

## PROGRESSÃO DA ANÁLISE TERMODINÂMICA EM TRANSPORTADORES DE VACINA

Ruan Oliveira Viana<sup>1</sup> (IC), Luiz Felipe Pugliese (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá - Itabira

**Palavras-chave:** Fabricação aditiva, Otimização, Sistema térmico, Termoplástico.

### Introdução

O sistema de imunizações brasileiro, incursionado pela Cadeia de Frios, perde a cada ano, segundo Patine (2021) e Pereira (2013) cerca de 2,7% de imunobiológicos para fatores térmicos. Tal número se justifica devido às intercorrências que envolvem o armazenamento e transporte das vacinas em todas as instâncias do Programa Nacional de Imunizações (PNI), visto que quanto mais próximo dos campos de aplicação (Unidades Básicas de Saúde), mais a temperatura afeta os armazenadores e transportadores, por se valerem de dispositivos menos acurados a tal, por caixas de isopor e geladeiras convencionais, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Caixa de vacinas em Pará de Minas (MG)



Fonte: Site da Prefeitura de Pará de Minas

Por Viana (2021), Abreu (2021) e Rodrigues (2021), viu-se a resposta ótima de diversos protótipos de estrutura-atuador que são capazes de arrefecer o interior com dinâmica térmica mais contínua possível, evitando perturbações. Em continuidade à conclusão de utilização do material MDP (*Medium Density Particleboard*) e parâmetros de controle  $\lambda=100$ , além da presença de gelo artificial no interior da caixa, tem-se a atual pesquisa, intenta-se a simulação de novos formatos e topologias do armazenador com base no estudo prévio de materiais e métodos de produção, tal como a Fabricação Aditiva, e a alocação mais otimizada dos atuadores de Peltier a fim do resfriamento do sistema seguindo as bases de transferência de calor.

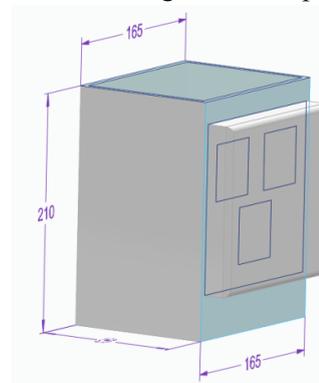
Traça-se, como cunho inicial, a hipótese de utilização de termoplástico como material estruturante, por meio de impressão 3D ou Fabricação Aditiva. Com base em análises de Gibson (2009), estratificaram-se os materiais-foco e, com base nos parâmetros médios dos polímeros por Castanheira (2016) pôde-se acirradamente filtrar-se os materiais-destaque - Náilon, PETG e ABS - para a utilização em software, pós-modelagem computacional da caixa. Em sequência à determinação dos ganhos térmicos com relação ao material, a metodologia se expande à compreensão da geometria e posicionamento das células de Peltier internamente à caixa, a fim de compreender o melhor invólucro térmico.

### Metodologia

#### Modelagem de estrutura em software

Utilizando como matriz de trabalho as dimensões e esboços de Viana (2021), Abreu (2021) e Rodrigues (2021) para o armazenador térmico de MDP, estruturou-se em software (*Solid Edge*) o desenho 3D de um novo transportador, em que os atuadores de Peltier passassem da parte superior da caixa para a lateral desta sendo três unidades de compensação térmica, como pode ser vista na Figura 2.

Figura 2 - Modelagem 3D - hipótese 1



Fonte: Autoria própria

Como representado, também na Figura 2, está a estrutura de inoculação elétrica e de fixação dos atuadores e estruturas anexas, como os dissipadores de calor e ventoinhas. A estrutura de Peltiers em tríade parte de que, por Cengel (2009), a convecção interna da caixa faz com que a movimentação natural do fluido em termos de trocas de calor seja de baixo para cima, o que gera uma pseudo-coordenação deste a fim de que a temperatura esteja mais elevada na parte superior, sendo necessário que o calor seja trocado com maior intensidade nesta face.

