ESTUDO NUMÉRICO DE REGENERADOR ELASTOCALÓRICO

Sarah Gonçalves Reschetti (PIBIC/CNPq/Outros), Flavio Clareth Colman (Orientador). E-mail: fccolman@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharias/ Engenharia Mecânica/ Fenômenos de Transporte.

Palavras-chave: Regenerador; Elastocalórico; Ligas de Memória de forma

RESUMO:

O efeito elastocalórico tem sido estudado como uma alternativa aos sistemas convencionais de refrigeração, principalmente pelo uso de materiais com memória de forma, como a liga níquel-titânio (NiTi), que apresenta variações de temperatura quando submetida a esforços mecânicos. Neste trabalho, foi desenvolvido no ANSYS um modelo numérico simplificado de um conceito de refrigerador elastocalórico, tomando como referência a configuração de placas de NiTi submetidas à tração apresentada por Cirillo et al. (2026). Foi modelada uma placa de Nitinol sujeita a uma força de 230 N durante 20 ciclos de carregamento e descarregamento, permitindo avaliar seu comportamento mecânico e a deformação ao longo do tempo. A energia de deformação obtida na análise estrutural foi utilizada para estimar a potência térmica, posteriormente aplicada na simulação térmica como geração interna de calor. A temperatura inicial foi definida em 25 °C, com convecção de 25 $W/m^2 \cdot °C$ na superfície externa da placa. Durante a simulação, a menor temperatura média foi de 23,66 °C e a maior chegou a 26,25 °C. Os resultados permitiram observar o comportamento mecânico e térmico da placa de NiTi e mostraram que o modelo pode ser utilizado como base para o desenvolvimento das próximas etapas da pesquisa.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de sistemas de refrigeração elastocalórica depende não apenas da escolha do material, mas também da forma como ele responde aos esforços aplicados durante o funcionamento. Como esses sistemas trabalham com ciclos repetidos de carregamento e descarregamento, é importante analisar como ocorrem as deformações, as tensões e as variações de temperatura ao longo do tempo.
Nesse sentido, a utilização de modelos numéricos permite estudar essas respostas antes da construção de um protótipo, avaliando diferentes condições de funcionamento. Entre os materiais utilizados para esse tipo de aplicação, as ligas de níquel-titânio (NiTi) apresentam características favoráveis devido à transformação de fase induzida por tensão, responsável pelo efeito elastocalórico. Durante os ciclos de

carregamento e descarregamento, essa transformação provoca variações de temperatura no material, possibilitando sua aplicação em sistemas de refrigeração.
Como referência para este trabalho foi utilizado o estudo de Cirillo et al. (2026), que apresenta simulações numéricas de regeneradores elastocalóricos utilizando NiTi em diferentes geometrias e modos de carregamento. Entre as configurações analisadas, os autores estudaram placas paralelas submetidas à tração, sendo o modelo numérico validado a partir de dados experimentais disponíveis na literatura.
A partir dessa configuração, este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo numérico simplificado no ANSYS para analisar uma única placa de NiTi submetida a ciclos de carregamento e descarregamento. Foram avaliadas as tensões, as deformações e as variações de temperatura ao longo dos ciclos, buscando observar o comportamento mecânico e térmico da placa e avaliar seu potencial para aplicação em um sistema de refrigeração elastocalórica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram feitas simulações no software ANSYS, separadas em análise estrutural e análise térmica. Foi utilizada uma placa de liga níquel-titânio (NiTi) com 0,1mm de espessura, 10mm de largura e 300mm de comprimento. Em uma das extremidades da placa foi colocado um suporte fixo e, na outra extremidade, foi aplicada uma força de 230N durante 20 ciclos de carregamento e descarregamento, como representados na Figura 1.

