

## Transferência de Calor em Dispositivos Heliotérmicos: uma alternativa limpa para a transição energética

### Autores

Rodrigo de Souza<sup>1</sup>

Francisco Tadeu Degasperi<sup>2</sup>

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar um panorama atualizado sobre o estado da arte no entendimento dos processos de transferência de calor em dispositivos heliotérmicos, assim como o próprio projeto desses sistemas, com o intuito de identificar oportunidades de aplicação destes dispositivos na geração de energia de forma limpa. A metodologia adotada envolveu uma revisão bibliográfica abrangente, com consultas às bases de *dados Scopus*, *Web of Science*, *Science Direct* e *IEEE*, limitando-se a artigos publicados nos últimos cinco anos para garantir a relevância e atualidade das informações. Os resultados apontam que os processos de transferência de calor têm sido amplamente estudados, sobretudo no contexto das aplicações em dispositivos de geração de energia a partir da fonte solar. Há um foco considerável na otimização da eficiência desses sistemas, especialmente no que diz respeito à minimização das perdas térmicas. A literatura também evidencia esforços significativos no desenvolvimento de materiais refletivos com propriedades avançadas, capazes de reduzir as perdas por radiação concentrada nos coletores solares. Esses materiais são essenciais para maximizar a captação de energia solar e, conseqüentemente, a eficiência energética dos dispositivos heliotérmicos. Além disso, o estudo revela que os coletores solares de prato parabólico têm sido apresentados como uma das tecnologias mais promissoras dentro da pesquisa de energias renováveis. Esses dispositivos possuem como características, a capacidade de atingir altas temperaturas e concentrar grandes quantidades de radiação solar em áreas reduzidas, o que os torna ideais para aplicações em usinas de geração de energia heliotérmica de grande escala. A análise também sugere que a eficiência desses coletores pode ser ainda mais aprimorada por meio do desenvolvimento de novos materiais e melhorias no design dos sistemas de transferência de calor. Em conclusão, os dispositivos heliotérmicos, especialmente os que utilizam coletores parabólicos, representam uma alternativa com grande potencial de contribuição com a transição energética, especialmente quando se avalia seu nível de eficiência, que é quase o dobro da eficiência de sistemas fotovoltaicos.

**Palavras-chave:** Usina heliotérmica. Transição energética. Eficiência energética.

*Heat Transfer in Solar Thermal Devices: a clean alternative for the energy transition*

### Abstract

*This paper aims to provide an updated overview of the state of the art in understanding heat transfer processes in heliothermal devices, as well as the design of these systems, with the purpose of identifying application opportunities for these devices in clean energy generation. The methodology adopted involved a comprehensive literature review, with searches conducted in the Scopus, Web of Science, Science Direct, and IEEE databases, focusing on articles published in the last five years to ensure the relevance and timeliness of the information. The results indicate that heat transfer processes have been extensively studied, particularly in the context of energy generation applications using solar power. There is considerable focus on optimizing the efficiency of these systems, especially in minimizing thermal losses. The literature also highlights significant efforts in the development of advanced*

<sup>1</sup> Mestrando no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0268-9836>

<sup>2</sup> Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP e docente no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8086-7709>

*reflective materials that can reduce concentrated radiation losses in solar collectors. These materials are essential for maximizing solar energy capture and, consequently, the energy efficiency of heliothermal devices. Furthermore, the study reveals that parabolic dish solar collectors have been presented as one of the most promising technologies within renewable energy research. These devices are characterized by their ability to reach high temperatures and concentrate large amounts of solar radiation in small areas, making them ideal for large-scale heliothermal power generation applications. The analysis also suggests that the efficiency of these collectors can be further improved through the development of new materials and enhancements in the design of heat transfer systems. In conclusion, heliothermal devices, especially those using parabolic collectors, represent an alternative with great potential to contribute to the energy transition, particularly when evaluating their efficiency, which is almost twice that of photovoltaic systems.*

**Keywords:** Solar thermal power plant. Energy transition. Energy efficiency.

## INTRODUÇÃO

O termo “transição energética” tem sido um dos aspectos mais abordados nas discussões políticas, corporativas e acadêmicas na atualidade e se refere aos processos e tecnologias empregados para levar a humanidade de um período de uso intensivo de combustíveis fósseis altamente poluentes, para uma base energética mais limpa e menos agressiva ao planeta.

