

XX Seminário de Pesquisas em Engenharia Mecânica  
www.uff.br/petmec

1/2021

# RASTREADOR SOLAR DE EIXO DUPLO: UM ESTUDO PARA A OTIMIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Camilla Schausse Vasconcelos da Silva<sup>1</sup>, Eduardo de Carvalho Santos<sup>2</sup>

Engenharia Mecânica

Email: camillaschausse@id.uff.br, eduardosantos@id.uff.br

**Resumo:** Nos tempos modernos, reflexões e análises acerca do aquecimento global tem impelido países a se unirem, na tentativa de buscar soluções estratégicas benéficas para o meio ambiente. A ação antrópica tem elevado as emissões, em que tem sido retido mais calor nas camadas mais baixas da atmosfera, provocando com isso, danos ao Planeta. De acordo com os cientistas, mais de um terço dos gases de efeito estufa emitidos, estão relacionados com a ação do homem, principalmente na esfera da geração de energia. Os problemas relativos a estas emissões cresceram exponencialmente com o advento da industrialização e o crescimento populacional. A energia solar, proveniente do Sol, tem sido, uma satisfatória alternativa, que tem impulsionado pesquisadores, por ser abundante e natural. Esta, tem um papel ainda pequeno na diversificação da matriz energética do Brasil, um país privilegiado por sua localização entre os trópicos, que na maior parte do ano possui em abundância este recurso. Diante disso, este trabalho visa estudar e sugerir um projeto de uma estrutura de rastreador solar de eixo duplo, a fim de contribuir para a disseminação da energia solar fotovoltaica em solo brasileiro, sendo norteado pelos aspectos socioambientais e econômicos tão significativos globalmente.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica, rastreador solar, estrutura solar.

## 1. INTRODUÇÃO

O mundo é movido a energia. O ser humano consome essa energia em todos os momentos,

seja comendo, trabalhando, se deslocando ou até mesmo lendo este trabalho. O modo como esta é utilizada evolui constantemente no decorrer da história da humanidade. No começo, utilizava-se apenas a energia obtida de alimentos para a realização de tarefas diárias, o que lhes permitia caçar e desenvolver instrumentos que tornassem a caçada mais eficiente. Com inovações, como o domínio sobre o fogo, a roda e a domesticação de animais, se tornou possível utilizar outros modos de energia. Inicialmente se utilizou o fogo para fornecer energia térmica e iluminação para os ambientes. Já os animais e, até os rios eram utilizados como fonte de energia para trabalhos necessários, como no processo de moer os grãos colhidos ou no tratamento do solo, como mostra a figura 1 [1].



**Figura 1:** Tração animal sendo usada para puxar um arado utilizado para tratamento do solo congelado.

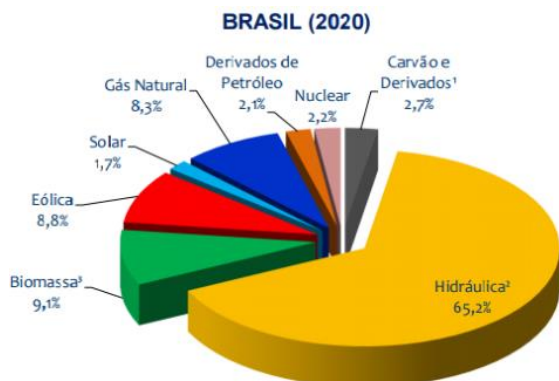
A evolução no uso de energia continuou gradativamente até a invenção do motor a vapor, marco da 1ª Revolução Industrial. Com isso, passou a ser possível produzir outros modos de energia além da térmica a partir do fogo, utilizando da queima de combustíveis fósseis e aquecimento

da água. Desde então, este modo de produção de energia, mesmo passando por diversas evoluções, se mantém como principal fatia da matriz energética mundial.

Com os avanços dos estudos sobre aquecimento global e sustentabilidade, se tornou claro as consequências de séculos de produção energética agressivas ao meio ambiente, causando emissões colossais de gases que provocam o efeito estufa. Desta forma, passou-se a buscar outras fontes de energia que tem condições de manter a demanda energética mundial em constante crescimento sem ter efeitos prejudiciais sobre o meio ambiente. Desta forma, as chamadas “Energias Renováveis” vêm ganhando espaço nas discussões energéticas mundiais, sendo consideradas o futuro da energia em todo o mundo.

