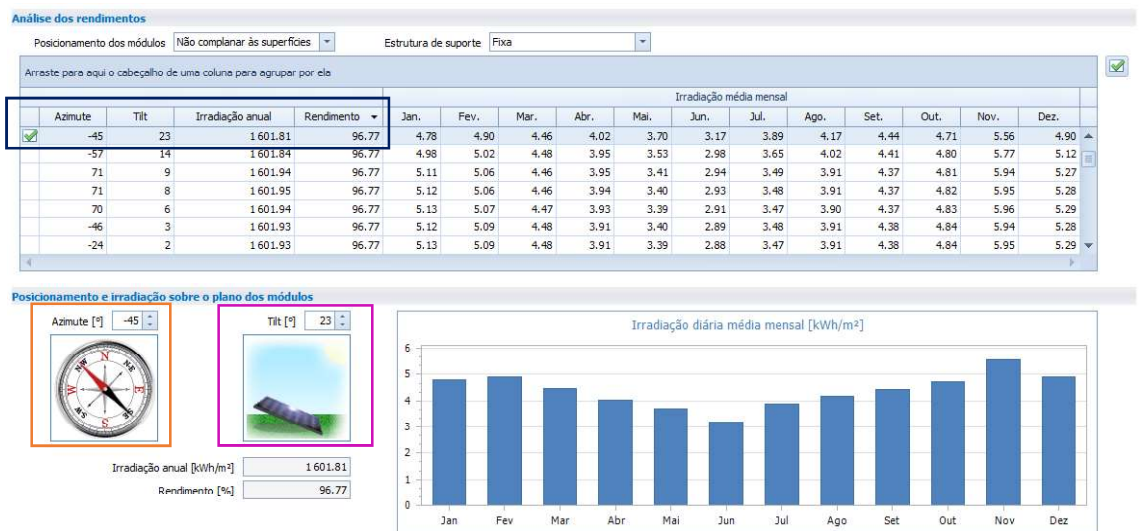
Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

Figura 13: Valores obtidos com -90° azimutal e 23° de inclinação



Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

Figura 14: Valores obtidos com -45° azimutal e 23° de inclinação



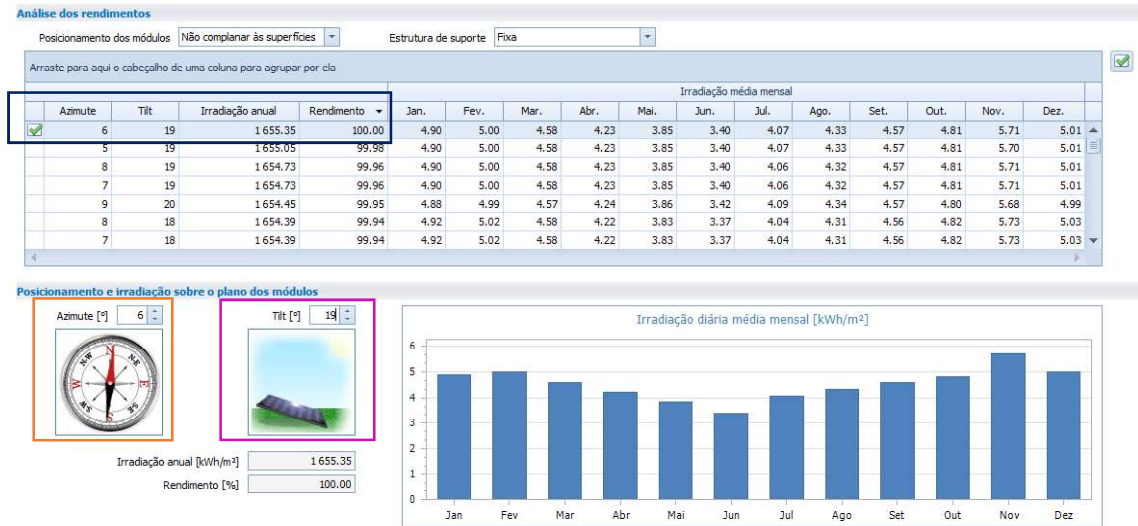
Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

Nos testes apresentados acima, foi possível observar as mudanças do aproveitamento da irradiação com relação a inclinação e orientação do painel. Esses resultados, já afirmam, de forma preliminar, qual a melhor orientação e inclinação deve-se instalar o sistema. Indicado pelo comportamento, o melhor aproveitamento, é indicado pela Figura 7, com 99,73%.

A fim de melhor ainda mais o resultado obtido, uma nova consulta foi realizada, porém, de forma automática, deixando com que o software indicasse qual a orientação e inclinação ideal para se obter o rendimento máximo.

Como observado na Figura 15, a inclinação e orientação ideal para se obter 100% do rendimento é 19° e 6° consequentemente.

Figura 15: Valores obtidos com 6° azimuthal e 19° de inclinação



Fonte: SOLARIUS-PV V.17 (2021)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na instalação de um sistema fotovoltaico, principalmente na fase inicial de seu projeto, deve-se atentar as considerações e análises realizadas, como, visita técnica, argumentos deixamos pelo cliente e principalmente da utilização dos softwares. Entre as considerações, realizar o estudo de inclinação e orientação do arranjo fotovoltaico, base exposta neste trabalho.

