

UNICESUMAR - UNIVERSIDADE DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**AUMENTO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS POR
MEIO DE UMA LENTE PLANA-CONVEXO**

RICARDO MANZOTTI ANTONIO

MARINGÁ – PR

2021

RICARDO MANZOTTI ANTONIO

**AUMENTO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS POR
MEIO DE UMA LENTE PLANA-CONVEXO**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Claudio Ichiba.

MARINGÁ – PR

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO
RICARDO MANZOTTI ANTONIO

**AUMENTO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS POR
MEIO DE UMA LENTE PLANA-CONVEXO**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR –
Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em
Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Claudio Ichiba.

Aprovado em: 18 de Novembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. (a): Msc. Claudio Ichiba

Examinador Prof. (a): Msc. Judson Ricardo Ribeiro da Silva

Examinador Prof. (a): Esp. Samuel Slipac

AUMENTO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS POR MEIO DE UMA LENTE PLANA-CONVEXO

Ricardo Manzotti Antonio

RESUMO

Neste artigo será apresentado o desenvolvido inicial de uma lente plana-convexa para elevar a geração elétrica diária de painéis fotovoltaicos. Para tal, foram abordadas as condições de funcionamento dos módulos, as características de refração da luz, o comportamento e classificação da radiação solar. A lente foi dimensionada de modo que promova ângulos de refração previamente selecionados pela lei de Snell-Descartes com dimensões físicas similares aos de painéis comerciais. Por fim, sua comparação com soluções similares para retratar sua viabilidade.

Palavras-chave: Eficiência. Energia Solar. Refração.

INCREASE IN ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC PANELS THROUGH A FLAT-CONVEX LENS

ABSTRACT

In this article will be presented the inicial development of a plan convex-lens to raise the electrical generation of photovoltaics panels. For such, modules operating conditions were addressed, as well as light refraction characteristics and the behavior and classification of solar radiation. The lens was scaled in a way that promotes refraction angles previously selected by the Snell-Descartes law with physics dimensions silimars to the comercial panels. Finally, its comparison to similar solutions to portray its viability.

Keywords: Efficiency. Refraction. Solar Energy.

1 INTRODUÇÃO

A crescente prioridade pela utilização dos métodos renováveis de geração energética tornou-se pauta comum dentre as mais diversas áreas de estudo, pois a relevância de atos sustentáveis e seus resultados vislumbram o futuro ideal dentre os demais cenários.

Segundo o portal do governo brasileiro, publicado em janeiro de 2020:

O Brasil, atualmente, tem 83% de sua matriz elétrica originada de fontes renováveis, de acordo com o secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia, Reive Barros. A participação é liderada pela hidrelétrica (63,8%), seguida de eólica (9,3%), biomassa e biogás (8,9%) e solar centralizada (1,4%). (GOV. BRASIL, 2020)

Diante dos modelos de geração renovável, aqueles provenientes da matriz solar, com ênfase nos painéis fotovoltaicos, possuem modelo de comércio popular. Este que além de fácil instalação e manutenção, comparado aos demais modelos, depende exclusivamente da presença de incidência solar, permitindo que qualquer indivíduo possa investir e implementar geradores em sua residência, comércio ou indústria usufruindo de energia limpa e renovável. Além do atrativo retorno financeiro, pois esta pode ser diretamente abatida pelas concessionárias e distribuidoras, como determina a Resolução Normativa ANEEL n° 517:

Art. 2º... III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade...” (ANEEL, 2012)

A busca pelo setor tem apresentado grande crescimento nos últimos anos, impulsionado pela constante insuficiência energética da principal fonte brasileira aliada à tendência de barateamento da tecnologia. Como publicado, em julho de 2021, pelo Jornal de Brasília, o segmento expandiu em 64% de 2019 a maio de 2021 devido à redução considerável nos preços dos componentes e os acréscimos financeiros resultantes da crise hídrica e a regular utilização das termoeletricas (PINHO, G. 2021). Diante do oportuno

cenário, observa-se um ponto desfavorável, devido a tecnologia atual a eficiência máxima dos painéis não ultrapassa os 23% e possui média fixada abaixo de 20%, segundo pesquisa publicada pelo Portal Energia em 2019 envolvendo as principais fabricantes do equipamento. (JESUS, F. 2020)

O conjunto destes dados e fatores resulta na situação atual da energia fotovoltaica, que apesar de apresentar bons índices de perspectiva e crescimento, em relação a todos os demais métodos renováveis, sua participação ainda é reduzida no cenário nacional. Mesmo apresentando benefícios sustentáveis extremamente elevados, ainda requerem uma melhoria funcional para alavancar e atingir o espaço merecido. Promover o incentivo ao uso desta tecnologia é o papel fundamental deste projeto.

Este artigo visa o estudo, análise e desenvolvimento de um projeto óptico ocular com finalidade de elevar a capacidade de geração elétrica em painéis fotovoltaicos. Para tal, serão apresentadas noções essenciais de funcionamento de um sistema fotoelétrico, assim como as variáveis que influenciam em sua geração, comportamento e dinâmica da incidência solar, conceitos e propriedades ópticas, além da análise estatística do cenário atual para estruturação e comparação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os sistemas de energia solar fotovoltaico são responsáveis por converter a energia proveniente da radiação solar durante o período de insolação da superfície terrestre em energia elétrica, por meio do efeito fotovoltaico. Existem dois usos principais que apesar de apresentarem semelhanças de composição, divergem em sua estrutura funcional, sendo a possibilidade de injetar energia à rede de distribuição local ou armazená-la para consumo autônomo. (FREITAS, S. 2008)

Em sua maioria, são compostos principalmente por três elementos, sendo eles os módulos ou painéis fotovoltaicos, conversores eletrônicos e baterias de armazenamento, quando necessárias. Também, mas não menos importante, todo sistema conta com a presença