### 1.1 Energia Renovável no Brasil

A utilização de energia renovável não é nenhum problema para o Brasil. Hoje, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética [2], como mostrado na figura 2, mais de 80% do consumo de energia elétrica do Brasil provém de fontes renováveis. Em comparação, a média mundial de consumo energético de fontes renováveis é inferior a 30%. Estes dados podem ser motivos de orgulho à primeira vista, mas precisa-se tomar cuidado. O principal motivo para uma matriz energética majoritariamente renovável se dá pela produção de energia hidroelétrica (~65%). Vale a reflexão sobre a principal fonte de energia brasileira. Dois estudos, um deles publicado pela revista americana Science e outro pela Universidade Estadual de Michigan (MSU), colocam em xeque a sustentabilidade das hidrelétricas.



**Figura 2:** Matriz energética brasileira (EPE,2020)

Do gráfico exposto, percebe-se que a energia solar, tida como energia “limpa” pelo fato de gerar mínimos impactos ao meio ambiente, ainda está despontando em solo brasileiro.

### 1.2 Energia Solar no Brasil

O Brasil é um país privilegiado em diversos fatores para a produção de energia fotovoltaica. Os principais pontos são suas reservas de quartzo abundantes, para produção de silício (matéria prima mais comum na produção de painéis solares), e sua alta incidência solar em, praticamente, todo o território. Se fosse aproveitada apenas 3% de toda a energia solar captada em áreas urbanizadas, seria possível cobrir 10% da demanda energética brasileira [3]. Outro fator que incentiva o crescimento acelerado deste tipo de energia é a carga tributária consideravelmente menor e a maior facilidade de conseguir crédito incentivado.

Até o ano de 2007, a única maneira de se consumir energia era através da geração convencional, isto é, energia é produzida em grande escala e distribuídas (pela rede de transmissão) até o consumidor. Neste ano, a Agência Nacional de Energia Elétrica regulamentou um novo modo, chamado de Geração Distribuída. Este novo modo se caracteriza no conceito de produção de energia junto (ou próximo) aos consumidores, na mesma rede distribuidora que aquela unidade se encontra. Esses micro e minigeradores são capazes de abastecer residências, comércios e indústrias próximos ao centro de carga, e podem ter até uma injeção de carga na rede de até 5MW de potência.

No Brasil, a geração distribuída foi um modo de se incentivar a produção de energias sustentáveis (solar, eólica, ...). Em 2019, a produção de GD cresceu 169% em relação ao ano anterior [1], sendo 75% do todo proveniente de energia fotovoltaica.

### 1.3 Metodologia do Trabalho

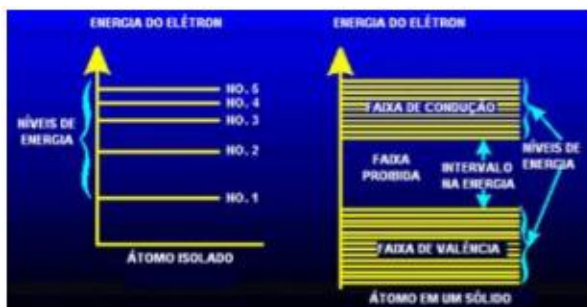
Este trabalho, como comentando anteriormente, se propõe a projetar uma estrutura fotovoltaica funcional, simplificada, de baixo custo e ambientalmente positiva com rastreador solar de eixo duplo. Para isso, será analisado dois modelos de rastreadores muito comuns no mercado, determinando qual melhor se enquadra nas pretensões do trabalho. Após esta determinação de modelo, serão escolhidos os equipamentos presentes na estrutura, como painel solar, motor elétrico, entre outros. Será feito, também, um modelo estrutural do projeto, calculando suas características estáticas e determinando perfil e material dos eixos. Por fim, este sistema projetado será comparado com os presentes em mercado,

afim de mostrar sua simplicidade e, possivelmente, custo reduzido. Lembrando que todos os pontos do trabalho são focados no mínimo impacto ao meio ambiente, reforçando a necessidade de preocupação com os impactos socioambientais.

