



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

XI Seminário de Extensão e Inovação  
XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica  
08 a 12 de Novembro - Guarapuava/PR



# Estudo do desempenho de coletores solares com a adição de nanofluidos

## *Study of the performance of solar collectors with the addition of nanofluids*

Julia Luise Melo Carneiro <sup>\*</sup>, Vinícius Mariani Lenart <sup>†</sup>,  
Rozane de Fátima Turchiello Gómez <sup>‡</sup>, Romeu Miqueias Szmoski <sup>§</sup>

### RESUMO

O impacto dos combustíveis fósseis, assim como aspectos ambientais, motivou pesquisas a respeito de fontes alternativas de energia. É possível usar nanopartículas metálicas para aquecer na presença de radiação eletromagnética. Esta característica, denominada ressonância de plasmon de superfície pode ser utilizada para absorver a radiação solar eficientemente. O objetivo deste trabalho é comparar os resultados experimentais da aplicação de nanopartículas em uma mangueira de poliuretano em condições similares. Observou-se que, as nanopartículas metálicas podem ser utilizadas no melhoramento do desempenho comparada com os convencionais, sendo que a absorção de luz é também proporcional à concentração de nanopartículas e não limitada pela cor preta no caso dos convencionais.

**Palavras-chave:** energia renovável, nanopartículas metálicas, coletor solar de água

### ABSTRACT

The impact of fossil fuels, as well as environmental aspects, motivated researches on renewable energy sources. It's possible to use metal nanoparticles to heat up in the presence of electromagnetic radiation. This characteristic, called surface plasmon resonance, can be used to efficiently absorb solar radiation. This communication aims to compare the experimental results of nanoparticles application in a polyurethane hose under similar conditions. It was observed that nanoparticles can be used to improve performance compared to conventional ones, with light absorption being also proportional to nanoparticle concentration and it is not limited by the black color as in the case of conventional ones.

**Keywords:** renewable energy, metal nanoparticles, solar water collector

\*  Engenharia Mecânica Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Ponta Grossa, Paraná;  
 [juliacarneiro@alunos.utfpr.edu.br](mailto:juliacarneiro@alunos.utfpr.edu.br).

†  Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Ponta Grossa, Paraná;  
 [vmilenart@gmail.com](mailto:vmilenart@gmail.com).

‡  Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Ponta Grossa, Paraná;  
 [turchiel@utfpr.edu.br](mailto:turchiel@utfpr.edu.br).

§  Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Ponta Grossa, Paraná;  
 [rmszmoski@utfpr.edu.br](mailto:rmszmoski@utfpr.edu.br).

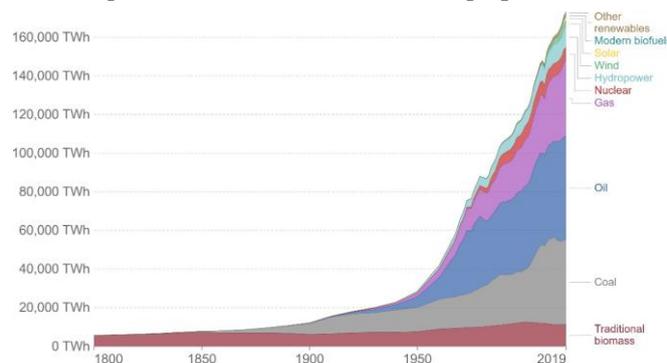


## 1 INTRODUÇÃO

O consenso entre a comunidade de cientistas do clima sobre o aquecimento global antropogênico cresceu para 100%, com base em uma revisão de 11.602 artigos publicados nos primeiros 7 meses de 2019 a respeito de “mudanças climáticas” e de “aquecimento global” (POWELL, 2019). Relatórios recentes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - apontam cada vez mais evidências de como a interferência humana está relacionada ao aumento da temperatura da superfície terrestre, da atmosfera e dos oceanos. Bem como, as concentrações atuais dos gases de efeito estufa CO<sub>2</sub> (gás carbônico), CH<sub>4</sub> (metano) e N<sub>2</sub>O (óxido nitroso) são as maiores em 800 mil anos (IPCC, 2021). Nessas condições, a saúde e o bem-estar humano tornam-se mais vulneráveis seja por lesões durante desastres naturais, desnutrição durante a fome ou aumento da mortalidade durante ondas de calor (ROSSATI, 2017).