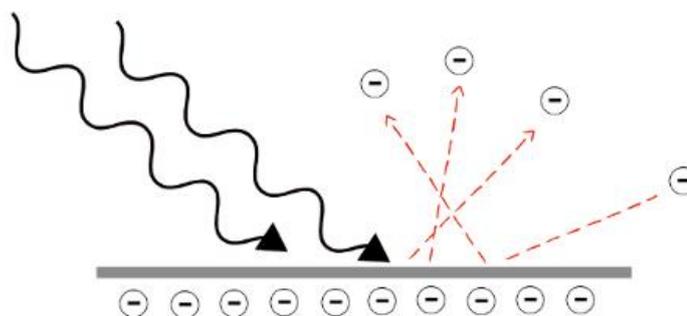
de estruturas de fixação, cabeamento e componentes situacionais essenciais para seu funcionamento. Durante os próximos tópicos serão apresentadas breves revisões sobre os elementos destacados. (FREITAS, S. 2008)

2.1.1. Célula fotovoltaico

O efeito fotovoltaico foi observado inicialmente, em 1839, pelo físico francês Becquerel ao perceber uma tensão sendo criada em um eletrodo metálico, submerso numa solução química, quando atingido pela luz solar. Posteriormente, em 1905, Albert Einstein apresentou sua explicação sobre um fenômeno similar, denominado efeito fotoelétrico. (VILLALVA, 2016)

Como apresentado na figura 1, o efeito fotoelétrico consiste na liberação de elétrons de um material exposto por uma determinada radiação eletromagnética. As partículas de energia, denominadas de fótons, ao incidirem sobre um objeto, geralmente metálico, transferem energia aos seus elétrons, que dependendo de sua intensidade, ejetam-os para fora do material gerando uma corrente de fotoelétrons. Sua publicação foi fundamental para o entendimento do fotovoltaico, devido as grandes semelhanças. (HELERBROCK, 2012)

Figura 1 – Efeito fotoelétrico

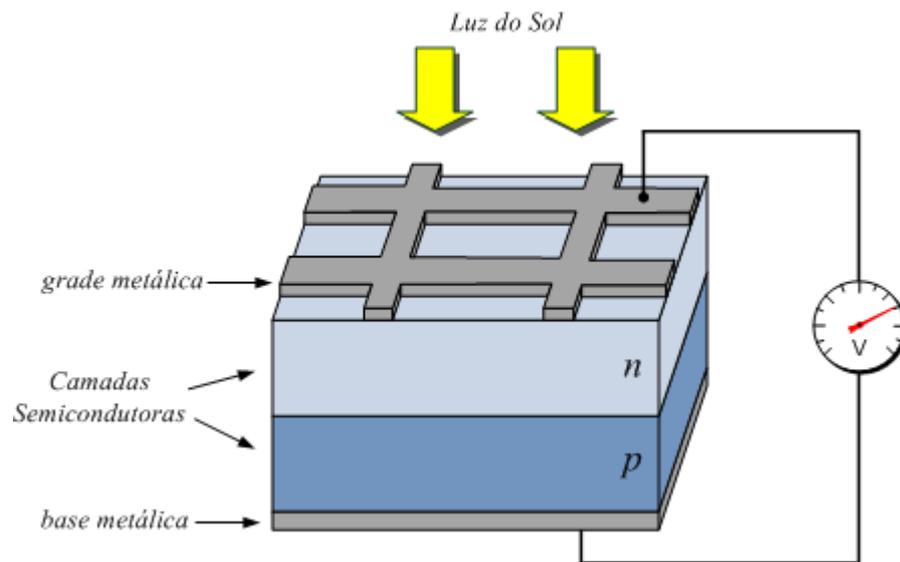


Fonte: HELERBROCK, R, (2020)

O efeito fotovoltaico consiste na geração de energia elétrica a partir da luz solar quando incidida em um material semicondutor, com propriedades específicas. Como esquematizado na figura 2, as células fotovoltaicas convencionais, são formadas por duas

camadas de materiais semicondutores, como o silício, uma do tipo P e outra do tipo N, na qual o material N possui elétrons excedentes enquanto o material P apresenta carência de elétrons. Quando ambos entram em contato, os elétrons extras migram para as lacunas vazias do outro material criando um campo elétrico, porém com uma barreira de potencial entre as camadas. Ao serem expostos a luz, sua radiação descarrega energia sobre os elétrons excedentes de N, tornando-os capazes de romper a barreira de potencial. Quando envolvidas por um material condutor no sistema, o circuito é fechado e forma uma corrente elétrica que pode ser usada para alimentar os aparelhos elétricos. (VILLALVA, 2016)

Figura 2 – Célula fotovoltaica



Fonte: ALMEIDA P. M. (2011)

2.1.2. Módulos ou painéis fotovoltaicos

Os módulos são formados por agrupamentos de células fotovoltaicas associadas em série e/ou paralelo, projetados para gerar energia elétrica com os valores desejados de tensão e corrente. As células são constituídas de silício com a adição de substâncias dopantes como boro e fosfato, o que resulta na formação de um campo elétrico e permita que ocorra o processo de conversão de energia mencionado no tópico anterior. (FREITAS, S. 2008)

2.1.3 Conversores

Também denominado de inversor de frequência, o equipamento é conectado entre o arranjo de painéis e a rede de distribuição ou um sistema de armazenamento, em caso de sistemas autônomos. Este que realiza a conversão do sinal elétrico de saída dos módulos, produzidos em corrente contínua, para corrente alternada, tornando a energia apta para consumo. (FREITAS, S. 2008)

2.1.4 Baterias

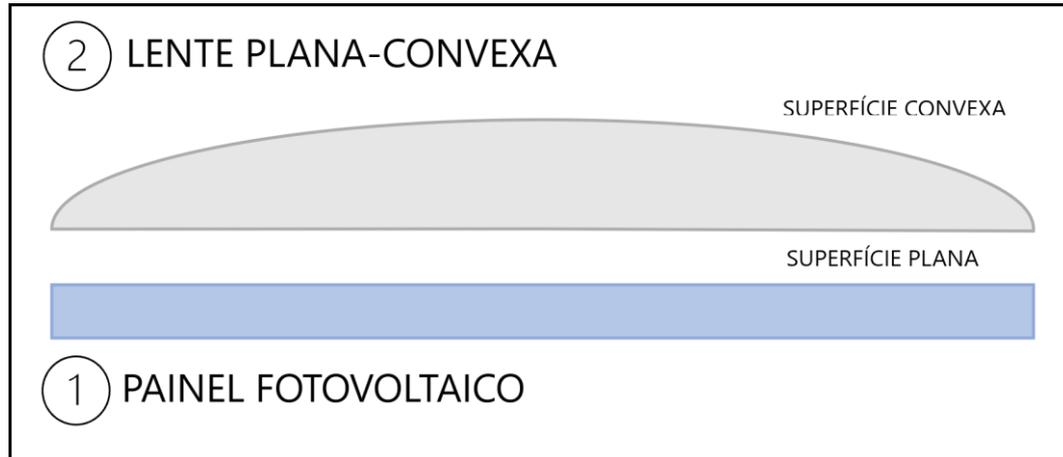
Com a finalidade de armazenamento de energia, as baterias são utilizadas em sistemas híbridos e independentes, não conectados à rede de distribuição, para proporcionar o fornecimento constante de eletricidade, quando não houver luz solar sobre os painéis.