## 2 Energia Fotovoltaica

### 2.1 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é possível em materiais denominados semicondutores, isto é, materiais que conduzem eletricidade de maneira mais efetiva que os isolantes e menos que os condutores. Estes se caracterizam pela presença de faixas de energia onde é permitida a presença de elétrons (faixa de valência) e de outra totalmente “vazia” (faixa de condução). Entre estas duas faixas se encontra o hiato energético (ou faixa proibida). A largura deste espaço que determina se o material é semicondutor. Enquanto materiais isolantes tem uma faixa proibida larga, aproximadamente 6 eV, os semicondutores apresentam largura média na ordem de 1 eV. Des forma, fótons, na faixa da luz visível, com energia superior ao gap (hiato) de energia podem excitar elétrons da faixa de valência até a faixa proibida. Esta transferência de elétrons se dá através das células dos painéis, gerando a energia elétrica (ou melhor: convertendo em) [4].



**Figura 3:** Intervalo Energético no Efeito Fotovoltaico

Entre os semicondutores, o mais utilizado para a aplicação fotovoltaica é o silício. Seus átomos possuem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Se for adicionado, a esta rede, átomos de fósforo, com cinco elétrons de ligação, sempre haverá um elétron em excesso. Este estará fracamente ligado ao átomo, facilitando seu deslocamento para a faixa de condução, ou seja, maior eficiência para o painel.

### 2.2 Rastreadores Solares

Diversos estudos buscam a melhora da efetividade de produção da energia fotovoltaica, melhorando seus componentes e estudando as melhores localizações. Porém, o modo que se mostrou mais promissor para a otimização da produção de um sistema de painéis solares é o de rastreamento solar.

Este sistema se caracteriza pela utilização de eixos (único ou duplo) para fazer com que os painéis acompanhem a movimentação solar (diária e anual), aumentando assim a incidência solar captada. Estes sistemas possibilitam que os painéis se estejam sempre na melhor angulação em relação ao Sol.

Estudos afirmam que o uso destes sistemas gera um aumento na entrega de energia de uma produção fotovoltaica entre 15% e 35% [5]. Entretanto, outros fatores precisam ser considerados, como a presença de motores, espaço extra de instalação e, principalmente, a manutenção exigida. A avaliação da utilização de rastreadores solares, detalhando as implicações complementares é justamente o objetivo deste trabalho.

### 2.3 Análise Geral

Este tópico analisa, de uma maneira geral, dois sistemas de rastreadores que se constituem objetos de estudo deste trabalho. Sabendo que ambos os sistemas são de eixo-duplo, a análise focou em dar uma conclusão para as diferenças expostas anteriormente, escolhendo qual modelo será adotado no restante do trabalho.

O Rastreador “A” constitui de um modelo comercial muito encontrado no mercado internacional. Muitos fabricantes de rastreadores solares utilizam deste sistema, composto por uma engrenagem com eixo sem fim (“slew drive”) e um atuador elétrico. Montagem facilitada devido à utilização de poucos componentes, segurança na operação e precisão no posicionamento são os fatores positivos. O custo é maior, se comparado aos outros, principalmente em razão dos elementos acima serem de maior complexidade e manufaturados por empresas terceirizadas.

O Rastreador “B”, operado por cabos, mostrou-se como uma solução eficaz e barata, devido à simplicidade na construção do rastreador. Dentre os mecanismos estudados, é o que apresenta maior resistência à força dos ventos em estado de repouso. Os motores giram os carretéis dos cabos de aço, porém não há informação se estão

diretamente conectados ou se há alguma relação de transmissão.

Resumindo, por tanto, pode-se dizer que a escolha do sistema de rastreador para um projeto deve considerar, principalmente, três macro quesitos. Importante comentar que estes quesitos variam dependendo da quantidade de painéis e da localização da instalação:

- Resistência mecânica ao carregamento dos painéis;
- Resistência à força dos ventos;
- Acessibilidade para manutenção preventiva e corretiva.

Desta forma, pensando em condições comuns da cidade do Rio de Janeiro e focando na simplicidade, sustentabilidade e rentabilidade, este trabalho escolheu o modelo "A" para seguir com a análise. Assim, vai-se estudar mais detalhadamente questões mecânicas, de instalação e de manutenção de rastreadores deste tipo.