O consumo de energia mundial corresponde a 173.340 TWh (terawatt hora) e prevalece o uso de fontes não renováveis. Na Figura 1 é possível observar que, mesmo com o aumento da utilização de fontes de energia renováveis como solar ou eólica, o consumo de carvão, gás e óleo prevalecem.

Figura 1 – Consumo mundial de energia por fonte



Fonte: (SMIL, 2019).

Além disso, o consumo de energia e a riqueza são fatores correlacionados em uma nação. Logo, visto que países emergentes como China, Índia e Brasil possuem um crescimento de consumo de energia per capita de 250%, 50% e 38%, respectivamente (BP, 2019), são necessárias estratégias de longo prazo que visem um desenvolvimento sustentável. Como reduzir o impacto ambiental na geração de energia visto o aumento da demanda energética mundial?

O investimento em recursos energéticos renováveis é uma solução. Uma das maneiras de converter a energia provinda do Sol em energia térmica é por meio de coletores solares. Esses trocadores de calor, ao realizarem a conversão, transferem o calor para um fluido - em geral ar, água ou óleo (KALOGIROU, 2009).

A utilização de materiais metálicos em escala nanométrica - chamadas nanopartículas - em tais sistemas pode gerar um aumento do desempenho (MAHIAN et al., 2013). A geração de calor desses sistemas coloidais ocorre devido à absorção da radiação eletromagnética e, posteriormente, à transferência de calor da nanopartícula para o fluido. No caso de nanoesferas de metais nobres, como o ouro e a prata, ocorre a liberação de calor devido ao movimento coletivo dos elétrons livres, chamado de ressonância de plasmon de superfície, o qual se manifesta na região visível do espectro eletromagnético para esses materiais (GOVOROV; RICHARDSON, 2007).



Esse processo de aquecimento está relacionado com dois mecanismos de interação entre as nanopartículas. O primeiro deles, o efeito acumulativo, surge pela adição de fluxos de calor gerados individualmente pelas partículas. Com isso, quanto mais nanopartículas, mais forte é o aumento da temperatura no sistema. Já o segundo corresponde ao efeito da interação Coulombiana, no qual nanopartículas impulsionadas opticamente interagem entre si através dos campos elétricos e o calor resultante depende tanto da distância entre elas quanto dos arranjos formados (GOVOROV; RICHARDSON, 2007).

Nesse sentido, pesquisas neste campo vêm constatando a utilização de nanofluidos em coletores solares em relação ao desempenho, aspectos econômicos e ambientais (MAHIAN et al., 2013, AL SHAMANI et al., 2014, KASAEIAN; ESHGHI; SAMETI, 2015, VERMA; TIWARI, 2015). O Quadro 1 resume as principais características de alguns trabalhos recentes que foram realizados com o intuito de estudar o efeito fototérmico de nanopartículas em coletores solares.

**Quadro 1 – Comparativo de algumas metodologias da literatura.**

Referências	Fluido de Trabalho	Coletor	Desempenho
(KAYA; ALKA-SEM; ARSLAN, 2020)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - água pura	Coletor Solar de Tubo em U	A maior eficiência de 67,1% para 4,0% em vol de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / água pura
(SINGH; KHULLAR, 2020)	Nanopartículas de fuligem de carbono de óleo de motor usadas dispersas em óleo de parafina	Coletor com seção transversal retangular	Eficiência térmica em estado estacionário atinge o pico em uma fração de volume de nanopartículas ideal
(NOROUZI; SIAVASHI; OSKOUEI, 2020)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Therminol	Coletores Parabólicos	Aumento médio de 15% na eficiência térmica do coletor e uma diminuição máxima de 64 K na temperatura do tubo absorvedor
(MUSTAFA; ALQAEDA; KALBASIB, 2021)	Nanopartículas de CuO	Coletor solar de placa plana	Devido ao uso de CuO, a eficácia do fluxo de processo quente assistido por energia solar foi melhorada na faixa de 6-12,8%