2.2 APRESENTAÇÃO DA IDEIA

Ao analisar as características e condições funcionais de um sistema fotovoltaico observa-se que a forma de instalação e posicionamento dos painéis com angulação e orientação fixos, apesar de pré-definidos para obterem o melhor resultado possível, são fatores limitantes e os impedem de atingirem resultados superiores.

Diante a problemática destacada, o projeto foi idealizado para elevar a geração efetiva dos painéis, partindo de uma perspectiva óptica e utilizando de propriedades físicas. O modelo consiste em uma lente plana-convexa, com características específicas, que quando acoplada à parte superior de um módulo, altera a trajetória da luz permitindo modificar a sua direção e promover maior aproveitamento energético no tempo de insolação. Essa melhora acontece porque a melhor captação da radiação ocorre quando a incidência é perpendicular à superfície irradiada ou mais próximo disso. As figuras 3 e 4 representam visualmente o efeito descrito.

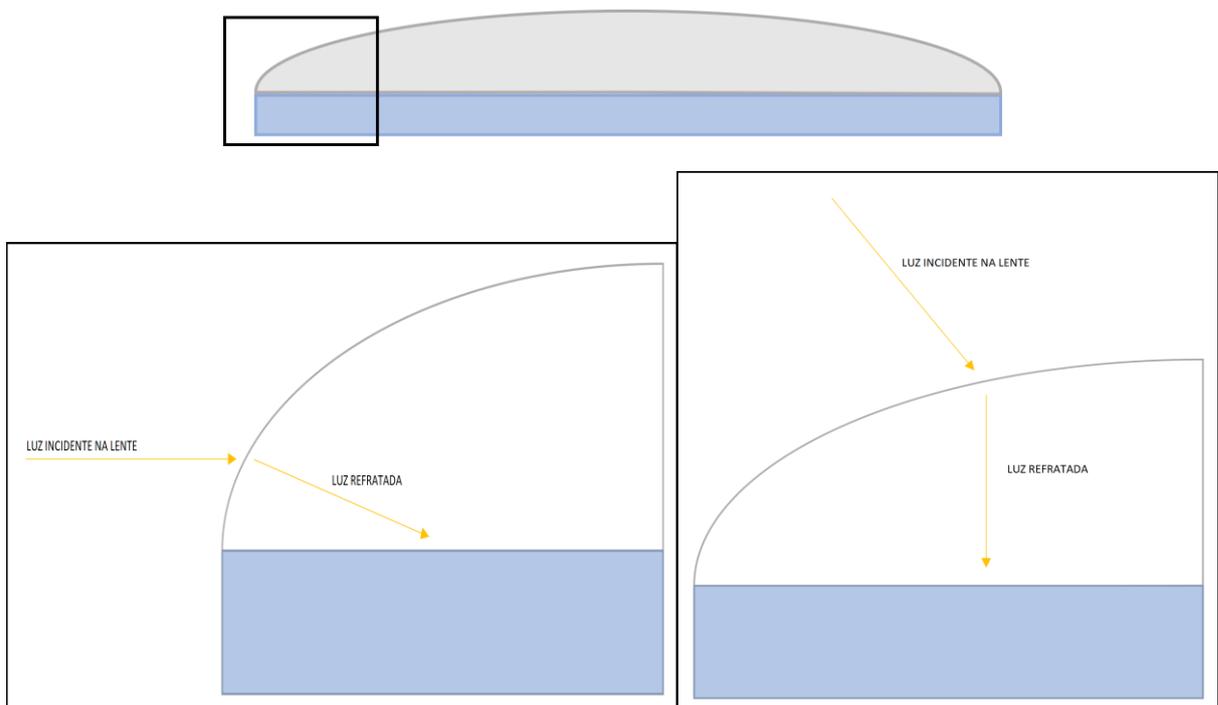
Figura 3 – Lente plana-convexa



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 3, a lente é posicionada a ocupar toda a superfície do painel preenchida por células fotovoltaicas. Composto integralmente de vidro, o objeto atuará como uma lente óptica capaz de utilizar da propriedade de refração da luz para aumentar o tempo de insolação captada, oferecendo novos ângulos úteis e otimizando ângulos mais eficientes e mais próximos a perpendicularidade, como apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Demonstração da refração



Fonte: Autor (2021)

Entretanto, para projetá-lo de maneira que os fenômenos destacados ocorram como planejados, será necessário definir algumas variáveis resultantes da movimentação diária e anual aparente do sol, a influência e interação da trajetória da luz solar com a superfície do globo terrestre.