### Simulação Fluidodinâmica da hipótese 1

A partir do sistema modelado em ambiente digital, pôde-se partir à definição do polímero. Como inicial premissa, observou-se cinco diferentes materiais que já são utilizados na impressão 3D, sendo eles o Náilon, PETG, PLA, ABS e PP descritos aqui ao nível decrescente de densidade [g/cm<sup>3</sup>].

Após análise eliminativa por características de custo e apelos térmicos, optou-se por:

1. Náilon: por Gibson (2009), tecnicamente mais suscetível a variações de temperatura positivas e negativas.
2. PETG (Politereftalato de etilenoglicol): modificação do PET, altamente isolante, muito forte, durável, leve e mais fácil de ser impresso por não haver problemas grandes de adesão.
3. ABS (Acrilonitrila butadieno estireno): abundantemente encontrado e utilizado para impressão 3D na atualidade, alta adesão à cama de impressão.

Por Castanheira (2016), estratificam-se os parâmetros médios dos polímeros a partir da Tabela 1, tendo como base uma carga térmica contínua de -40 °C à 200 °C.

Tabela 1 - Condutividade de termoplásticos

Material	Condutividade [W/m.K]
Náilon	0,2395
PETG	0,1902
ABS	0,2447

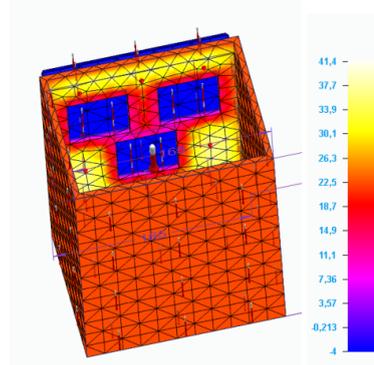
Fonte: Castanheira (2016)

Utilizando-se software de simulação *Solid Edge*, intenta-se a análise calorimétrica estável, que gera, em tempo corrente, as transferências de calor dos volumes. Configurou-se, portanto, o tempo de resfriamento e a

temperatura média das células de Peltier auscultado por Viana (2021), à temperatura interna de 20 °C e externa 22 °C. Modificaram-se as características do material na simulação com base nos parâmetros apresentados na Tabela 1 para cada um dos materiais.

Ao utilizar a condutividade e demais características do material Náilon (que eram inerentes do software), obteve-se o sistema da Figura 3.

Figura 3 - Transiente de temperatura crítico (Náilon)

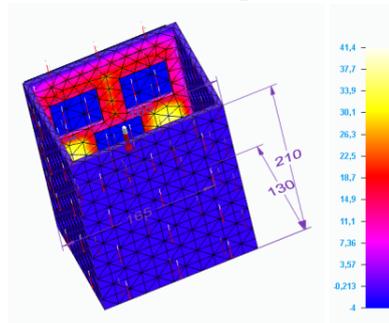


Fonte: Autoria própria

Observando-se o interior, pode-se analisar que a topologia apresenta ineficiência em degelo em razão de que no período de simulação 4h e 03 min, o Náilon não foi capaz de conter o vetorial de degelo em circulação interna ao invólucro, fazendo com que a Peltier saturasse e não fosse efetiva no resfriamento.

Mudando-se os parâmetros da simulação para o ABS, tem-se a Figura 4

Figura 4 - Transiente de temperatura crítica (ABS)



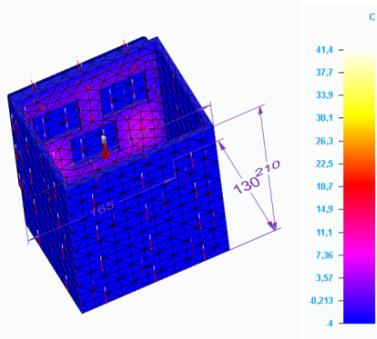
Fonte: Autoria própria

O sistema é resfriado de forma coesa até os -4 °C nascentes, no entanto, o material desenvolve característica responsiva em suas áreas inferiores da estrutura de refrigeração, tal temperatura é igualmente advinda do aquecimento trazido pela topologia em tríade do subsistema Peltier-ventoinha-dissipador, o que faz com que a face adjunta a eles se aqueça com facilidade,

observada pela cor amarelada na parte inferior.

Em terceira via foram anexados os parâmetros do PETG em ambiente de simulação e derivou-se o seguinte esquema da Figura 5.

