



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

Avaliação da Resposta de Termogeradores em Função da Exposição à Irradiação **Evaluation of the Response of Thermogenerators as a Function of Exposure to Irradiation**

Autores: Fernando Pagnin Schmid, Frederico Antonio Genezini

Instituição: Ipen- diretoria.ipen@cnen.gov.br

RESUMO

A aplicação de dispositivos termogeradores elétricos (TEG), com o intuito de servirem como ferramenta auxiliar na produção de energia em diferentes matrizes energéticas, tem se expandido devido à crescente preocupação com as mudanças climáticas e à proximidade do encerramento de acordos globais, como os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), cuja vigência se estende até 2030. Nesse contexto, o uso desses dispositivos em instalações nucleares, como reatores ou mesmo em baterias radioativas, também tem aumentado. Contudo, os defeitos promovidos pela radiação ionizante em dispositivos eletrônicos — principalmente devido à interação com raios gama e nêutrons — podem limitar a implementação desses equipamentos.

Este trabalho tem como foco avaliar o desempenho desses semicondutores sob diferentes níveis de dose de radiação, de modo a aprofundar a análise do dano que pode comprometer seu funcionamento. A investigação é conduzida por meio da análise das mudanças nos parâmetros elétricos em função do aumento da dose absorvida. Os experimentos foram realizados com 10 corpos de prova, analisados antes e após a exposição a doses progressivamente crescentes, possibilitando compreender o comportamento elétrico dos dispositivos nessas condições.

Os resultados preliminares, obtidos apenas com radiação gama, indicam aumento dos parâmetros elétricos na faixa de 1 kGy a 2 kGy. Para doses mais elevadas, de até 8 kGy, os valores dos parâmetros apresentaram maior semelhança com os dispositivos não irradiados, podendo indicar um efeito de compensação em altas doses (rebound) ou de barreira de Schottky.

Palavras-chave: Radiação, Energia, Defeitos, Semicondutor

ABSTRACT

The application of thermoelectric generator (TEG) devices, intended to serve as an auxiliary tool for energy production in different energy matrices, has been expanding due to the growing concern with climate change and the approaching deadline of global agreements, such as the 17 Sustainable Development Goals (SDGs), which remain in effect until 2030. In this context, the use of such devices in nuclear facilities, such as reactors or even in radioisotope batteries, has also increased. However, the defects induced by ionizing radiation in electronic devices — mainly due to the interaction with gamma rays and neutrons — may limit the implementation of these systems.

This work focuses on evaluating the performance of these semiconductors under different radiation dose levels, aiming to deepen the analysis of the damage that may compromise their functionality. The investigation is conducted through the analysis of changes in electrical parameters as the absorbed dose increases. The experiments were carried out with 10 test samples, analyzed before and after exposure to progressively increasing doses, thus enabling a better understanding of the electrical behavior of the devices under these conditions.

Preliminary results, obtained with gamma radiation only, indicate an increase in the electrical parameters in the range of 1 kGy to 2 kGy. For higher doses, up to 8 kGy, the parameter values showed greater similarity to those of non-irradiated devices, suggesting a rebound and Schottky effect.

Keywords: Radiation, Energy, Defects, Semiconductor



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

1 INTRODUÇÃO

Dentro das últimas décadas, a demanda de energia vem crescendo rapidamente, chegando a aumentar em 5% na última década, sendo que metade provém de combustível fóssil, por isso vem aumentando a necessidade em melhorar a eficiência e crescimento das matrizes energéticas, para que haja uma maior produção de energia elétrica que atenda esse aumento de nível de consumo de energia ao redor do mundo. Na busca de uma forma para minimizar tal preocupação, são apresentadas algumas ideias em certos países, como a diversificação de suas matrizes energéticas em resposta ao aumento dos níveis de consumo ao redor do mundo e uma forma de se evitar com a má experiência econômica que o mundo teve com as crises do petróleo de 1973 e 1978. Tendo essa necessidade de então de ajudar a melhorar a eficiência e produção de energia elétrica nas cidades e no setor industrial, para alcançar uma melhor economia, que seja menos dependente de fontes poluentes e eficaz, surge a proposta do uso de TEGs (geradores termo elétricos), como ferramenta de reaproveitamento de energia, por meio do efeito *seeback*, que converte um gradiente de temperatura em potencial elétrico, auxiliando assim na captação de energias residuais, para alimentação de outros dispositivos dentro da indústria, com isso, o objetivo deste trabalho foi utilizar dois modelos de TEGs de base de silício (modelos 127 e 126), submetidos a doses de radiações gama e nêutrons rápidos, e realizar um estudo quantitativo e comparativo de sua resposta, por meio de alguns dos seus parâmetros, como voltagem e corrente, para assim avaliar o desempenho dos TEGs antes e depois da irradiação e estipular uma fluência que TEGs possam permanecer em ambientes com exposição de partículas ionizantes sem sofrerem danos irreversíveis para sua utilização, para assim esses dispositivos possam ser utilizados dentro de setores energéticos nucleares.