2.3 REFRAÇÃO E A LEI DE SNELL-DESCARTES

Os raios luminosos, quando incididos em superfícies opticamente transparentes, possuem a característica de atravessá-los, mas com velocidade diferente e em outro ângulo de sua trajetória. Refração é o nome dado a esta propriedade e o Índice de refração mensura quanto o material irá interferir em sua rota, este que é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo pela velocidade no material. Na tabela 1 podem ser observados exemplos em diferentes materiais. (WOLFGANG, B, 2013)

$$n = c / v \quad (1)$$

Sendo:

n = Índice de refração

c = Velocidade da luz no vácuo

v = Velocidade da luz no meio

Tabela 1 – Índices de refração comuns

Material	Índice de refração (n)
Ar	1,0003
Água	1,333
Álcool	1,329
Gelo	1,310
Vidro comum	1,5
Diamante	2,417

Fonte: HELERBROCK, R. (2020)

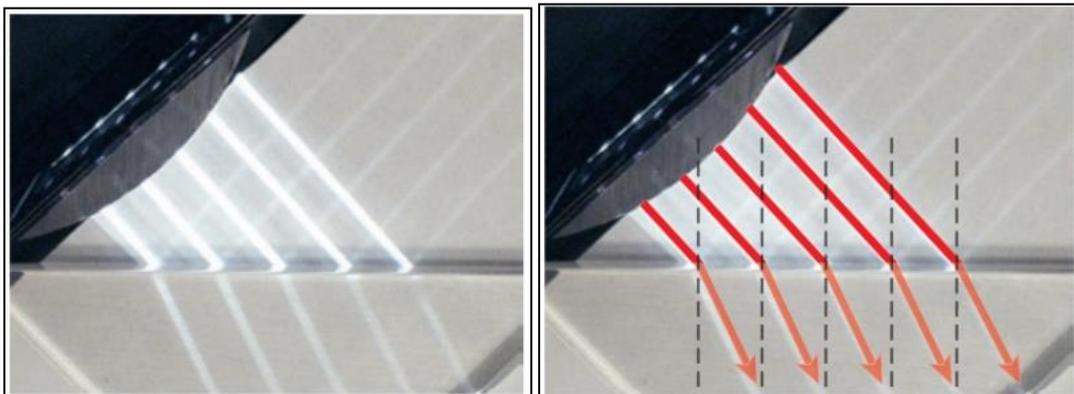
Ao atingir o objeto, a luz desvia no sentido da reta normal à superfície, quando ela parte de um meio com índice de refração menor para um meio com índice de refração maior, ou inclina em direção à normal, indicando o contrário e que o ângulo de refração é menor que o ângulo de incidência. A lei de Snell-Descartes expressa este comportamento entre diferentes meios e os relaciona como:

$$n_1 * \text{sen}(i) = n_2 * \text{sen}(r) \quad (2)$$

Onde: n_1 , n_2 são os devidos índices de refração dos meios e i e r os ângulos de incidência e refração.

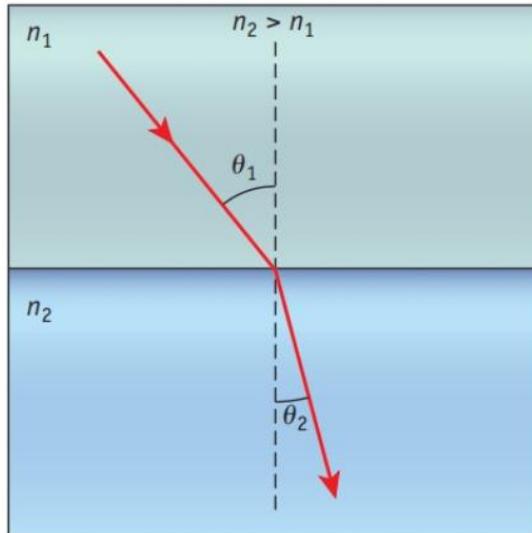
Como exemplo, temos que na figura 6 demonstra e esquematiza o processo descrito quando a luz, percorrida pelo ar, atinge uma superfície de vidro, afastando da reta normal, como mostrado nas figuras 5 e 6. (WOLFGANG, B, 2013)

figura 5 – Refração no vidro



Fonte: WOLFGANG, B (2013)

figura 6 – Análise da refração



Fonte: WOLFGANG, B (2013)

2.4 TRAJETÓRIA SOLAR

Durante as estações do ano, o globo terrestre circunda por diferentes ângulos em torno do sol promovendo fenômenos astronômicos que impactam diretamente no funcionamento e organização da sociedade, como solstícios, equinócios, estações, dia, noite, ano, e mais diversos conceitos que foram definidos para adaptar o homem às leis da natureza. Isso se dá devido aos movimentos de rotação e translação do corpo celeste explicados pelos cientistas Isaac Newton e Johannes Kepler em suas respectivas leis propostas e ainda utilizadas pela Física moderna. (SOUSA R, 2015)

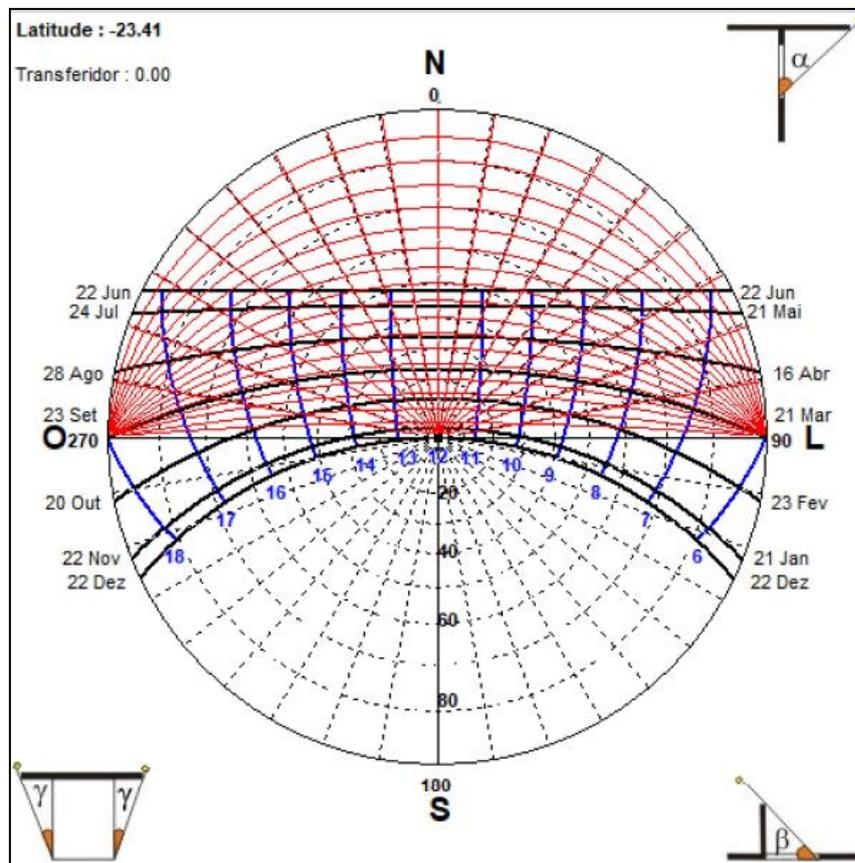
Para estudo no presente artigo, será utilizado como referencial, um painel fotovoltaico fixado à superfície terrestre, na cidade de Maringá, no Estado do Paraná. Analisando o comportamento e a interação com o local e estipular as posições de iluminação incidida pela estrela e comprovar os próximos dados que serão apresentados.

