

## Desenvolvimento de conjunto mecânico para ajuste de posição de sistema ativo de rastreamento solar

Rabeche K. S. Arruda (IFPB, Campus Cajazeiras), Joalisson W. Sousa de Brito (IFPB, Campus Cajazeiras), Joab S. Andrade (IFPB, Campus Cajazeiras), Emanuel R. Q. C. Junior (IFPB, Campus Cajazeiras), Leonardo P. L. Silva (IFPB, Campus Cajazeiras), Francisco A. Vieira da Silva (IFPB, Campus Cajazeiras).

**E-mails:** [rabechekarruda@gmail.com](mailto:rabechekarruda@gmail.com), [joalisson.weberson@academico.ifpb.edu.br](mailto:joalisson.weberson@academico.ifpb.edu.br), [joab.andrade@ifpb.edu.br](mailto:joab.andrade@ifpb.edu.br), [emanoel.chaves@ifpb.edu.br](mailto:emanoel.chaves@ifpb.edu.br), [lucena.leonardo@ifpb.edu.br](mailto:lucena.leonardo@ifpb.edu.br), [francisco.vieira@ifpb.edu.br](mailto:francisco.vieira@ifpb.edu.br).

**Área de conhecimento (Tabela CNPq):** 3.05.05.05-4 Processos de Fabricação, Seleção Econômica.

**Palavras-chave:** painéis solares, sistema ativo de rastreamento solar, conjunto mecânico.

### 1. Introdução

O Brasil conta com um território de mais de 8 milhões de km<sup>2</sup> e uma população que passa dos 202 milhões de habitantes de acordo com o IBGE (2024) e enfrenta o desafio de aumentar a geração de energia elétrica de forma integrada e sustentável. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024) registrou o consumo de 531 GWh no ano de 2023, o que representa um aumento de 4,32% em relação ao ano anterior. No ano de 2023, as energias eólica e solar juntas representaram apenas 4,4% da matriz energética brasileira, contra 12,1% da hidráulica/hídrica e 35,1% de petróleo e seus derivados (EPE, 2024). Para se alinhar às metas mundiais e fazer uma transição energética para fontes renováveis, o Brasil tem o desafio de diversificar e expandir a sua matriz energética. As energias renováveis ocupam uma posição estratégica na pauta da transição energética, um processo crucial que busca substituir as fontes de energia fósseis por alternativas mais sustentáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente. A energia solar, dentre as fontes renováveis, tem o maior potencial, visto que apenas uma pequena fração desta energia seria capaz de suprir a demanda energética mundial (Carmo, 2021).

Sistemas ativos de rastreamento solar (ASTS, na sigla em inglês) — mecanismos que ajustam a posição dos painéis para mantê-los perpendiculares aos raios solares — podem aumentar significativamente a eficiência na geração de energia (Fuentes-Morales *et al.*, 2020). Esses sistemas são classificados conforme seus graus de liberdade: com um eixo, dois eixos ou múltiplos eixos. Eles são especialmente eficazes no início da manhã e no final da tarde, quando o ângulo da radiação solar em relação à superfície é menor. De acordo com Singh *et al.* (2018), sistemas com um eixo podem aumentar a eficiência em 12 a 25%, enquanto os de dois eixos podem alcançar ganhos de 30 a 45%.

Este trabalho apresenta o projeto e análise de um conjunto mecânico para ser integrado em um sistema ativo de rastreamento solar. O objetivo desses sistemas é alcançar alta precisão no rastreamento do Sol, minimizando perturbações e garantindo estabilidade, além de gerar sinais de controle suaves (Fuentes-Morales *et al.*, 2020). O primeiro passo para a implementação deste tipo de sistema é o desenvolvimento de uma estrutura mecânica capaz de suportar os painéis solares com segurança, permitindo a movimentação necessária para o rastreamento. A partir disso, o sistema é composto por diversos componentes, como subsistemas de acionamento mecânico e de transmissão, motores elétricos, sensores de posição solar, algoritmos de cálculo da posição do Sol, unidades de controle e interruptores de limite (Prinsloo e Dobson, 2015).

### 2. Materiais e métodos

Para assegurar o posicionamento eficiente dos painéis solares, foram selecionados componentes mecânicos chave para o sistema. A inclusão de uma engrenagem sem-fim e de um suporte compatível visa garantir estabilidade, precisão e resistência a cargas externas. Esses elementos são essenciais para o desempenho confiável do sistema de rastreamento. A seguir, são apresentadas as etapas do desenvolvimento.