A necessidade de instauração de um processo de transição energética deve-se às intensas alterações climáticas, cujo efeito mais conhecido são os eventos climáticos extremos, que já vitimaram centenas de milhares de pessoas em todo o globo e podem vitimar bilhões de pessoas até o final do século XXI. O fenômeno que mais contribui com o aumento da incidência e intensidade destes eventos climáticos extremos é o aumento da temperatura média do planeta, que ocasiona alterações em ciclos hidrológicos e atmosféricos imprescindíveis para a manutenção das condições habitáveis do planeta para os seres complexos. O fator desencadeador deste aumento de temperatura é o efeito estufa, desencadeado pelo nível de emissão de gases que absorvem e reemitem radiação ultravioleta, que é o principal espectro da radiação térmica. A transferência desta radiação térmica de volta à terra ocasiona aumento da temperatura média do solo, que absorve parte e reemite, gerando um ciclo de aumento da temperatura.

Considerando a matriz elétrica mundial (IEA, 2023), mais de 61% da eletricidade usada é gerada a partir de combustíveis emissores de gases do efeito estufa, sendo que mais de 35% é gerado por carvão mineral, que é o combustível que mais poluente em uso, já que 1 kg de carvão mineral emite cerca de 0,7 kg de carbono e 1 kg de etanol de cana de açúcar, considerando o ciclo do carbono, emite 0,18 kg de carbono. Diante deste cenário, a substituição de fontes energéticas poluentes por alternativas limpas faz-se mister, e entre as alternativas, a energia solar representa uma possibilidade a ser explorada, especialmente na tecnologia

heliotérmica, cuja eficiência é de cerca de 35%, ao passo em que a eficiência de sistemas fotovoltaicos tende a ser de cerca de 20%, em condições de laboratório.

Neste trabalho propõe-se a identificação dos processos de transferência de calor em sistemas de geração de eletricidade heliotérmicos, de forma a se compreender como estes sistemas podem ser otimizados de forma a se contribuir com a transição energética e a melhoria das condições climáticas globais.

## 1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é identificar e analisar os principais processos de transferência de calor envolvidos nos sistemas de geração heliotérmica de eletricidade. A partir de uma revisão bibliográfica, busca-se compreender como os sistemas heliotérmicos, especialmente os sistemas baseados em coletores parabólicos, podem ser aprimorados para maximizar a captura de energia solar e reduzir as perdas térmicas, promovendo a geração de eletricidade de maneira limpa e sustentável.

Além disso, o estudo pretende explorar as oportunidades tecnológicas e de materiais que possibilitam o desenvolvimento de dispositivos heliotérmicos com maior eficiência. Ao avaliar as melhorias possíveis no projeto dos sistemas de transferência de calor e os avanços em materiais refletivos, espera-se propor soluções que possibilitem o incremento da competitividade dessas tecnologias em relação a outras fontes de energia renováveis, além de contribuírem com a redução de emissões de gases de efeito estufa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil possui um elevado potencial para a utilização da radiação solar na geração de eletricidade, especialmente por meio de usinas heliotérmicas, também conhecidas como usinas solares de concentração. Localizado em uma faixa geográfica com alta incidência solar, o país conta com diversas regiões, como o Nordeste e o Centro-Oeste, que apresentam níveis de irradiação entre os mais altos do mundo, sendo comparáveis aos do Deserto do Saara. Esse recurso abundante, se aproveitado de forma adequada, pode contribuir para o aumento da capacidade de geração de energia limpa no país, reduzindo a dependência de fontes fósseis e outras tecnologias mais poluentes (IEA, 2023).

A implementação de usinas heliotérmicas em larga escala no Brasil pode contribuir com a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e na mitigação das mudanças climáticas. Diferentemente das usinas termelétricas convencionais, que dependem de combustíveis fósseis

ou de biomassa, a energia heliotérmica não gera emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante a operação, sendo classificada como uma fonte de energia renovável e limpa. Ao substituir fontes energéticas baseadas em carbono, como petróleo, gás natural e carvão, por soluções heliotérmicas, o Brasil não apenas diversificaria a sua matriz energética, como também avançaria em suas metas ambientais, como as estabelecidas no Acordo de Paris, minimizando a pegada de carbono do setor elétrico e promovendo o desenvolvimento sustentável (Martínez-Sánchez *et al.*, 2022).