2 METODOLOGIA

A pesquisa utilizou 10 dispositivos tegs, de 2 modelos diferentes, 5 unidades do modelo teg 126 e 5 unidades do modelo 127, com estes corpos de prova separados pelos seus respectivos modelos, dividiu se também os experimentos em etapas diferentes para se obter resultados em circunstâncias distintas, para que pudessem ser comparados e entender o comportamento dos semicondutores na exposição da radiação e na gradual elevação de doses em que esses semicondutores recebiam, a primeira etapa foram medidos os valores de corrente e voltagem dos corpos de prova sem que eles estivessem submetidos a nenhuma dosagem de radiação iônica, as etapas seguintes foram submetendo os tegs em diferentes doses de radiação gama, com o uso do equipamento gamma chamber, e em cada dosagem, houve a coleta de dados de corrente e voltagem para verificar a resposta do semicondutor com a exposição da radiação, as dosagens feitas foram de 1KGy até 8KGy na radiação gama. Com relação a radiação por nêutrons rápidos e térmicos será feita dentro das instalações do Ipen. Os estudos com relação a radiação por nêutrons rápidos e térmicos ainda será feita nas instalações do IPEN.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados preliminares da resposta do material com a radiação gama mostram que os parâmetros como corrente e voltagem foram alterados e aumentaram em relação aos valores de medidas sem dose, contudo esse aumento conforme as dosagens não apareceu constante, uma vez em que pequenas dosagens como 1KGy e 2KGy, observou se que os valores de voltagem aumentavam significante enquanto os valores da corrente diminuía, porém, conforme aumentava se a



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

dosagem, os valores de corrente e voltagem mostravam se mais altos do que os valores sem radiação, mas a diferença entre esses valores havia diminuído, pode se dizer que a causa que resultou em tais eventos foram as mudanças micro estruturais com a criação de elétrons-pares dentro da estrutura dos corpos de prova, ocasionadas pela radiação, a figura 1 a seguir mostra esse comportamento que foi estudado de um dos Teg, modelo 127 até a dosagem 8 KGy, mostrando o valor da média e do desvio padrão de cada parâmetro elétrico, em 5 faixas de temperaturas diferentes.

127 n2 não gama			127 n2 gama(1kg)			127 n2 gama(2Kgy)			127 n2 gama(4Kgy)			127 n2 gama(8 KGy)		
temperatura (°C)	voltagem(média)	desvio padrão	voltagem(média)	desvio padrão	voltagem(média)	desvio padrão	voltagem(média)	desvio padrão	voltagem(média)	desvio padrão	voltagem(média)	desvio padrão	voltagem(média)	desvio padrão
50-65	0,48094	0,000162481	0,48268	0,000337046	0,59904	0,00028	0,5094	0,00012	0,52484	0,00012	0,52484	0,00012	0,52484	0,00012
50-85	1,14786	0,000162481	1,19712	0,002524594	1,4588	0,0001166	1,2458	0,0001166	1,2458	0,0001166	1,2458	0,0001166	1,2458	0,0001166
50-105	1,82538	0,000193907	1,90828	0,000487442	2,22266	0,0002727	2,01112	0,0002727	2,01112	0,0002727	2,01112	0,0002727	2,01112	0,0002727
50-125	2,49638	0,00024	2,59158	0,000570614	3,0276	0,00030066	2,7685	0,00030066	2,7685	0,00030066	2,7685	0,00030066	2,7685	0,00030066
50-145	3,13814	0,000233238	3,23826	0,000402989	3,7918	0,00032863	3,45378	0,00032863	3,45378	0,00032863	3,45378	0,00032863	3,45378	0,00032863