#### 2.1 Engrenagem sem fim

A engrenagem sem-fim foi definida com os seguintes parâmetros: o diâmetro primitivo da engrenagem é 338 mm, enquanto o diâmetro primitivo do sem-fim é 144 mm. O número de dentes da engrenagem é 48, e o número de entradas do sem-fim é 04. O ângulo da hélice é 3,5763°, garantindo a relação de redução aproximada de 12:1. Outros parâmetros, como o módulo 7,8 mm e o passo axial 25,133 mm foram determinados para assegurar o funcionamento eficiente e durável do conjunto.

Os parâmetros calculados para a engrenagem projetada podem ser verificados na Tabela 1, dentre eles a carga tangencial, o fator de velocidade e profundidade do dente. Os parâmetros foram calculados usando como referência a potência transmitida de 10 kW, velocidade de rotação da engrenagem de 1400 r.p.m., o material da engrenagem foi definido como bronze fundido (resistência a tração de aproximadamente 225 MPa) e o do sem fim aço inoxidável

grau 434, assim como o suporte, descrito na seção seguinte.

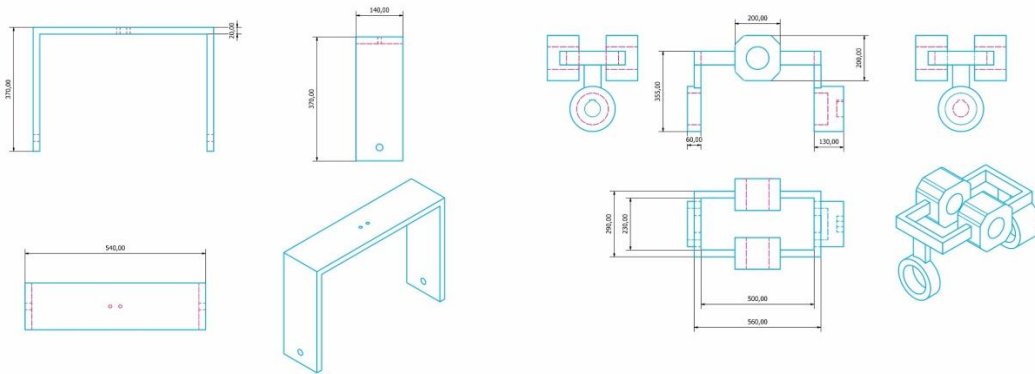
Tabela 1 – Parâmetros do projeto.

Parâmetros	Símbolo	Valor
Distância entre centros [mm]	x	225
Profundidade do dente [mm]	h	15,66
Carga tangencial [N]	WT	4260
Fator de velocidade [adimensional]	Cv	0,72
Eficiência [%]	$\eta$	89
Tensão de Cisalhamento Máxima [MPa]	$\tau_{max}$	46,4

### 2.2 Suporte para painel solar

Para compor o suporte mecânico, foi projetado um suporte feito de aço inoxidável grau 434 (resistência a tração de 540 MPa, tensão admissível de escoamento de 147 MPa e coeficiente de expansão térmica de  $10,4 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ ), o suporte foi idealizado de forma a permitir o posicionamento do painel em dois eixos, aproveitando o movimento da engrenagem sem fim, para tal, fez necessário adição de dois motores ao conjunto para o correto controle de posição. As dimensões do suporte podem ser verificadas na Figura 1.

Figura 1 – Dimensões do suporte.

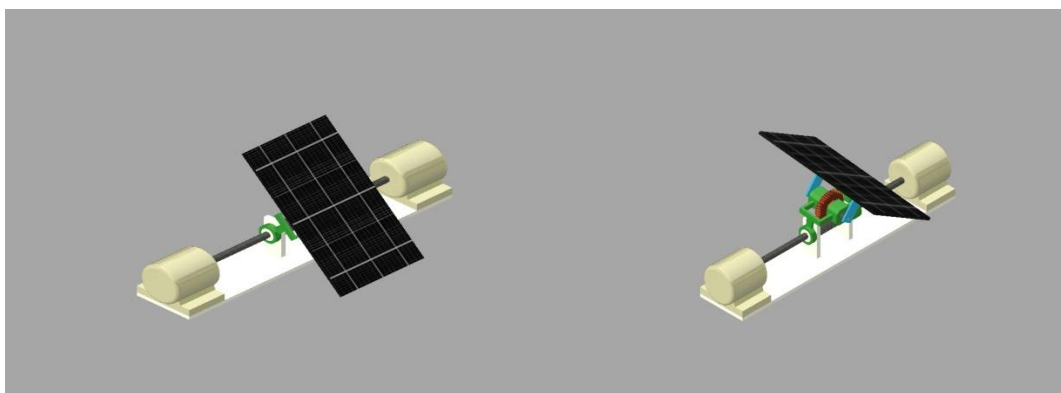


Fonte: elaborada pelos autores (2025).