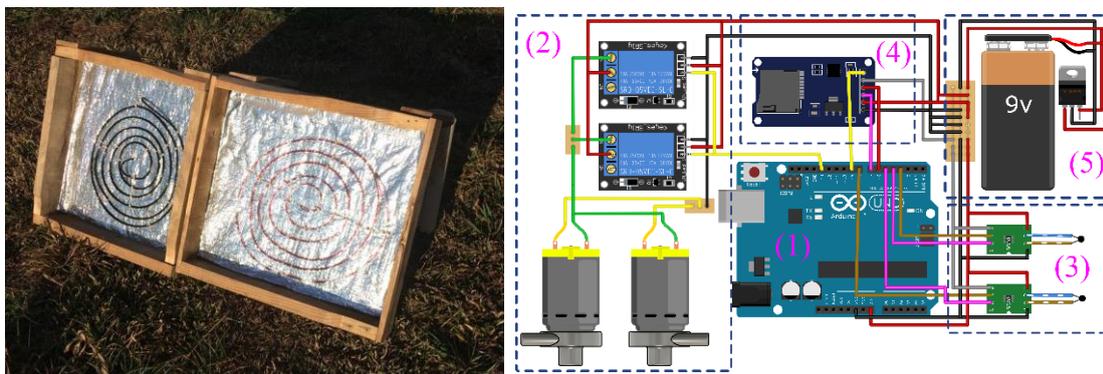
Fonte: Autoria própria (2021).

## 2 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA

O aparato experimental desenvolvido neste trabalho teve por finalidade analisar a temperatura do fluido de dois protótipos simplificados de coletores solares e avaliar o desempenho da utilização de nanopartículas. O aparato mostrado na Fig. 2 é composto por duas estruturas de madeira quadradas com 60 centímetros de lado, 5 metros de mangueira de poliuretano (PU) transparente e preto com 4 mm de diâmetro interno e 6 mm de diâmetro externo e manta térmica de alumínio.

Para a aquisição dos dados, realizou-se a montagem do sistema eletromecânico, mostrado na Figura 2, composto por uma placa de processamento Arduino Uno R3 (1), sistema de circulação de água (2), dois Termopares tipo K acoplados a dois módulos de leitura Max6675 (3), um módulo de cartão SD (4) para gravar os dados de temperatura e tempo e duas bombas d'água, alimentados por uma bateria (5).

A síntese das nanopartículas metálicas foi realizada seguindo método adaptado de Turkevich (TURKEVICH; STEVENSON; HILLIER, 1951) que consiste na redução química do sal metálico onde ocorre a nucleação, crescimento e estabilização por meio de um agente surfactante. Para a síntese do ouro e prata, foram utilizados

**Figura 2 – Protótipo dos coletores solares e arranjo eletromecânico**

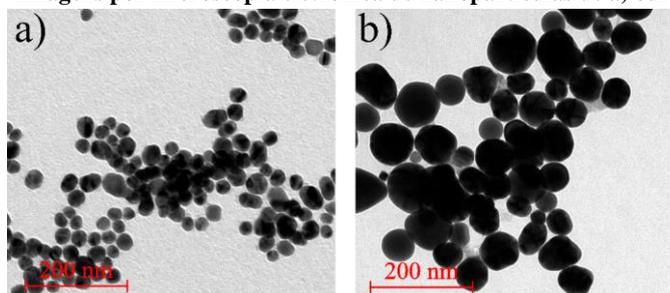
Fonte: Autoria própria (2021).

20 mL de uma solução de 1,0 mM de ácido cloroáurico trihidratado ( $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  - Vetec) e nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$  - Synth) como precursores, respectivamente. 2,0 mL de uma solução aquosa de 1% de citrato de sódio diidratado ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - Synth) como agente redutor e surfactante. Foi realizada a mistura dos colóides de ouro e prata em uma relação 50:50 para o uso nos protótipos. O tamanho e forma das nanopartículas foram aferidos por microscopia eletrônica de transmissão (JEOL JEM 1200EX-II).