Figura 5 - Transiente de temperatura crítico (PETG)



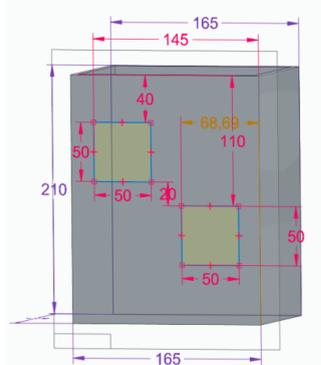
Fonte: Autoria própria

Nota-se uma maior coesão na dissipação na caixa na totalidade, no período de simulação de 4 horas e 03 minutos, no entanto, ainda é observável a ocasião de temperatura superior em certas localidades da face em que os atuadores são anexados; tal ocasião se justifica pela não eficiência total de dissipação térmica das células de Peltier em tríade, que sobrecarrega a estrutura de refrigeração destas.

### Simulação Fluidodinâmica da hipótese 2

Seguindo as ocorrências de sobrecarga no arrefecimento das células atuadoras de Peltier, objetivou-se uma segunda hipótese que mitigasse o problema. Com base em Silva (2021), utilizou-se dois acoplamentos térmicos e não três, dispostos em diagonal por uma distância de 20 cm em altura. Gerou-se o modelo dado pela Figura 6.

Figura 6 - Topologia diagonal de atuadores Peltier

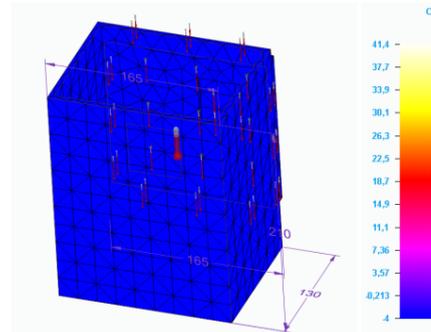


Fonte: Autoria própria

A fim de se medir se haveria melhorias com a mudança,

adicionou-se os mesmos parâmetros termométricos do ambiente e de simulação final. Aplicando para o material de PETG, visto como o mais coeso quanto ao contexto de coeficiente térmico e simulação da hipótese 1, derivou-se a observação da Figura 7.

Figura 7 - Transiente de temperatura crítico - duplo atuador (PETG)



Fonte: Autoria própria

Observa-se bom usufruto térmico, em tempo menor (metade) das simulações anteriores; não houve superaquecimento nem relatório de falhas dados por uma possível queima por equilíbrio térmico dos componentes elétricos.

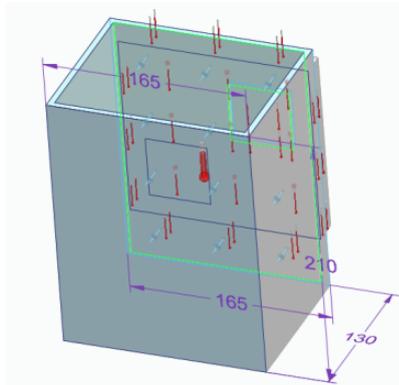
Analisa-se a uniforme propagação do calor, justificado por uma melhor eficiência da base de resfriamento, a qual consegue focalizar todo o calor gerado para fora do invólucro elétrico.

## Resultados e discussão

Por conseguinte, a partir dos estudos teóricos feitos dos polímeros a serem empregados na técnica de fundição de filamentos, emprega-se com justificação físico-química e também em simulação, a utilização do material PETG como o mais apropriado para a impressão, visto sua condutividade térmica menor, que impacta em uma maior conservação da temperatura interna da caixa.

Acerca da estrutura de atuadores e compensadores, resulta-se na escolha da diagonalização das células de Peltier, em duas unidades, que determinou, por simulação, uma otimização na refrigeração com base validada na rotacionalidade do fluido por convecção, o que gera dinamismo das trocas superiores com as inferiores, sem diferenças significativas com a exclusão de uma das células.