Uma usina heliotérmica com coletores de prato parabólico funciona através da concentração da radiação solar em um ponto focal, no qual se localiza um receptor térmico. O coletor de prato parabólico é um refletor que direciona a radiação solar para esse receptor, gerando temperaturas adequadas para processos térmicos. No receptor, a energia solar concentrada aquece um fluido térmico que circula em um circuito primário. Esse fluido, que pode ser óleo sintético, água ou sais fundidos, é aquecido a temperaturas elevadas e transporta o calor até um trocador de calor. Neste ponto, ocorre a transferência de calor do fluido térmico para um circuito secundário, no qual a água é aquecida até se transformar em vapor de alta pressão (Kumar *et al.*, 2022).

O vapor gerado no circuito secundário é então utilizado para acionar uma turbina, convertendo a energia térmica em energia mecânica, e posteriormente, em eletricidade através de um gerador acoplado. A eficiência desse processo depende fundamentalmente da capacidade de transferência de calor entre o fluido térmico e a água no trocador de calor. Quanto maior a eficiência da transferência de calor, mais energia será convertida em eletricidade. Perdas térmicas durante o processo, como dispersão de calor no ambiente ou ineficiências no trocador de calor, podem afetar diretamente o desempenho da usina, reduzindo sua eficiência energética e aumentando os custos operacionais. Neste sentido, o correto gerenciamento da transferência de calor, desde a captação solar até a geração de vapor, é determinante na otimização da eficiência operacional e na garantia da competitividade das usinas heliotérmicas (Lu *et al.*, 2023).

### 3 MÉTODO

Este trabalho foi desenvolvido a partir de levantamento bibliográfico, de forma a se identificar o estado da arte no projeto de sistemas de geração de energia heliotérmica. A partir disso, empregou-se modelagem matemática e física para a determinação do comportamento dos sistemas heliotérmicos.

A modelagem matemática, por meio de equações diferenciais, é uma técnica que utiliza equações para descrever a taxa de variação de uma ou mais variáveis em relação a outra, geralmente o tempo ou o espaço. As equações diferenciais são fundamentais para modelar sistemas dinâmicos, nos quais o comportamento de um sistema muda ao longo do tempo, como no caso de processos de aquecimento, escoamento de fluidos, ou sistemas mecânicos. Essas equações podem ser de diferentes ordens, dependendo do número de derivadas envolvidas, e podem ser resolvidas de forma analítica ou numérica, apresentando soluções que representam a evolução de um sistema físico. A modelagem matemática com equações diferenciais possibilita a abstração de características complexas em uma forma matemática que pode ser manipulada e demonstrada para prever o comportamento de sistemas sob diferentes condições (Velten; Schimidt; Kahlen, 2024).

A modelagem física, que emprega equações diferenciais, vai um passo além ao aplicar essas representações matemáticas para descrever especificações reais, como transferência de calor, mecânica dos fluidos, eletromagnetismo e dinâmica estrutural. Na modelagem física, as equações diferenciais são derivadas de leis fundamentais da física, como a conservação de energia, massa e momento. Ao resolver essas equações para condições específicas de fronteira e iniciais, possibilita-se a definição de configurações específicas do comportamento do sistema, que podem ser validadas por meio de experimentos ou observações empíricas. Esse processo possibilita a compreensão de como os sistemas reagem a diferentes variáveis de entrada, facilitando o design e a otimização de equipamentos e processos na engenharia de produção (Gould; Tobochnik, 2021).

Neste trabalho o foco é a apresentação da fenomenologia e dos resultados práticos encontrados a partir das modelagens matemática e física, não sendo objeto deste escopo a apresentação de tais instrumentos.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na análise dos resultados obtidos para o processo de transferência de calor em sistemas heliotérmicos, observou-se que dois mecanismos principais são aplicáveis: a transferência de calor por radiação e a transferência de calor por convecção. A transferência por radiação ocorre principalmente no coletor parabólico, no qual a radiação solar é recebida pelo receptor, que a reflete para o ponto focal. Esse processo é governado pelas leis da radiação, em especial a Lei de Stefan-Boltzmann, que descreve a emissão de radiação térmica de superfícies em função da quarta potência de sua temperatura. Em sistemas heliotérmicos, a eficiência da reflexão de

energia está diretamente relacionada à capacidade do receptor de refletir essa radiação para o ponto focal, onde é convertida em calor útil. A análise evidencia que as perdas da transferência podem ser minimizadas por meio do uso de revestimentos com elevado nível de refletividade e baixa rugosidade (Tong *et al.*, 2022).