Para analisar a trajetória do sol será utilizada uma ferramenta denominada Carta solar, que representa de forma gráfica o percurso percorrido pelo sol em várias épocas do ano. Muito utilizada pela indústria de construção civil, nela obtêm-se as informações suficientes

para avaliar e quantificar a insolação e sombreamento em determinadas latitudes, auxiliando principalmente para determinar a orientação das edificações e de suas aberturas. (PROJETEEE, 2021)

Segue, na figura 7, a carta solar referente a cidade de Maringá, Paraná sobre a latitude de $-23,41^\circ$, obtido pelo programa Analysis SOL-AR, desenvolvido em 1996 pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina.

Figura 7 – Carta Solar Maringá, PR



Fonte: Analysis SOL-AR (2021)

Observando a carta, nota-se que pelo ponto do observador, o sol percorre ao longo do ano, em sua grande maioria, trajetórias orientadas integralmente ao norte e nos demais, de outubro à fevereiro, seus horários principais de insolação ainda se concentram também posicionados ao hemisfério superior do gráfico.

2.5 ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Devido as movimentações e angulações do sol sobre a terra, o posicionamento dos painéis fotovoltaicos tendem a ser distintos em diferentes pontos do globo, visto que estes são geralmente fixados em estruturas não móveis, seu posicionamento deve ser projetado para receber a maior quantidade de raios solares e consequentemente gerar mais energia elétrica.

Partindo da observação da Carta solar apresentada, pode-se concluir que para atingir o máximo aproveitamento energético, os painéis devem ser inclinados ao norte, como é usual para quem já está familiarizado com o assunto. Entretanto sua angulação ainda é pauta de discussões entre projetistas. Para defini-lo será utilizado de um artigo publicada em 2020 pelo Canal Solar, consolidado como a principal fonte de notícias e informações técnicas sobre o setor, nele consta que foi realizado uma pesquisa utilizando o software de simulação PVSyst, com 5365 combinações de inclinação e orientação em cinco diferentes cidades brasileiras: Porto Alegre - RS, Campinas -SP, Montes Claros – MG, Petrolina - PE e Fortaleza – CE. Como resultado, os ângulos de inclinação que proporcionaram máxima geração energética variam de $+3^\circ$ a -3° em relação a latitude do local. Essa variação é também devido a posição longitudinal e atitudinal, que apesar de pequena deve ser levada em consideração em projetos reais.

Dada a pesquisa, para o projeto será adotado a inclinação ao norte igual a latitude da cidade, de $23^\circ 25' S$ ou $-23,41^\circ$ e desconsiderado a variação descrita por se tratar de uma análise inicial.

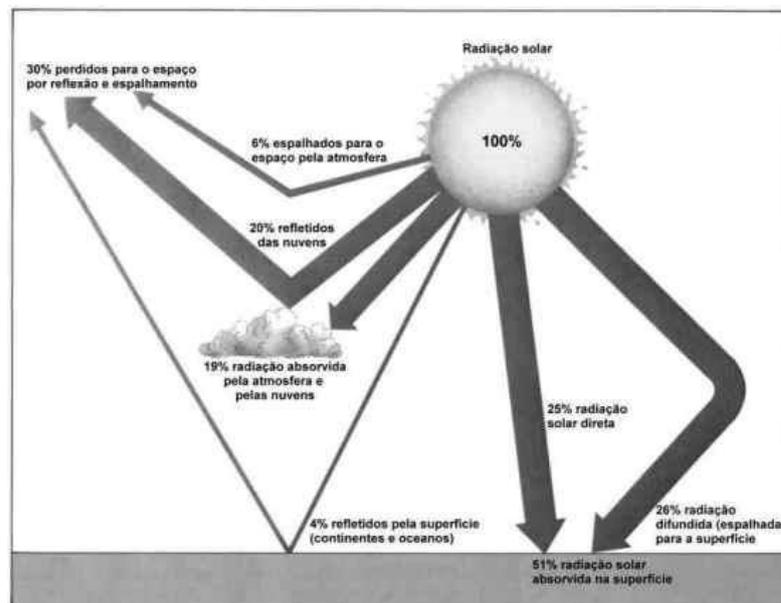
2.6 RADIAÇÃO SOLAR

Localizado no centro do sistema planetário e principal emissor de luz e calor, o sol é responsável pela existência de toda a vida na terra. Mesmo à 149.600.000 km de distância do planeta, segundo dados publicados pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a quantidade de energia recebida na superfície terrestre diariamente por seus raios luminosos é capaz de suprir toda a demanda de energia da população durante vários anos consecutivos.

A Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Logo, a energia solar incidente na Terra a cada dia é equivalente a toda a energia consumida no mundo por 27 anos. A energia solar de três dias é equivalente à energia armazenada em todas as fontes conhecidas de energia fóssil: petróleo, gás natural e carvão (AMARAL, 2008)

Devido à distância e as características da atmosfera, grande parte de seu potencial energético é perdido e refletido ao espaço ou absorvido antes de chegar à superfície. Como pode ser visto na Figura 8, apenas 25% de toda radiação é incidida diretamente ao solo e 26% é espelhado por objetos externos e só então chegando a terra, porém com energia reduzida no processo. Portanto, para finalidade de aproveitamento energético, a radiação direta é a mais eficiente. (GRIMM, 1999)