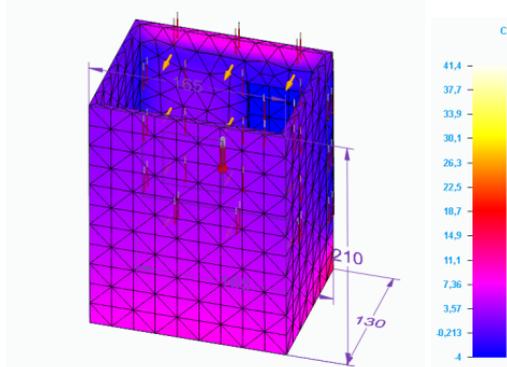
Figura 8 - Fluxo de degelo (*Solid Edge*)



Fonte: Autoria própria

Com a Figura 8 em análise, é possível notar, por uma solução linearizada, estática térmica, a ação total de degelo. As setas azuis-turquesa demonstram qual o fluxo inverso de calor da planta, que determina exatamente as bases teóricas de troca entre a estrutura de arrefecimento e o interior da caixa, mostrando-se, mesmo que com somente duas unidades de resfriamento, um equilíbrio na temperatura nas diferentes alturas, demonstrando a otimização da transferência.

Figura 9 - Transiente térmico semi-crítico (PVCG)



Fonte: Autoria Própria

Para a Figura 9, observa-se, em simulação no tempo, a rotina de trocas térmicas para metade do tempo dado nas simulações anteriores para diferentes materiais (4h 03min). Tal marcador salienta a eficiência dessa topologia quanto às suas transferências de calor e manutenção do invólucro de degelo por maior tempo, visto chegar em homeostase com maior velocidade.

## Conclusões

Com base nas motivações que perpassam a pesquisa em questão, e em continuidade às matrizes laudatórias desta, observa-se concludente o trabalho. Tratam-se como coesos os resultados em simulação à aplicabilidade futura de impressão das estruturas em bases poliméricas de PETG, em topologia geométrica dos atuadores em diagonal e utilização do invólucro elétrico e estrutural para proteção dos componentes vitais de controle. Almeja-se, portanto, em futuros trabalhos a formalização física do estudo por meio da fabricação do armazenador por Fabricação Aditiva por Filamento Fundido (FFF) em meio laboratorial e utilização das bases paramétricas de controle anteriormente estudadas e validadas.

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Universidade Federal de Itajubá, instituição que renova dia após dia seu compromisso com a sociedade, trajando sua comunidade acadêmica a identificar e suplantando os problemas existentes, a partir do fomento à pesquisa. Em seguida, agradeço imensamente ao professor orientador Luiz Felipe Pugliese, por todos os seus nortes, atenção e indescritível paciência em toda execução do projeto. Destarte, vale salientar um forte agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por seu amparo e subsídio.

## Referências

- CASTANHEIRA, Ana Teresa Gaspar. Impressão 3D de estruturas para isolamento térmico. 2016. Tese de Doutorado.
- CENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. Transferência de Calor e Massa. AMGH editora, 2009.
- GIBSON, Ian; ROSEN, David; STUCKER, Brent. Additive Manufacturing Technologies. New York: Springer, 2009.
- PATINE, Flávia dos Santos et al. Análise da perda de vacinas por alteração de temperatura. Revista Brasileira de Enfermagem, v. 74, 2021.
- PEREIRA, Diego Daniel dos Santos et al. Análise da taxa de utilização e perda de vacinas no programa nacional de imunização. Cadernos Saúde Coletiva, v. 21, p. 420-424, 2013.
- VIANA, Ruan Oliveira. Construção de Protótipo e Controle Térmico em Recipientes de Armazenamento de Vacinas. Programa de Iniciação Científica - PIVIC, UNIFEI, 2021.
- ABREU, Leticia Lorena Corgosinho. Construção de Protótipo e Controle Térmico em Recipientes de Armazenamento de Vacinas. Programa de Iniciação Científica - PIVIC, UNIFEI, 2021.
- RODRIGUES, Douglas Vinícius dos Santos. Construção de Protótipo e Controle Térmico em Recipientes de Armazenamento de Vacinas. Programa de Iniciação Científica - PIVIC, UNIFEI, 2021.
- SILVA, Thaynara Pedrosa et al. Utilização do efeito Peltier para resfriamento de ambientes. 2021.