A transferência de calor por convecção, por sua vez, é um processo mais complexo e envolve uma interação entre o fluido térmico circulante e as superfícies aquecidas do receptor. Identificou-se que, no circuito primário, a escolha do fluido térmico tem um impacto considerável nos regimes de fluxo e, portanto, no desempenho da transferência de calor. Dois regimes de escoamento foram evidenciados: o laminar, caracterizado por um fluxo ordenado e suave, e o turbulento, no qual o fluxo é caótico e possui intensa mistura de camadas de fluido. A convecção forçada ocorre à medida que o fluido é bombeado através do receptor, transportando o calor absorvido para o sistema de conversão de energia. No regime laminar, o calor é transferido principalmente por condução nas camadas de fluido próximas à superfície, o que pode limitar a taxa de transferência de calor. No regime turbulento, no entanto, uma mistura rápida de camadas de fluido resulta em uma transferência de calor mais eficiente, já que as flutuações no fluxo promovem a redistribuição da energia térmica (Giwa *et al.*, 2021).

A escolha do fluido térmico para o circuito está diretamente relacionada à definição do regime de escoamento. No estudo, observou-se que fluidos com maior resistência à absorção térmica tendem a operar predominantemente no regime laminar, especialmente em baixas velocidades de escoamento, o que pode reduzir a eficiência da transferência de calor por convecção. Já fluidos com menor resistência e maior capacidade térmica, como o óleo térmico ou sais fundidos, favorecem a ocorrência de escoamento turbulento a taxas de fluxo moderadas, maximizando a transferência de calor. Além disso, fluidos com alta capacidade de calor específico e boa estabilidade térmica em altas temperaturas apresentam maior eficiência no transporte de calor entre o receptor e o sistema de conversão, permitindo o uso de maiores gradientes de temperatura sem risco de perdas significativas de calor no circuito (Goering; Instanes; Knudsen, 2020).

Dessa forma, verifica-se que a otimização do sistema heliotérmico depende de um ajuste cuidadoso entre as propriedades do fluido térmico e as condições operacionais do sistema, como a velocidade do fluxo e a temperatura de operação. A transição entre o regime laminar e turbulento pode maximizar a eficiência da transferência de calor por convecção, especialmente em sistemas que operam em altas temperaturas. Para melhorar a eficiência global do sistema, observa-se que fluidos com baixo ponto de congelamento, alta condutividade térmica e boa

estabilidade química, podem ser priorizados, garantindo tanto um fluxo turbulento quanto uma eficiente transferência térmica no trocador de calor.

Com relação à composição do material refletivo que reveste o coletor de prato parabólico, os resultados indicam que o material deve possuir alta refletividade na faixa do espectro solar, especialmente na faixa de comprimento de onda visível e infravermelha (~400nm a ~700nm), na qual está a maior parte da radiação térmica (Malik *et al.*, 2022).

Analisando diferentes composições, verificou-se que materiais metálicos como o alumínio e a prata se mostraram eficientes devido à sua excelente refletividade, que pode superar 90% para radiação solar. O alumínio, em particular, é amplamente utilizado devido à sua combinação de alto desempenho e custo relativamente baixo. Além disso, o alumínio pode ser facilmente moldado e revestido com filmes protetores que aumentam sua durabilidade contra a oxidação e as intempéries. Observa-se que o uso de revestimentos como o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) melhora a resistência mecânica e a proteção contra corrosão, além de preservar a capacidade refletiva do material ao longo do tempo, garantindo um desempenho estável (Dong; He; Zhang, 2020).

Por outro lado, a prata oferece a melhor refletividade, mas sua aplicabilidade em larga escala é limitada pelo custo elevado e pela necessidade de cuidados extras para evitar a oxidação, que degrada rapidamente suas propriedades óticas. Testes com compostos híbridos, como alumínio com revestimentos poliméricos ou multicamadas metálicas, demonstraram que esses materiais podem oferecer uma solução eficiente, combinando boa refletividade com maior resistência às condições climáticas adversárias. Esses compostos também não envolvem a necessidade de manutenção frequente, o que pode ser uma vantagem significativa em projetos de grande porte (Grosjean; Soum-Glaude; Thomas, 2021).