temperatura	corrente(média)	desvio padrão	corrente(média)	desvio padrão	corrente(média)	desvio padrão	corrente(média)	desvio padrão	corrente(média)	desvio padrão	corrente(média)	desvio padrão
50-65	0,252	0	0,2406	0,0008	0,2666	0,00048948	0,2662	0,0004	0,2582	0,0004	0,2582	0,0004
50-85	0,594	0	0,5504	0,000494848	0,6156	0,00048989	0,617	0,0004	0,599	0	0,599	0
50-105	0,921	0	0,8544	0,00048989	0,965	0	0,917	0	0,9416	0,0005	0,9416	0,0005
50-125	1,221	0	1,135	0	1,22994	0,00048948	1,313	0	1,265	0	1,265	0
50-145	1,4972	0,0004	1,3904	0,00048989	1,5988	0,00074833	1,61	0	1,55	0	1,55	0

Figura 1 – Medição dos parâmetros elétricos com elevação da dosagem por radiação gama em 5 faixas de temperatura diferentes

Também em outro dispositivo teg, do mesmo modelo 127, com resultados preliminares, mostrou se comportamento semelhante com o do outro experimento do primeiro teg, em que doses até 2KGy, os valores dos parâmetros elétricos são aumentando, mas ao chegar a valor de dose de 3KGy, os valores elétricos como a voltagem voltam a estar próximos com os valores sem radiação, a figura 2 a seguir mostra esse comportamento, esse a dosagem feita nesse segundo teg foi feita até 3KGy, mostrando o valor da média e do desvio padrão de cada parâmetro elétrico, em 5 faixas de temperaturas diferentes.

temperatura	127 n3 não gama		127 n3 gama(1kg)		127 n3 gama(2Kgy)		123 n3 gama(3kg)		
	voltagem (média)	desvio padrão	voltagem (média)	desvio padrão	voltagem (média)	desvio padrão	voltagem (média)		
50-65	0,5022	0,00016	0,52304	0,000412	0,52124	0,000771	0,507	0,0006086	
50-85	1,19126	0,00016	1,2535	0,0002	1,24646	0,0003322	1,21022	0,000222	
50-105	1,87362	0,00012	1,9718	0,000521	1,96214	0,000301	1,902242	0,000621	
50-125	2,5305	0,00018	2,66912	0,00041	2,65692	0,0007222	2,568	0,00048998	
50-145	3,14506	0,00008	3,33756	0,000625	3,3232	0,00027568	3,19724	0,0005535	
temperatura	corrente		corrente	corrente	corrente	corrente	corrente	corrente	
50-65	0,273	0,00049	0,2704	0,2704/0,00049	0,262	0,0004	0,273	0	
50-85	0,638	0	0,599	0	0,601	0	0,625	0,000489	
50-105	0,9746	0,00049	0,904	0	0,923	0	0,968	0,001356	
50-125	1,2748	0,0004	1,188	0	1,2142	0	1,262	0,00049	
50-145	1,5432	0,0004	1,451	0	1,481	0	1,522		

Figura 2 – Medição dos parâmetros elétricos com elevação da dosagem por radiação gama em 5 faixas de temperatura diferentes