Figura 8 – Radiação solar incidente

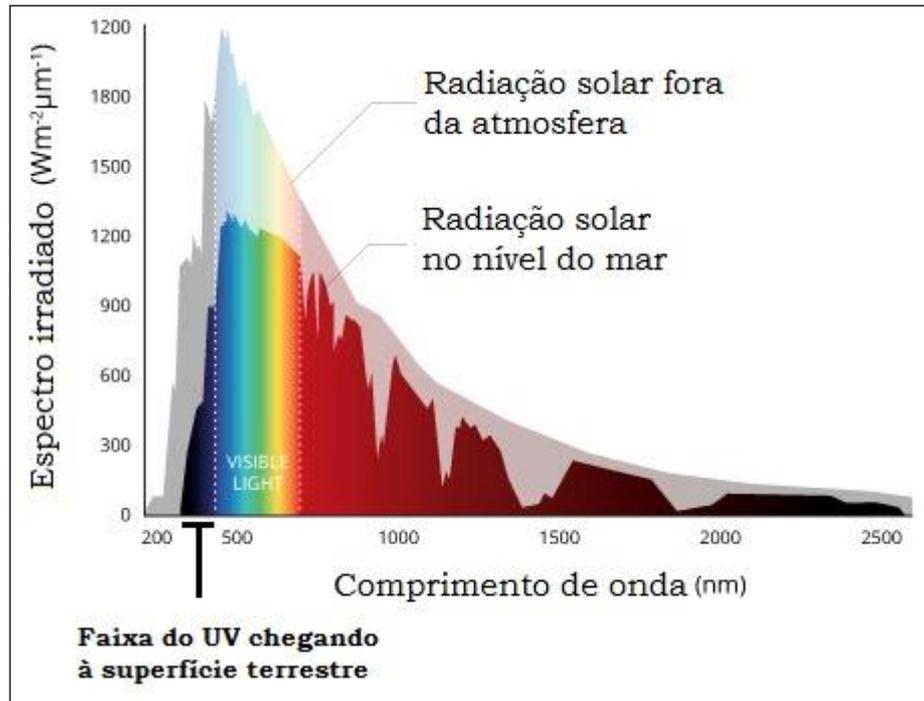


Fonte: Autor desconhecido

A energia presente na luz se dá devido sua composição. Esta é formada por diversas ondas eletromagnéticas, mais conhecida como radiação, que são capazes de interagir com meios materiais de formas diferentes, pois cada nível de radiação possui características únicas de frequência e comprimento de onda. A luz visível representa uma pequena parcela de toda

radiação incidente, mas também as mais carregadas energeticamente e de maior interesse para produção de energia elétrica e térmica. (ALMEIDA, 2018)

Figura 9 – Radiação presente na luz



Fonte: Autor desconhecido

Como observado na figura 9, a luz visível, denominada espectro visível, é encontrada em meio as radiações invisíveis infravermelha e ultravioleta, e possui uma paleta de cores gradiente, variando do vermelho ao violeta.

Em 1672, Newton demonstrou essa diferença em sua publicação sobre a decomposição da luz. Em resumo, o cientista incidiu um feixe de luz sobre a face de um prisma de vidro, dispersando-as em um arco-íris que saía pela face contrária. O fenômeno é explicado devido a diferença das frequências de onda entre os feixes coloridos, que ao interagirem com o vidro se deslocavam com velocidades diferentes, pois os índices de refração são proporcionais à sua frequência, demonstrado na tabela 2. (HELERBROCK, 2012)

Tabela 2 – Índices de refração no vidro crown

Índice de refração (n)	Cor
1,513	Vermelho
1,514	Laranja
1,517	Amarelo
1,519	Verde
1,528	Azul
1,532	Violeta

Fonte: SILVA, D. C. M. (2020)

2.7 DEFINIÇÃO DO MODELO

Para definir o modelo de modo que ocorram os efeitos desejados, a lente formada de vidro crown terá que satisfazer as características de refração da luz nos piores ângulos de incidência solar. Como visto no tópico anterior, a luz visível é a principal responsável pela geração de energia elétrica, e pela sua decomposição em feixes coloridos, será adotado o índice de refração (n) igual à 1,53, sendo a média entre índices das as cores mais energeticamente carregadas.

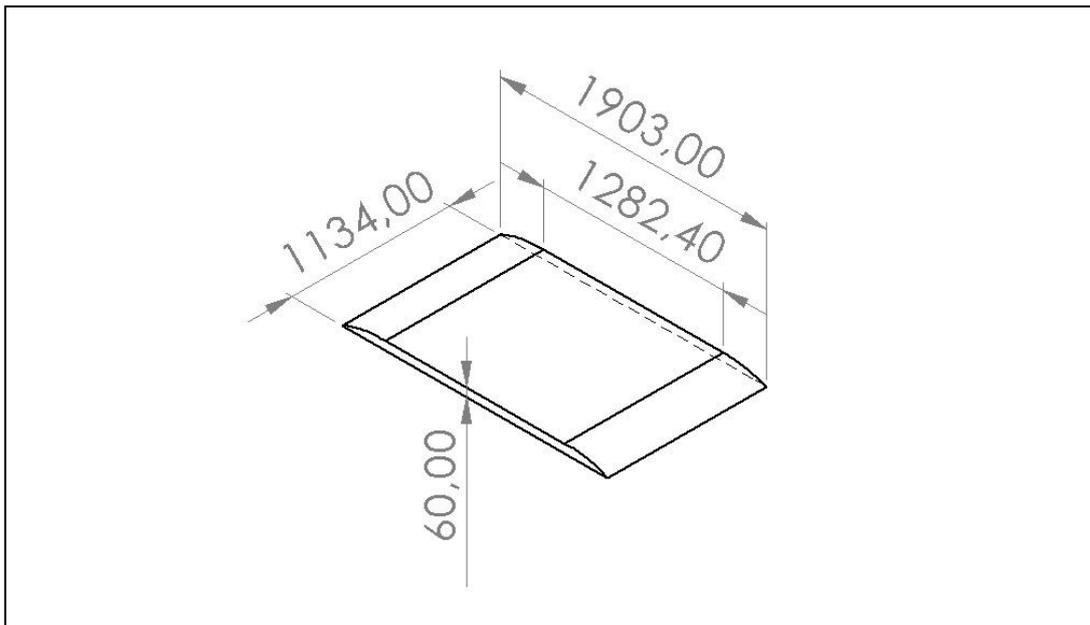
A escolha pelo vidro se dá, pela comprovada durabilidade. Segundo pesquisa publicada pela Associação Nacional de Vidraçarias, em 2020, o material possui durabilidade de ao menos 4 mil anos, além de extrema resistência às alterações climáticas, agindo também como proteção extra do módulo.