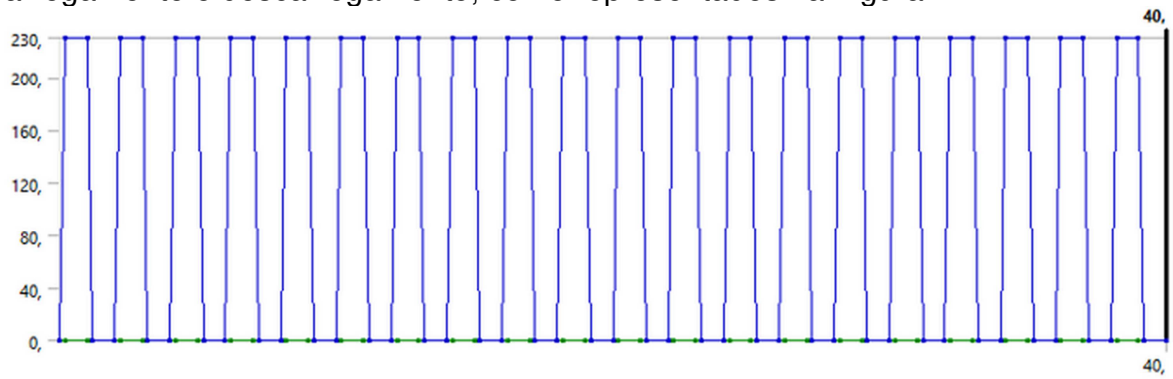


Figura 1 – Representação da força aplicada (N) x tempo (s)
Fonte: O Autor

Na análise estrutural foram avaliadas as deformações da placa e a energia de deformação (*Strain Energy*) gerada durante os ciclos. Com base nesse resultado, foi estimada a potência térmica, considerando um aproveitamento de 10%. Em seguida, a potência foi relacionada ao tempo (Equação 1) e ao volume (Equação 2) da placa para obter os pontos para a aplicação na geração interna de calor em W/m³, representados na Figura 2.

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \qquad (1)$$

Em que P é a potência térmica (W), E é a energia de deformação (J), Δt é o intervalo de tempo (s).

$$q''' = \frac{P}{V} \qquad (2)$$

Em que, q''' representa a geração interna de calor (W/m³), P a potência térmica (W) e V o volume da placa (m³)

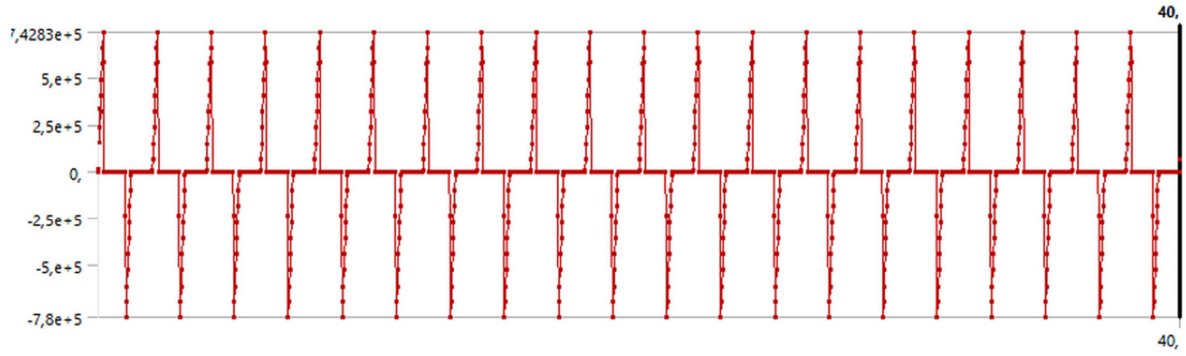


Figura 2 – Representação da força aplicada (N) x tempo (s)
Fonte: O Autor

Na simulação térmica, esse valor foi inserido no ANSYS como *Internal Heat Generation*. A temperatura inicial da placa foi definida em 25°C e foi aplicada uma convecção de 25 W/m^2·°C na superfície externa. A análise foi realizada ao longo dos ciclos para acompanhar a variação da temperatura média da placa com o tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise estrutural, a aplicação da força de 230 N durante os 20 ciclos permitiu observar a deformação da placa e a distribuição das tensões ao longo do material. As maiores concentrações ocorreram nas regiões próximas às extremidades, principalmente onde foram aplicadas as condições de apoio e carregamento. A resposta mecânica e térmica acompanhou os ciclos de carregamento (veja a Figura 3) e descarregamento, apresentando comportamento repetitivo ao longo da simulação.