### 2.3 Estrutura do conjunto mecânico

O resultado final após a integração de todas as peças do conjunto pode ser verificado na Figura 2, assim como a dinâmica de funcionamento do sistema.

Figura 2 – Versão final do conjunto mecânico.

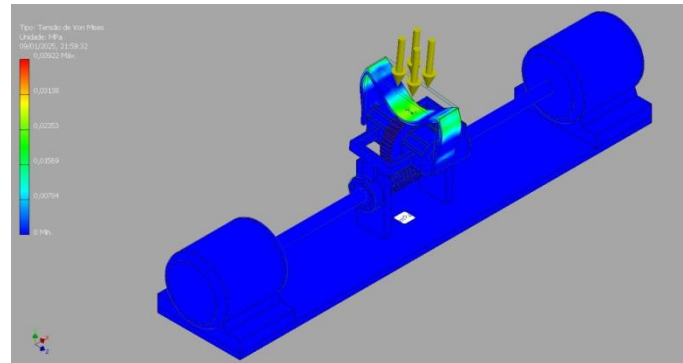


Fonte: elaborada pelos autores (2025).

## 3. Resultados e discussão

Utilizando o *software* Autodesk Inventor, foram executadas análises estruturais, dentre elas o teste de Von Mises, que permite identificar regiões de concentração de tensão e verificar se o material opera dentro dos limites elásticos. Os testes foram realizados aplicando uma tensão equivalente a uma carga distribuída de 200 N, valor aproximado ao peso de um painel solar de 60 células, com dimensões genéricas de 164 cm x 99 cm. A partir do teste, foi possível concluir que o conjunto opera com segurança dentro dos limites elásticos do material, sendo a maior tensão registrada de 0,02353 MPa. O teste demonstrou que o projeto possui uma boa distribuição de tensões, ou seja, as tensões estão bem distribuídas ao longo da estrutura, sem pontos críticos de concentração que poderiam gerar falhas ou deformações localizadas. Isso indica que os materiais e dimensões escolhidos são adequados para resistir às cargas aplicadas de forma eficiente e segura. Os resultados do teste de Von Mises podem ser verificados na Figura 3.

Figura 3 – Teste de Von Mises do conjunto mecânico.



Fonte: elaborada pelos autores (2025).

#### 4. Considerações finais

Com base nas análises realizadas, conclui-se que a engrenagem sem-fim projetada apresenta desempenho estrutural confiável, conforme evidenciado pelos resultados obtidos. O teste de Von Mises indicou que as tensões atuantes permanecem bem abaixo do limite de escoamento do material, com concentração moderada apenas em áreas de contato, o que confirma a eficiência do projeto na distribuição de tensões. Além disso, as dimensões da engrenagem foram validadas tanto para resistência quanto para compatibilidade funcional, assegurando um equilíbrio entre robustez estrutural e eficiência operacional. Esses resultados demonstram que o projeto atende plenamente aos requisitos de confiabilidade e durabilidade esperados para sua aplicação. Em trabalhos futuros planeja-se integrar o conjunto mecânico a um sistema de controle em malha fechada, além de testar o funcionamento prático do sistema e verificar a sua eficiência comparada a modelos fixos de geração de energia solar.

#### Referências

AUTODESK. *Autodesk Inventor 2025* [recurso eletrônico]. San Rafael, CA: Autodesk Inc., 2025. Software de projeto mecânico tridimensional.

CARMO, J. M. D. D. *Otimização da captação de energia solar por meio da automação dos painéis solares*. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Computação) - Universidade Federal do Ceará.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética) *Balanco Energético Nacional (ano-base 2024)*. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: abr. 2025.

FUENTES-MORALES, R. F. *et al. Control algorithms applied to active solar tracking systems: A review. Solar Energy*, 2020. DOI 10.1016/j.solener.2020.10.071.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Brasileiro de 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

PRINSLOO, G., DOBSON, R. (2015). *Solar Tracking, Sun Tracking, Sun Tracker, Solar Tracker, Follow Sun, Sun Position*. 10.13140/2.1.2748.3201.

SINGH, R. *et al. An imperative role of sun trackers in photovoltaic technology: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Fevereiro 2018. DOI 10.1016/j.rser.2017.10.018.