Outro aspecto importante observado é o nível de rugosidade superficial do material refletivo. Para maximizar a eficiência do coletor, o material refletivo deve ter uma superfície com o maior nível de polidez possível, evitando a dispersão difusa da radiação. A presença de imperfeições ou rugosidades na superfície pode causar perdas consideráveis ao desviar parte da radiação para fora do ponto focal. Portanto, técnicas de polimento de alta resistência ou revestimentos ópticos que suavizam a superfície podem melhorar ainda mais o desempenho. Nota-se que, para sistemas heliotérmicos de alta eficiência, a combinação de materiais de alta refletividade, como o alumínio, com tratamentos superficiais adequados, é essencial para garantir que a radiação seja direcionada de forma eficaz ao ponto focal, maximizando a captação de energia (Tan, 2021).

Na perspectiva dos circuitos primário e secundário do sistema heliotérmico, destacam-se a importância de selecionar materiais adequados que possam suportar as elevadas temperaturas e a pressão envolvida, além da minimização das perdas térmicas durante o transporte do fluido térmico. O circuito primário, responsável por transportar o fluido térmico diretamente do receptor do coletor parabólico para o trocador de calor, opera em condições extremas de temperatura, muitas vezes superiores a 500°C. Desta forma, deve-se especificar materiais com alta resistência térmica e mecânica. Para esse circuito, os materiais mais comumente usados são ligas metálicas de aço inoxidável e, em alguns casos, ligas de cobre, devido à sua elevada resistência à corrosão, boa condutividade térmica e resistência à fadiga térmica (Wang *et al.*, 2020).

No circuito primário, verifica-se que a espessura da parede e a eficiência do isolamento térmico são fatores determinantes na minimização das perdas de calor. Uma análise dos resultados mostrou que a aplicação de revestimentos isolantes de cerâmica ou materiais compostos de fibra de vidro nas tubulações pode minimizar consideravelmente as perdas de calor por condução para o ambiente, mantendo a temperatura do fluido mais alta ao longo do trajeto. Além disso, o isolamento térmico também contribui para a segurança do sistema, evitando que as altas temperaturas das superfícies externas causem danos às instalações ou riscos aos operadores (Khalil; Saito; Hassan, 2022).

Já no circuito secundário, que tem a função de transferência de calor do fluido térmico para o sistema de armazenamento ou conversão, as condições operacionais são menos extremas em comparação ao circuito primário, uma vez que o fluido já passou por uma etapa de transferência de calor no trocador. No entanto, ainda é necessário garantir que as tubulações do circuito secundário sejam feitas de materiais com boa resistência à corrosão e que suportem pressões moderadas. Neste ponto, a utilização de materiais como aço carbono com revestimentos adequados ou ligas de alumínio tem se mostrado eficaz, especialmente em sistemas nos quais o custo de implementação é um fator determinante (Gurás; Mahdal; Bojko, 2023).

Em ambos os circuitos, a propriedade do fluido térmico desempenha um papel importante na escolha do material da tubulação. Fluidos como sais fundidos e óleos térmicos demandam materiais que resistem à corrosão química e à deposição de resíduos no interior das tubulações. Observa-se que, ao otimizar o projeto da tubulação para cada circuito e garantir o isolamento térmico, o sistema heliotérmico pode operar de forma mais eficiente, reduzindo

perdas de calor e maximizando a transferência de energia ao longo do processo, o que, por sua vez, contribui para um melhor desempenho global do sistema.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre a transferência de calor em dispositivos heliotérmicos com coletores parabólicos, demonstra a importância dessas tecnologias na transição para fontes de energia mais limpas e eficientes. A capacidade desses sistemas de atingir altas temperaturas e maximizar a captação da radiação solar os torna uma solução promissora, especialmente no contexto de mitigação das mudanças climáticas e na substituição de fontes fósseis por alternativas sustentáveis. As melhorias contínuas em materiais refletivos e no design dos sistemas de transferência de calor reforçam o potencial dessas tecnologias para liderar a transição energética global.

Além disso, o desenvolvimento de sistemas de geração heliotérmica com maior eficiência contribuem para a competitividade da energia heliotérmica em relação a outras fontes renováveis, como a fotovoltaica, já que a eficiência de sistemas heliotérmicos é comparativamente superior às alternativas fotovoltaicas (35% contra 20%).