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

4 CONCLUSÕES

Um ponto interessante a se tratar durante o trabalho, foi a ideia da aplicação que de pequenas doses de radiação gama, entre 1Kgy e 2Kgy, podem fazer com que a voltagem do dispositivo seja aumentada e a corrente diminua, dando assim uma oportunidade de aplicá-los e caracterizá-los de uma maneira preferencial em outros equipamentos, semelhante no caso das aplicações de metalurgia, onde os tratamentos térmicos tem o princípio de aplicar defeitos micro estruturais na estrutura cristalina dos metais para alterar o comportamento mecânico dos metais. Também pode se dizer que a alteração dos parâmetros elétricos com uma dosagem de até 8Kgy, não foi também significativa para que esses semicondutores sejam descartados, contudo deve se ter cuidado para que esse valor não ultrapasse muito para que não comprometa o funcionamento do dispositivo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Vitor Ângelo Paulino de. **Desenvolvimento de um sistema de medidas para estudos de efeitos de radiação em dispositivos eletrônicos: metodologias e estudos de casos**. 2019. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/50/071/50071378.pdf. Acessado em: 11/12/2024
- BALEIRO, Mauricio Ferreira. **DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DA FLUÊNCIA DE RADIAÇÃO EM SISTEMAS ESPACIAIS**. CEP, v. 12, p. 010, 2022. Disponível em: <http://mtc-m21d.sid.inpe.br/col/urlib.net/www/2022/02.11.12.22/doc/publicacao.pdf>. Acessado em: 11/12/2024
- BALEN, Tiago Roberto. **Efeitos da radiação em dispositivos analógicos programáveis (FPAA's) e técnicas de proteção**. 2010. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27254/000763742.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessado em: 13/06/2024
- BITELLI, Thomaz. **Dosimetria e higiene das radiações**. 1ª ed. Gremio Politecnico. 1982
- CALLISTER, William. **Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8ª edição. Grupo Gen-LTC editora, 2012.
- CHEN, Jie et al. **A thermoelectric energy harvesting system for powering wireless sensors in nuclear power plants**. IEEE Transactions on nuclear science, v. 63, n. 5, p. 2738-2746, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7560655>. Acessado em: 03/02/2025
- DE SOUZA, Carla Daruich et al. **How does radioisotope thermoelectric generator (RTG) work**. Brazilian Journal of Radiation Sciences, v. 10, n. 2, 2022. Disponível em: <https://bjrs.org.br/revista/index.php/REVISTA/article/view/2015/957>. Acessado em 18/01/2025
- FARIAS, Leonel Marques; SELLITTO, Miguel Afonso. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras**. Revista Liberato, v. 12, n. 17, p. 07-16, 2011. Disponível em: <https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/164/154>. Acessado em 10/08/2024.
- FONSECA, Evaldo Simoes da et al. **Methodology for determination of absorbed dose by individuals irradiated with neutrons**. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ (Brazil). Centro de Ciencias da Saude. Inst. de Biofisica Carlos Chagas Filho, 1994. Disponível em: <https://inis.iaea.org/records/c8hhy-p0t95>. Acessado em: 21/08/2025



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

GRANDINI, Guillermo Antonio Cerávolo. **Restauração florestal no Brasil: avaliação produtiva e mercado pós acordo de Paris**. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/19278/Defesa-%20TFG-Guillermo.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acessado em 13/08/2024

JAQUES, Brian; ZHANG, Yanliang; AGARWAL, Vivek. **NanoStructured bulk thermoelectric generator for efficient power harvesting for self-powered sensor network**. Boise State Univ., Boise, ID (United States), 2018. Disponível em: < <https://www.osti.gov/biblio/1478227>>. Acesso em 21/03/2024.

LI, Yixiao et al. **Influence of fast neutron and gamma irradiation on the thermoelectric properties of n-type and p-type SiGe alloy**. Journal of Nuclear Materials, v. 528, p. 151856, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002231151930844X>. Acessado em: 03/06/2024

MALDONADO, Diana Vanessa López; JUNIOR, Oswaldo Hideo Ando. **POTENCIAL DO USO DO MICROGERADOR TERMOELÉTRICO BASEADOS NO EFEITO SEEBECK (TEG) PARA CAPTAÇÃO DE ENERGIAS RESIDUAIS COMO SELF-POWERED APLICADO A SENSORES AUTÔNOMOS**. 2021. Disponível em: <https://proceedings.science/simclea-2021/trabalhos/potencial-do-uso-do-microgerador-termoeletrico-baseados-no-efeito-seebeck-teg-pa?lang=pt-br>. Acessado em: 02/02/2024

MARTINS, João Thomaz Carvalho souz; **Foguetes Nucleares: Ficção ou Realidade**; Espaço do conhecimento UFMG. 2022. Disponível em: <https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/foguetes-nucleares-ficcao-ou-realidade/>. Acessado em: 08/02/2024

MASSOUD, Mohga Mohamed. **Calculation of radiation shielding in a SPECT-CT scanner prototype using Monte Carlo code systems**. 2021. Disponível em: https://interest.jinr.ru/uploads/report_files/report_student_52_project_116.pdf. Acessado em: 23/01/2025

NUNES, Matheus Simões. **O Brasil no Acordo de Paris sobre Mudanças Climáticas um estudo sobre o cumprimento das metas de redução de emissões no setor de energia**. Editora Licuri, p. 1-47, 2022. Disponível em: <https://editorialicuri.com.br/index.php/ojs/article/view/5/3>. Acessado em: 20/08/2024

OLIVEIRA JÚNIOR, Marcos Garcia de et al. **Caracterização termo-óptica de resinas dopadas com nanocristais semicondutores: efeitos de incidência de radiação ionizante**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/28775/4/CaracterizacaoTermoOptica.pdf>. Acessado em: 07/08/2025