Com os dados de tamanho e forma das nanopartículas, simulou-se no software MiePlot o cálculo do espalhamento de uma onda de luz de 300 a 700 nanômetros de uma nanoesfera de ouro e prata com raios de 14 e 54 nanômetros.

### 3 RESULTADOS

Como resultado da microscopia eletrônica de transmissão, verificou-se aspecto esférico e distribuição de tamanhos de  $14 \pm 2$  nm para as partículas de ouro e  $54 \pm 15$  nm para as partículas de prata como ilustrado na Fig. 3. A banda de absorção das partículas de prata nessa escala está na região de 440 a 485 nm e das partículas de ouro na região de 500 a 565 nm - região azul e verde do espectro de luz visível, respectivamente. A relação escolhida 50:50 teve como objetivo otimizar o espectro de absorção da mistura com a convolução de comprimentos de onda emitidos pelo sol com base na irradiância espectral.

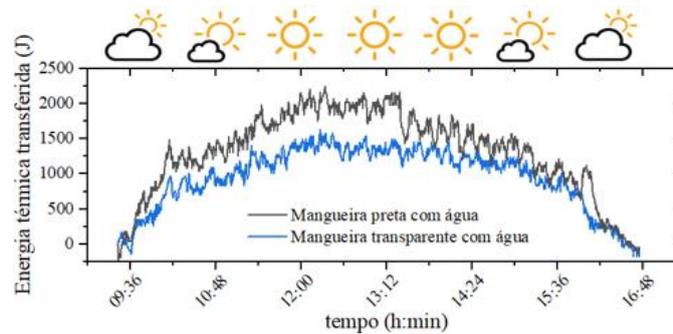
**Figura 3 – Imagens por microscopia eletrônica de nanopartículas de a) ouro e b) prata**

Fonte: Carneiro et al (2019).

Na etapa experimental, primeiramente, comparamos o quanto a coloração da mangueira influencia na absorção. Para isso, utilizou-se somente água em ambas mangueiras (transparente e preta). A diferença entre as duas curvas de energia térmica transferida na Fig. 4 revela a contribuição da mangueira preta no aumento da absorção solar - em que a água presente atingiu temperaturas mais elevadas. Os ícones sobre o gráfico são dados referentes

ao clima, obtidos pelo Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná - SIMEPAR.

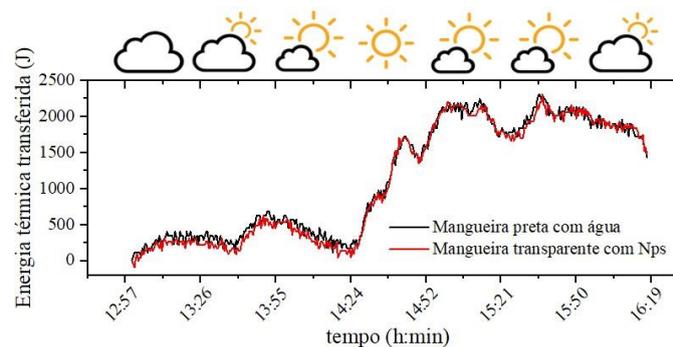
**Figura 4 – Comparação da energia térmica transferida usando água nas duas configurações**



Fonte: Carneiro et al (2019).

Devido a mudanças nas condições climáticas nos dois dias de experimento, além da mudança do fluido, a configuração do gráfico se alterou. Entretanto, como o objetivo é realizar uma medida comparativa, obteve-se um resultado relativo. Dessa forma, a Fig. 5 apresenta os dados da energia térmica transferida da água com nanopartícula na mangueira transparente e da água na preta.

**Figura 5 – Comparação da energia térmica transferida usando água com nanopartícula na mangueira transparente e água na mangueira preta**



Fonte: Carneiro et al (2019).

Nessa segunda etapa, nota-se que, ao contrário dos resultados do experimento anterior, a energia térmica transferida em ambos os sistemas se equivalem. O calor gerado se deve à interação luz-matéria das nanopartículas com a luz solar na mangueira transparente, já a preta está relacionada com a pigmentação. A quantidade de luz absorvida na última é então limitada, ao passo que aumentando a concentração de nanopartículas se eleva a absorção de luz.