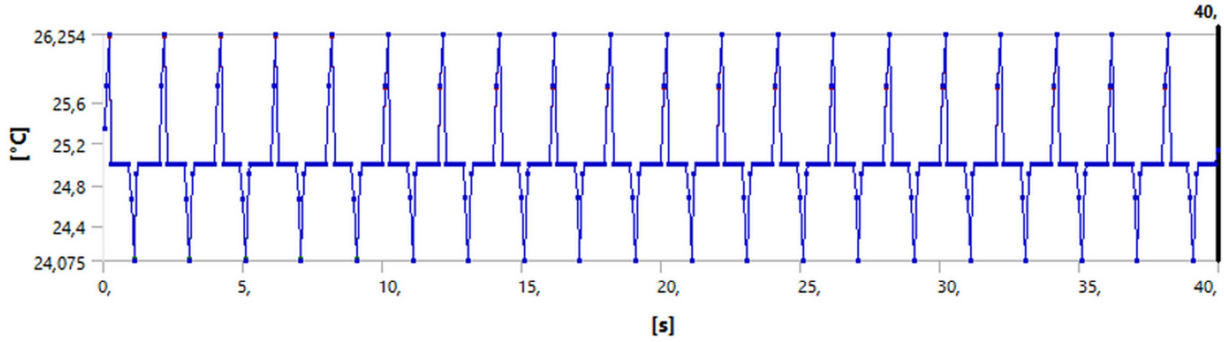


Figura 3 – Representação temperatura (°C) x tempo (s)
Fonte: O Autor

A partir da energia de deformação obtida na análise estrutural, foi estimada a geração interna de calor utilizada na simulação térmica. Considerando uma temperatura inicial de 25°C, a menor temperatura média encontrada durante o resfriamento foi de 23,7°C, enquanto no aquecimento a maior temperatura média chegou a 26,3°C. Dessa forma, foram obtidas variações de aproximadamente 1,3°C tanto no resfriamento quanto no aquecimento.
Os resultados ficaram abaixo das variações adiabáticas apresentadas por Cirillo et al. (2026) para o NiTi submetido à tração, que podem chegar a aproximadamente 6 K. Essa diferença pode estar relacionada às simplificações adotadas no modelo, à forma utilizada para relacionar a energia de deformação com a geração de calor e à troca de calor com o ambiente. Mesmo assim, foi possível observar o aquecimento e o resfriamento da placa durante os ciclos, mostrando que o modelo consegue representar de forma inicial o comportamento térmico esperado para o efeito elastocalórico.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos até o momento mostram que os objetivos propostos estão sendo cumpridos, permitindo analisar as deformações, tensões e variações de temperatura da placa de NiTi durante os ciclos de carregamento e descarregamento. A continuidade da pesquisa permitirá aprimorar o modelo e aprofundar a análise do sistema elastocalórico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pelo bolsa PIBIC concedida por meio do Projeto Meninas Superpoderosas na Engenharia: aliadas da sustentabilidade e da tecnologia contra a desigualdade de gênero, à Universidade Estadual de Maringá (UEM) e ao meu orientador Flavio Clareth Colman.

REFERÊNCIAS

ANSYS, INC. Shape memory alloy (SMA). In: ANSYS, INC. **Material Reference**. Release 2025 R1: Ansys, 2025. Disponível em: https://ansyshelp.ansys.com/public/Views/Secured/corp/v251/en/ans_mat/smas.html. Acesso em: 26 ago. 2026.

CIRILLO, L. et al. Numerical simulations for regenerator optimization in an experimental elastocaloric cooling prototype based on shape memory alloys. **Energy Conversion and Management**, v. 348, art. 120616, 2026.