Os resultados aqui obtidos, indicam que existe uma proximidade muito grande entre o cenário de instalação exposto na Figura 7 e os resultados apresentados na Figura 15. Sendo, uma diferença de 0,27% do rendimento.

Os resultados apresentados da Figura 8 a Figura 11 indicam gradativamente uma queda no rendimento, se considerado tais orientações para instalação, já os valores da Figura 12 a Figura 14, indicam gradativamente um aumento no rendimento.

Quando refletido de uma forma teorica, fica fácil identificar qual a melhor inclinação e orientação dos paineis, basta observar qual cenário apresenta o melhor rendimento, porém, quando analisado de forma prática, mudanças e dificuldades podem ser encontradas, tais como, cliente já possuir local para instalação dos paineis,

local com inclinação divergente do apresentado, local com orientação/orientações diferente(s) do apresentado, entre outros.

Como forma de minimizar os impactos causados pela instalação incorreta dos sistemas fotovoltaicos, e pela dificuldade sempre encontrada, analisando os resultados obtidos, podemos considerar instalações de -90° a 90° azimutal.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Thiago Carrano; MALDONADO, Mauricio Uriona; VAZ, Caroline Rodrigues. UM LEVANTAMENTO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL SOBRE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Revista Brasileira de Energia Renováveis**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 915-939, dez./2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/51334>. Acesso em: 23 jun. 2021.

ANGELO, Matheus Bitcheriene; TIEPOLO, Gerson Máximo. ESTIMAÇÃO DA TAXA DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM DIFERENTES MESORREGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Gramado, v. 1, n. 7, p. 1-9, abr./2018. Disponível em: <http://utfpr-ct-static-content.s3.amazonaws.com/labens.ct.utfpr.edu.br/wp-content/uploads/2018/05/109-109-1-PB.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2021.

ARAUJO, Nadine Damacena. IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PROPRIEDADE RURAL COM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO MULTICRISTALINO. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais). Pontifca Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/8641>. Acesso em 04 jun. 2021.

BOSO, A. C. M. R; GRABRIEL, C. P. C; FILHO, L. R. A. G. ANÁLISE DE CUSTOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID E OFF-GRID NO BRASIL. **ANAP Brasil**, Jacareí, v. 8, n. 12, p. 57-66, dez./2015. Disponível em: https://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap_brasil/article/view/1138. Acesso em: 13 jun. 2021.

BRADACZ, Ernesto. ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 250KWP CONECTADO A REDE E INSTALADO EM UMA PROPRIEDADE RURAL NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ. 50f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2020. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/4981>. Acesso em 07 jun. 2021.

GASPARIN, Fabiano Perin; KRENZINGER, Arno. DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM DEZ CIDADES BRASILEIRAS COM DIFERENTES ORIENTAÇÕES DO PAINEL. **Revista Brasileira de energia solar**, Rio Grande do Sul, v. 8, n. 8, p. 10-17, jul./2017. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/169>. Acesso em: 31 mai. 2021.

LIMA, A. A. *et al.* UMA REVISÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONVERSÃO FOTOVOLTAICA DE ENERGIA. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Curitiba, v. 42, n. 20190191, p. 1-16, ago./2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zmFYrhnnhLQ8dMHk7CDmSfs/?lang=pt>. Acesso em: 23 jun. 2021.

MELO, Emerson Gonçalves. Geração Fotovoltaica. ESTIMATIVA DO FATOR DE SOMBREAMENTO E IRRADIAÇÃO EM MODELOS TRIDIMENSIONAIS DE EDIFICAÇÕES. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-21062013-105044/en.php>. Acesso em 20 jun. 2021.

NÓBREGA, B. S. D. *et al.* DESEMPENHO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO COM DIFERENTES INCLINAÇÕES E ORIENTAÇÕES AZIMUTAIS EM CIDADES DA PARAÍBA. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 1, n. 43, p. 175-188, abr./2018. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/1950>. Acesso em: 31 mai. 2021.

SANTOS, R. D. *et al.* SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA, SU DISEÑO. **16 Convención Científica de Ingeniería Y Arquitectura**, Habana, v. 16, n. 1, p. 1-12, nov./2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Raynel-Diaz-Santos/publication/317098488_SISTEMA_FOTOVOLTAICO_CONECTADO_A_LA_RED_ELECTRICA_SU_DISENO/links/5925d8faaca27295a8f1ef53/SISTEMA-FOTOVOLTAICO-CONECTADO-A-LA-RED-ELECTRICA-SU-DISENO.pdf. Acesso em: 5 jun. 2021.

TIEPOLO, G. M. *et al.* COMPARAÇÃO ENTRE O POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO ESTADO DO PARANÁ COM ALEMANHA, ITÁLIA E ESPANHA. **V Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Paraná, v. 5, n. 1, p. 1-9, abr./2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Gerson-Tiepolo/publication/275828922_COMPARACAO_ENTRE_O_POTENCIAL_DE_GERACAO_FOTOVOLTAICA_NO_ESTADO_DO_PARANA_COM_ALEMANHA_ITALIA_E_ESPANHA/links/5547f2930cf2e2031b384c36/COMPARACAO-ENTRE-O-POTENCIAL-DE-GERACAO-FOTOVOLTAICA-NO-ESTADO-DO-PARANA-COM-ALEMANHA-ITALIA. Acesso em: 4 jun. 2021.