### 3. Escolha de Equipamentos

Após a determinação do modelo de rastreador a ser seguido, foi realizada uma análise dos equipamentos necessários para iniciar a o projeto do rastreador a ser desenvolvido. Para isso, uma série de opções para cada equipamento, disponíveis no mercado, foram analisadas, em que foi selecionado o que melhor se adéqua ao estudo em questão. Os equipamentos pesquisados foram: Painel Solar, Motor Elétrico, Atuador Linear e Sensor de Luminosidade. Assim,

#### Painel Escolhido:

Modelo: CS3W-450MS (Canadian Solar)

#### Motor Escolhido:

Modelo: "Slew Drive SE5"

#### Atuador Escolhido:

modelo NW - 1500 - 12 da ECO-WORTHY

#### Sensor Escolhido:

modelo GL5528

### 4. Força do Vento

Após definir os equipamentos que serão utilizados na estrutura projetada, faz-se necessário calcular a força referente ao vento, a ser utilizada no cálculo estrutural, a ser detalhado no próximo capítulo. Para isso, utilizou-se a NBR 6123, calculando a velocidade característica, a pressão dinâmica e a força do vento em função da

angulação dos painéis. Com este cálculo feito, se tornou possível determinar a força máxima relativa ao vento sobre a estrutura.

Da velocidade característica, tem-se:

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

Definindo:

Fatores	Valor
V <sub>o</sub>	35,00
S <sub>1</sub>	1,00
S <sub>2</sub>	1,34
S <sub>3</sub>	1,10

Item	Valor
V <sub>k</sub>	51,41

Agora, utilizando o valor calculado para a velocidade característica (V<sub>k</sub>), é possível, segundo a mesma norma, definir a pressão dinâmica referente ao vento na estrutura fotovoltaica deste trabalho. Para isso, calcula-se a equação abaixo:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

Desta forma, determinou-se que a pressão dinâmica considerada na estrutura é de **1.631,52 N/m<sup>2</sup>**.

Após alguns cálculos e análises, foi possível observar que a força do vento máxima se faz na angulação de 60°, ou seja, situação em que os painéis solares estão mais angulados em relação ao solo. Desta maneira, este trabalho conclui que, para a estrutura que estamos projetando, a força do vento máxima a ser considerada, seguindo as determinações da NBR 6123, é **de 3.277,51 N ou 3,28KN**.

### 5. Análise e Dimensionamento Estrutural

#### Dimensionamento Estrutural:

- Eixo Vertical Principal = 3,4 m
- Altura de Instalação do "Slew Drive" = 1,8m
- Eixo Horizontal (Ligado aos Painéis) = 2m

Estrutura de Sustentação dos Painéis:

- 3 Barras Verticais = 1,8m

- 3 Barras Horizontais = 2m
- 2 Barras de apoio a sustentação do eixo horizontal = 1,06m

A ser realizado:

- **Calculo Estático:** Cortante e Momento Fletor em cada ponto dos 2 eixos.
- **Escolha do Material:** Explicação do material utilizado e suas características.

## 6. Instalação e Manutenção

A ser realizado:

Estudo de Instalação e Manutenção do sistema, visando o **prolongamento da sua vida útil.**

## 7. Comparação

A ser realizado:

- Análise comparativa de todos os componentes do sistema projetado em relação a um disponível no mercado, visando mostrar a **viabilidade econômica do trabalho.**

## 8. Conclusão

Estudos, análises e cálculos ainda estão sendo realizados para a elaboração de um parecer final acerca da viabilidade econômica ambiental do intento.

## AGRADECIMENTOS

Somos gratos a Deus, familiares e amigos, pelo suporte, apoio, forças dadas a nós até aqui, a fim de que concluíssemos este projeto final de graduação.

## REFERÊNCIAS

- [1] Energia ao Longo do tempo. Disponível em:  
<https://www.matrizenergia.com/post/energia-ao-longo-do-tempo>
- [2] Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Disponível em:  
<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-aberto>

- [3] MOREIRA P> F>; MILLIKAN, B. O Setor Elétrico Brasileiro e Sustentabilidade no Século 21. Brasil,2012
- [4] BRAGA, Renata. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações. Rio de Janeiro, 2008
- [5] APPLEYARD, D. Solar Trackers: Facing the Sun. Renewable Energy World. EUA,2012