Futuros estudos podem se aprofundar no dimensionamento dos diversos sistemas constituintes de uma usina heliotérmica, de forma a se potencializar estes dispositivos, bem como na compreensão mais profunda dos processos de troca de calor e na melhoria da eficiência em ciclo Rankine.

Por fim, a adoção em larga escala de tecnologias heliotérmicas pode contribuir consideravelmente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, promovendo o desenvolvimento sustentável e avançando nas metas ambientais globais. A combinação de avanços tecnológicos e políticas de incentivo pode contribuir para a implementação dessas soluções, tornando-as protagonistas no futuro energético do planeta.

## REFERÊNCIAS

- DONG, Y.; HE, X.; ZHANG, Z. A new crystal plasticity modeling of uniaxial ratcheting behavior for face-centered cubic 6061 aluminum alloy. **Materials Research Express**, v. 7, n. 10, p. 106515, 2020.
- GIWA, S. O., SHARIFPUR, M., AHMADI, M. H., MEYER, J. P. A review of magnetic field influence on natural convection heat transfer performance of nanofluids in square cavities. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 145, 2581-2623. 2021.
- GOERING, D. J.; INSTANES, A.; KNUDSEN, S. **Convective heat transfer in railway embankment ballast**. Ground Freezing 2000-Frost Action in Soils. CRC Press, p. 31-36. 2020.

GOULD, H.; TOBOCHNIK, J. **Statistical and thermal physics: with computer applications**. Princeton University Press, 2021.

GROSJEAN, A.; SOUM-GLAUDE, A.; THOMAS, L. Replacing silver by aluminum in solar mirrors by improving solar reflectance with dielectric top layers. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 29, p. e00307, 2021.

GURÁŠ, R.; MAHDAL, M.; BOJKO, M. Heat transfer analysis of a liquid cooling device using thermoelectric elements. **Applied Thermal Engineering**, v. 226, p. 120274, 2023.

IEA. **World Energy Outlook 2023**. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> >. Acesso em: 30 ago. 2024.

KHALIL, H.; SAITO, T.; HASSAN, H. Comparative study of heat pipes and liquid-cooling systems with thermoelectric generators for heat recovery from chimneys. **International Journal of Energy Research**, v. 46, n. 3, p. 2546-2557, 2022.

KUMAR, K. H., DAABO, A. M., KARMAKAR, M. K., HIRANI, H. **Solar parabolic dish collector for concentrated solar thermal systems: a review and recommendations**. Environmental Science and Pollution Research, 29(22), 32335-32367. 2022.

LU, P., LIANG, Z., LUO, X., XIA, Y., WANG, J., CHEN, K., CHEN, Y. Design and Optimization of Organic Rankine Cycle Based on Heat Transfer Enhancement and Novel Heat Exchanger: A Review. **Energies**, 16(3), 1380. 2023.

MALIK, M. Z., SHAIKH, P. H., ZHANG, S., LASHARI, A. A., LEGHARI, Z. H., BALOCH, M. H., CAIMING, C. A review on design parameters and specifications of parabolic solar dish Stirling systems and their applications. **Energy Reports**, 8, 4128-4154. 2022.

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, R. A., RODRIGUEZ-RESENDIZ, J., ÁLVAREZ-ALVARADO, J. M., MACÍAS-SOCARRÁS, I. Solar energy-based future perspective for organic rankine cycle applications. **Micromachines**, 13(6), 944. 2022.

TAN, R. T. Specularity, specular reflectance. In: Computer Vision: A Reference Guide. Cham: **Springer International Publishing**, p. 1185-1188. 2021.

TONG, Z., Li, M., XIE, T., GU, Z. Lattice Boltzmann method for conduction and radiation heat transfer in composite materials. **Journal of Thermal Science**, 31(3), 777-789. 2022.

VELTEN, K.; SCHMIDT, D. M.; KAHLLEN, K. **Mathematical modeling and simulation: introduction for scientists and engineers**. John Wiley & Sons, 2024.

WANG, C., TANG, S., LIU, X., SU, G. H., TIAN, W., QIU, S. Experimental study on heat pipe thermoelectric generator for industrial high temperature waste heat recovery. **Applied Thermal Engineering**, 175, 115299, 2020.