Tendo como referência um painel fotovoltaico fixo e livre de interferência por sombreamento, os ângulos limites de incidência são atingidos quando emitidos em 90° da reta normal à superfície do módulo. Com a lente acoplada, ao interagir com o vidro, a luz será refratada e direcionada as células fotovoltaicas, tornando-o um ângulo útil e potencializando os ângulos próximos a ele.

A lente será plana com laterais curvas, para que ocorra a captação dos ângulos mencionados, de modo que não interfira na captação dos demais, pois uma grande concentração de raios desviados ao mesmo ponto pode causar danos e reduzir a vida útil do equipamento. Suas dimensões serão semelhantes aos de um painel comercial, para facilitar o encaixe e não comprometer as estruturas de fixação. Será usado como base o equipamento

Tiger Monofacial da fabricante chinesa Jinko, com 1903 mm × 1134 mm de medidas, porém com espessura de 60 mm. A figura 10 retrata a representação visual desenvolvida no software SolidWorks.

Figura 10 – Desenho no SolidWorks



Fonte: Autor (2021)

2.7.1 Dimensionamento da curva

Com os índices de refração dos meios, n_1 e n_2 , foram calculados os ângulos correspondentes de incidência e radiação, que obedecem a lei de Snell-Descartes, como demonstrado abaixo na tabela 3.

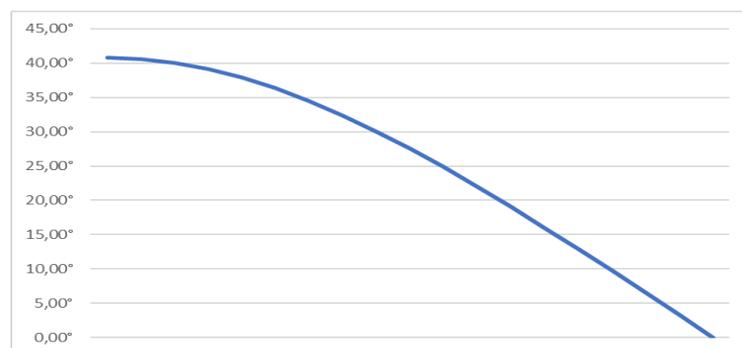
Tabela 3 – Índices correspondentes à lei de Snell-Descartes

$n_1 * \text{sen}(i) = n_2 * \text{sen}(r)$	
$n_1 = 1$	$n_2 = 1,53$
Ângulo de incidência (i)	Ângulo de refração (r)
90°	40,81°
85°	40,62°
80°	40,05°
75°	39,15°
70°	37,89°
65°	36,32°
60°	34,47°
55°	32,36°
50°	30,03°
45°	27,53°
40°	24,84°
35°	22,01°
30°	19,07°
25°	16,03°
20°	12,92°
15°	9,74°
10°	6,51°
5°	3,27°
0°	0,00°

Fonte: Autor (2021)

Em seguida, foi observado que a diferença entre os primeiros índices de refração não é equivalente aos ângulos finais da tabela, observado no gráfico de dispersão apresentado na figura 11, portanto a variação entre os ângulos de refração não é linear, sendo reduzida conforme o valor de incidência aumenta.

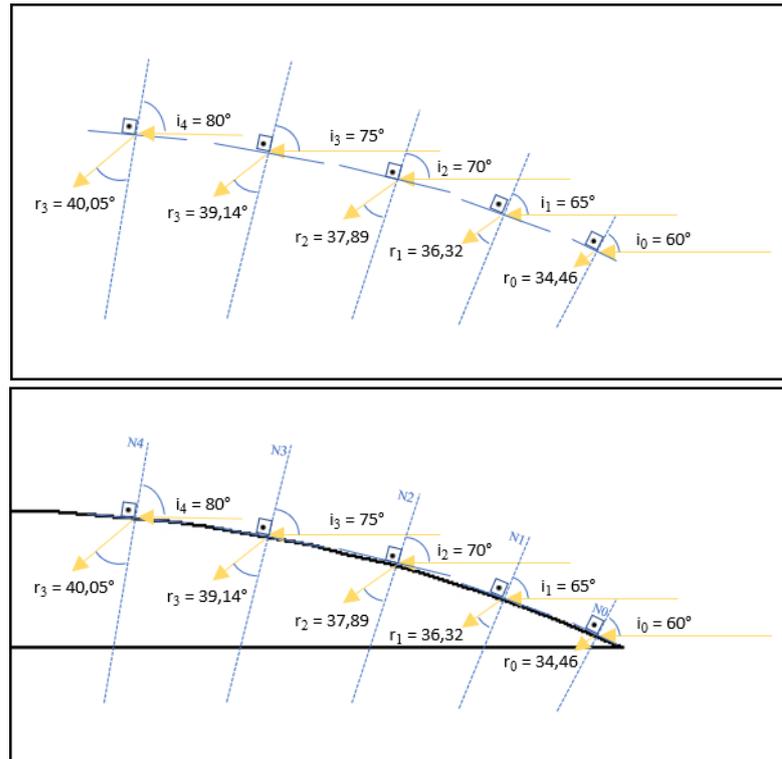
Figura 11 – Gráfico de dispersão entre os ângulos de refração



Fonte: Autor (2021)

Analisando a dispersão dos valores de r , foi decidido projetar a curva de modo que os ângulos de refração estejam próximos aos valores de 35° a 40° , visto que estes apresentaram menor variação entre si, como representado na figura 12.