## 4 CONCLUSÕES

Devido aos resultados da simulação e dos experimentais, foi possível verificar a influência das nanopartículas de prata e ouro no aquecimento segundo a irradiância espectral do sol. Além disso, não só a utilização de nanopartículas em coletores solares pode ser feita com o objetivo de aumentar a eficiência da energia térmica transferida, mas também esse aumento pode ser ampliado pela concentração de nanopartículas na solução.

Em virtude das restrições impostas pela pandemia, não foi possível realizar outras medidas. No entanto, quando as situações forem favoráveis, elas serão realizadas.

## AGRADECIMENTOS



Ao CNPq, à CAPES, à UTFPR, ao laboratório do Grupo de Fenômenos Fototérmicos em Fluidos Complexos (GFFFC) da Universidade Estadual de Ponta Grossa- UEPG.

## REFERÊNCIAS

- AL SHAMANI, Ali Najah et al. Nanofluids for improved efficiency in cooling solar collectors – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p. 348–367, out. 2014.
- BP. **Statistical Review of World Energy**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: [🔗](#). Acesso em: 20 ago. 2021.
- GOVOROV, Alexander O.; RICHARDSON, Hugh H. Generating heat with metal nanoparticles. **Nano Today**, v. 2, p. 30–38, fev. 2007.
- CARNEIRO, Julia. LENART, Vinícius. GÓMEZ, Rozane. GÓMEZ, Sergio. Aumento do Desempenho de Aquecedores Solares de Água com Nanopartículas Metálicas. **Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia**, 2019, Salvador.
- IPCC. **Sixth Assessment Report**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: [🔗](#). Acesso em: 20 ago. 2021.
- KALOGIROU, Soteris. **Solar Energy Engineering: Processes and Systems**. [S.l.]: Academic Press/Elsevier, 2009. 840 p.
- KASAEIAN, Alibakhsh; ESHGHI, Amin Toghi; SAMETI, Mohammad. A review on the applications of nanofluids in solar energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 584–598, mar. 2015.
- KAYA, Hüseyin; ALKASEM, Mohanad; ARSLAN, Kamil. Effect of nanoparticle shape of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Pure Water nanofluid on evacuated U-Tube solar collector efficiency. **Renewable Energy**, v. 162, p. 267–284, ago. 2020.
- MAHIAN, Omid et al. A review of the applications of nanofluids in solar energy. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 57, n. 2, p. 582–594, fev. 2013.
- MUSTAFA, Jawed; ALQAEDA, Saeed; KALBASIB, Rasool. Challenging of using CuO nanoparticles in a flatplate solar collector-Energy saving in a solar-assisted hot process stream. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 124, p. 258–265, jul. 2021.
- NOROUZI, Amir Mohammad; SIAVASHI, Majid; OSKOU EI, Mohammad Hasan Khaliji. Efficiency enhancement of the parabolic trough solar collector using the rotating absorber tube and nanoparticles. **Renewable Energy**, v. 145, p. 569–584, jan. 2020.
- POWELL, James Lawrence. Scientists Reach 100% Consensus on Anthropogenic Global Warming. **Bulletin of Science, Technology Society**, v. 37, p. 183–184, nov. 2019.
- ROSSATI, Antonella. Global Warming and Its Health Impact. **The International Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 8, p. 7–20, jan. 2017.
- SINGH, Nirmal; KHULLAR, Vikrant. On-sun testing of volumetric absorption based concentrating solar collector employing carbon soot nanoparticles laden fluid. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 42, dez. 2020.
- SMIL, Vaclav. **Global primary energy consumption by source**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: [🔗](#). Acesso em: 20 ago. 2021.
- TURKEVICH, John; STEVENSON, Peter Cooper; HILLIER, James. A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold. **Discussions of the Faraday Society**, v. 11, p. 55–75, mai. 1951.
- VERMA, Sujit Kumar; TIWARI, Arun Kumar. Progress of nanofluid application in solar collectors: A review. **Energy Conversion and Management**, v. 100, p. 324–346, ago. 2015.