OLIVEIRA, Tiago Batista de. **Análise de algoritmos computacionais utilizados em sistemas de planejamento de braquiterapia de alta taxa de dose: estudo comparativo com o Código MCNP-5C**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/10759af8-20a3-41ba-a9d6-e1334b2fe99f/content>. Acessado em: 22/01/2025

PASCHOAL, Cinthia Marques Magalhães et al. **Caracterização de dispositivos eletrônicos para dosimetria em tomografia computadorizada**. 2012. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/5240/1/CINTHIA_MARQUES_MAGALHAES_PASCHOAL.pdf. Acessado em: 17/06/2025

PINO, Eddy Segura; GIOVEDI, Claudia. **Radiação ionizante e suas aplicações na indústria**. UNILUS Ensino e Pesquisa, v. 2, n. 2, p. 47-52, 2013. Disponível em: <http://revista.lusiada.br/index.php/ruep/article/view/18/u2005v2n2e18>. Acessado em: 29/08/2025



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

QADR, Hiwa Mohammad. **The use of the MCNP code for radiation damage calculations.** Математическая физика и компьютерное моделирование, v. 24, n. 1, p. 70-77, 2021. Disponível em: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-use-of-the-mcnp-code-for-radiation-damage-calculations/viewer>. Acessado em: 22/01/2025

REZENDE, Rodrigo de Campos. **Segurança energética: estudo comparativo da diversificação entre Brasil e Suécia (2007-2017).** 2018. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/handle/1/246>. Acessado em 10/08/2024.

REZENDE, Sergio Machado. **Materiais e dispositivos eletrônicos.** 4ª ed. Editora Livraria da Física, 2015.

SILVA, Éric Novais. **Física moderna: o caso da radiação.** 2022. Disponível em: https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/1125/%c3%89RIC%20NOVAIS%20SILVA_2178517.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acessado em: 29/08/2025

SILVA, Indianara; FREIRE JR, Olival. A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, p. 1601, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/ZxnY9LHbJCVBDgYLxP3YTZN/?lang=pt>. Acessado em: 11/08/2025

SILVA, Phillipe da Cunha. **Mudanças climáticas e guerra na Ucrânia: uma possível retomada da energia nuclear.** 2022. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/5035>. Acessado em: 13/05/2024

SOLBERG, Timothy D. et al. **A review of radiation dosimetry applications using the MCNP Monte Carlo code.** Radiochimica Acta, v. 89, n. 4-5, p. 337-355, 2001. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1524/ract.2001.89.4-5.337/html>. Acessado em: 22/01/2025

SOUZA, Clayton Henrique de. **Caracterização dosimétrica e modelagem computacional de um detector do tipo transistor de efeito de campo metal-óxido-semicondutor.** 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85133/tde-24062019-090509/publico/2019SouzaCaracterizacao.pdf>. Acessado em: 12/05/2024

TATAGIBA, Lucas Magalhães. **Energia fotovoltaica e o desafio da redução de impactos ambientais para o desenvolvimento sustentável no Brasil.** 2023. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5107/8/MONOGRAFIA_EnergiaFotovoltaicaeoDesafio.pdf. Acesso em 05/05/2024

TAYLOR, John R. **Introdução à análise de erros: o estudo de incertezas em medições físicas.** 2ª ed. Bookman Editora, 2012.

VAZ, Pablo Ilha. **Efeitos da radiação ionizante e técnicas de proteção aplicadas a projetos de dispositivos customizados.** 2015. Disponível: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/129819/000977603.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05/02/2024.

WIJEWARDANE, M. Anusha. **Exhaust system energy management of internal combustion engines.** 2012. Tese de Doutorado. © M. Anusha Wijewardane. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/288384640>. Acessado em: 12/01/2024



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. Física das Radiações: interação da radiação com a matéria. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 57-67, 2009. Disponível em:
<https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/35/v3n1p57>. Acessado em: 09/12/2024

Zhang, Y., **High-performance nanostructure thermal electrical materials and generators for in-pile power harvesting**, **Advanced Sensors and Instrumentation Annual Webinar**. (2020). Disponível em:
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2021/02/f82/ne-11-high-performance-nanostructured-thermoelectric-materials-zhang.pdf>. Acesso em: 18/06/2024

ZHOU, Yifu et al. **A Novel Optimization Method for TEG System Performance Based on Temperature and Heat Flux**. *Energy Technology*, v. 12, n. 3, p. 2301134, 2024. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ente.202301134>. Acessado em: 28/01/2025