Figura 12 – Curvatura da lente



Fonte: Autor (2021)

2.8 SOLUÇÕES EXISTENTES

Tecnologias de refração e reflexão de luz para elevar a geração fotovoltaica vem sendo desenvolvidas antes de criarem a energia fotovoltaica, para obtenção de calor melhorando ciclos termodinâmicos. (COSTA, 2018)

Com o uso de lentes, refletores ou ambos, os concentradores são dispositivos que direcionam os raios solares para um único ponto ou reta, reduzindo a quantidade necessária de células fotovoltaicas por área ativa das placas, substituindo-as por materiais ópticos mais econômicos. (COSTA, 2018)

Outro método popular é o uso de rastreadores, conectando os módulos a um sistema de eixos, motores e sensores para guiá-los e mantê-los integralmente voltados ao sol, durante sua trajetória, aproveitando ao máximo seu potencial. (COSTA, 2018)

Em 2020, Júlia Taube e Jorge Felix publicaram uma pesquisa envolvendo o experimento de comparação entre a geração de pequenos painéis iguais, lado-a-lado, com e sem o uso de lentes refratoras movimentadas manualmente para rastrear o sol. Os resultados apontaram o aumento de 17% com a utilização da lente, definindo-o como uma alternativa claramente eficiente. (TAUBE, J, 2020)

Com funcionamento similar, a empresa Insolight desenvolveu um painel com células extremamente eficientes, coberto por uma camada de pequenas lentes em formato de alvo, unidas para concentrar a luz diretamente ao centro das células, prometendo dobrar a eficiência de geração. Entretanto o produto ainda não é comercializado, previsto para entrar no mercado em 2022. (REIS, 2019)

3 CONCLUSÃO

A utilização de equipamentos externos para potencializar a captação de energia solar, como rastreadores e concentradores, tem apresentado resultados positivos no cenário, tornando-os alternativas viáveis de investimento, incentivando o mercado e a indústria solar.

Com a eficiência de ao menos 25 anos dos módulos, determinado por fabricantes, o aumento de pequenos ângulos de incidência diária é suficiente para garantir a viabilidade de utilizar a lente plano-convexa para obter aumento na geração elétrica de painéis fotovoltaicos a longo prazo, tendo como base os resultados de equipamentos com mesmo princípio.

Para próximos passos deste projeto será desenvolvido um protótipo para realizar os testes e comprovar sua viabilidade, além de determinar a equação exata da curvatura da lente para otimizar o efeito de refração respeitando seu comportamento e analisar os possíveis efeitos térmicos e como este afetará os resultados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. Rodrigo. Energia solar: o aproveitamento da radiação solar para produção de eletricidade no Brasil, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/handle/123456789/962> Acesso em: 2021 out. 16.

ANEEL. Resolução normativa nº 517, de 11 de dezembro de 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>. Acesso em: 2021 ago. 04.

BRASIL, GOV. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira.** Postado em 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 13/05/2021.

COSTA, V. M. P.; SANTOS F. H.; concentradores fotovoltaicos: Uma tecnologia em declínio?. 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/167/167>. Acesso em: 2021 out. 28

DIAS, M. Energia solar acaba quando não tem sol? Esta empresa quer mudar isso. **Exame Invest**, 2021. Disponível em: <https://invest.exame.com/esg/energia-solar-acaba-quando-nao-tem-sol-esta-empresa-quer-mudar-isso>. Acesso em: 20/05/2021.

GRIMM, M Aline. Meteorologia Básica - Notas de Aula. 1999. Disponível em: <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>. Acesso em: 2021 out, 25.

HELERBROCK, Rafael. "Índice de refração"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/indice-de-refracao.htm>. Acesso em 2021 out, 20.

JESUS, F. Quais os painéis solares fotovoltaicos mais eficientes do mercado? **Portal Energia**, 2020. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/paineis-solares-mais-eficientes/>. Acesso em: 2021 ago. 04

PAIÃO, C.; LEITE, I.; SOUSA, V. Aumento nas emissões de carbono pode reduzir em 12% volume de chuvas nos 9 países da Amazônia. **Globo News**, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2021/04/24/aumento-nas-emissoes-de-carbono-pode-reduzir-em-12percent-volume-de-chuvas-nos-9-paises-da-amazonia-diz-estudo.ghtml>. Acesso em: 17/05/2021.

PINHO, G. Crise hídrica impulsiona mercado de energia solar. **Jornal de Brasília**, 2021. <https://jornaldebrasil.com.br/noticias/economia/crise-hidrica-impulsiona-mercado-de-energia-solar/> . Acesso em: 2021 ago. 04.

Quanto tempo o vidro leva para se decompor? **ANAVIDRO**, 2020 Disponível em: <https://www.anavidro.com.br/quanto-tempo-o-vidro-leva-para-se-decompor/Livro> Acesso em: 2021 out. 25

REIS, PEDRO. Painéis solares duas vezes mais eficientes com nova tecnologia de lentes. Portal Energia, 2019. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/paineis-solares-mais-eficientes-nova-tecnologia-lentes-146074/> Acesso em: 2021 out. 24

SILVA, D. C. M. Índice de refração e a dispersão da luz. PrePara Enem, 2017. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/indice-refracao-dispersao-luz.htm/>. Acesso em 2021 out 24.

SOUSA, C.; JÚNIOR, O. **Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha.** 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/t7NryC6KdCmwL4RXL4pjVfN/?lang=pt>. Acesso em: 22/05/2021

SOUSA, R. Movimentos da Terra, Mundo educação. 2015. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/movimentos-terra.htm>. Acesso em: 2021 out. 25.

SUÇUARANA, M. Fontes de energia renováveis no Brasil. **Infoescola**, 2017. Disponível em: <https://www.infoescola.com/energia/fontes-de-energia-renovaveis-no-brasil/>. Acesso em: 20/05/2021

SVARC, J. Best solar inverters 2021. **CLEAN ENERGY REVIEWS**, 2021. Disponível em: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/best-grid-connect-solar-inverters-sma-fronius-solaredge-abb>. Acesso em: 2021 ago. 04.

TAUBE, J; FELIX, L, P, L. Otimização do processo de geração de energia solar fotovoltaica Usando um simulador de refrator móvel. Universidade Federal da Fronteira Sul. 2020
Disponível em: <https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/JORNADA/article/view/13936/9313>.
Acesso em: 2021 out. 28

VILLALVA, G. MARCELO. Energia Solar Fotovoltaica, conceitos e aplicações, 2016. Editora Saraiva, segunda edição.

VINTURINI, MATEUS. Os módulos FV devem ser orientados sempre para o Norte? **Canal Solar**, 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/os-modulos-fv-devem-ser-orientados-sempre-para-o-norte/>. Acesso em: 2021 out. 16

WOLFGANG, B.; D., W. G.; DIAS, Helio. Física para Universitários: Grupo A, 2013. 9788580552034. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552034/>. Acesso em: 2021 ago. 04.