

## PROPRIEDADES TÉRMICAS DE COMPOSITOS POLIMERICOS DE MATRIZ EPOXÍ

Lucas Tencate Toti (FIRB) [tencate77@gmail.com](mailto:tencate77@gmail.com)

Thaís Caroline de Oliveira Roque (FIRB) [thahroque@gmail.com](mailto:thahroque@gmail.com)

Jeferson Camargo Fukushima (UNESP) [jefersonfukushima@dem.feis.unesp.br](mailto:jefersonfukushima@dem.feis.unesp.br)

Alejandro Resende (UNISALESIANO) [alehfran@gmail.com](mailto:alehfran@gmail.com)

### Resumo:

Com o desenvolvimento de equipamentos eletrônicos, trocadores de calor o aumento da potência dissipada, torna a difícil tarefa de controlar seus níveis de temperatura mais complexa e necessária. A adição de novas ferramentas para troca de calor cria a necessidade de acoplamentos termicamente eficientes, os materiais hoje utilizados para este fim apresentam condutividades térmicas muito baixas. Os materiais compostos já empregados em diversas áreas podem apresentar-se então como uma solução para acoplamentos térmicos.

**Palavras chave:** Resina, Trocadores de Calor, Dissipadores.

## THERMAL PROPERTIES OF EPOXY MATRIX POLYMERIC COMPOSITES

### Abstract

With the development of electronic equipment, heat exchangers increase the power dissipated, makes the difficult task of controlling their temperature levels more complex and necessary. The addition of new tools for heat exchange creates the need for thermally efficient couplings, the materials used today for this purpose have very low thermal conductivities. Composite materials already employed in several areas may then present as a solution for thermal couplings.

**Key-words:** Resin, Heat Exchangers, Heat Sinks.

## 1 - INTRODUÇÃO

O estudo aborda as propriedades térmicas de compósitos poliméricos de matriz epóxi com a adição de cargas minerais e metálicas.

Vale considerar que devido a aplicabilidade da resina epóxi ser bem ampla, material que pode ser utilizado em diversas áreas, como na engenharia elétrica, na construção civil, setores automobilísticos, navais e aeronáuticos, parte-se do problema de que esse material termofixo seja estudado por suas propriedades térmicas, a fim de obter efetividade e boa condutividade térmica garantindo eficiência como material isolante/trocador de calor.

## 2 – OBJETIVOS

Analisar, por meio de experimentos, as propriedades térmicas de polímeros de matriz epóxi com agregados de cargas minerais.

### **Objetivos Específicos:**

Para pesquisar a influência das propriedades térmicas dos materiais, considerando a condutividade térmica em polímeros de matriz epóxi, espera-se:

- Realizar a medição do fenômeno da condutividade térmica e temperatura através da plataforma eletrônica de prototipagem arduino.
- Analisar o comportamento da resina sob a ação de aditivos e gerar compósitos com propriedades intrínsecas modificadas através do acoplamento térmico.
- Levantar os resultados obtidos para fazer apontamentos indicando em que circunstâncias podem ser mais adequadas considerando a troca de calor

## 3 - JUSTIFICATIVA:

O transporte térmico em polímeros é relativamente baixo, em aplicações no setor eletroeletrônico como isolante e trocador de calor. Sendo assim, é crucial melhorar as propriedades térmicas a fim de possibilitar o estudo da capacidade de condução de energia térmica do material termorrígido. A incorporação de cargas inorgânicas em resinas de matriz de epóxi tem demonstrado ser um meio promissor, pois tem evidenciado melhorias nas propriedades térmicas do material.

Um estudo desses compósitos, com propriedades intrínsecas modificadas, reveste-se de importância haja vista a possibilidade de melhorar a compreensão da magnitude do fenômeno da condutividade térmica, além das novas aplicabilidades das resinas de matriz epóxi e também possíveis inovações tecnológicas em processos que envolvam trocadores de calor.

## 4 – REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Pesquisadores têm demonstrando interesse em explorar as propriedades térmicas em polímeros de matriz epóxi por meio da dissipação de potência térmica nos dispositivos eletrônicos.

Segundo Obata (2012), com a evolução, os componentes eletrônicos se tornaram cada vez menores e mais potentes e sua miniaturização tem gerado problemas em manter os sistemas estáveis. A temperatura é responsável por quase metade dos defeitos apresentados pelos equipamentos eletrônicos, podendo alterar parâmetros como: resistência, indutância, capacitância, constante dielétrica, deterioração do encapsulamento e indução de reações químicas parasitas.

Existem tipos variados de ferramentas de dissipação de energia. Uma delas é o resistor. Para execução do teste conceitual da condução de calor em polímeros de matriz epóxi, placa eletrônica (arduino uno), por conta da sua praticidade, é a ferramenta empregada, pois, por meio desta, é possível determinar o fenômeno da dissipação de calor propagado pelo resistor em forma de energia térmica, atuando em um acoplamento entre resina epóxi/carga, a fim de garantir a eficiência dessa união térmica.

Relevante remeter à Norma ASTM D3878-95 que define compósito como uma substância consistindo de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, as quais são combinados para formar um material de engenharia útil com certas propriedades que não se encontram nos materiais isoladamente.

Quanto a compostos, Hashin (1983) define os materiais compostos, como aqueles que possuem na sua construção pelo menos dois materiais de gêneros diferentes, grandes os suficientes para serem considerados contínuos, dessa forma conseguem aliar propriedades desejadas dos dois materiais originais em um novo composto.

Um dos materiais possíveis é a resina epóxi, uma pasta térmica de extrema importância, pois sua aplicabilidade é bem ampla, e uma das alternativas de utilização da resina é encontrada nos compostos. Após reagir com seu agente catalizador adequado, tem suas propriedades físicas, químicas e mecânicas alteradas. Este fenômeno reativo implica na conversão do composto para o estado termorrígido da matéria. Na sequência, a cura da resina pode ocorrer em temperatura e pressão ambiente e ou controlados e, quanto ao tempo de cura, este está à deriva do tipo de material utilizado.

Segundo publicações no site POLGLASS, as resinas epóxi, depois de curadas, apresentam boas resistências físicas, químicas e mecânicas. Por cura entende-se o processo de endurecimento da resina epóxi. Segundo Almeida (2005), a reação de cura em resinas é um processo complexo, definido como uma mudança irreversível nas propriedades químicas e físicas de uma determinada formulação resina/endurecedor/carga causada por uma reação química.

Mesmo com processo de cura concluído, os sistemas epóxi possuem condutividade térmica relativamente baixa sendo esta propriedade térmica melhorada por meio da adição de cargas inorgânicas com alto grau de condução de calor durante o processo de hibridização e confecção dos corpos de prova. Vale ressaltar que estas cargas podem ser do tipo metálico ou cerâmico avançado.

As cargas minerais são substâncias inorgânicas compostas por grãos muito pouco flexíveis que são incorporados à massa de polímero (Rothon, 1995) ou a fibras de celulose (papel); os polímeros, por sua vez, são substâncias orgânicas elaboradas a partir da polimerização de compostos orgânicos, sendo constituídos por cadeias carbônicas flexíveis e moldáveis (Canevarolo, 2002). Dessa forma, a adição de cargas minerais tem demonstrando melhorias consideráveis na condução de calor em sistemas epóxi.

Almeida (2005) destacam os fundamentos de transferência de calor e de massa, transferência de calor ou calor é energia térmica em trânsito ocorre devido a uma diferença de temperaturas no espaço.

## 5 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A metodologia da presente pesquisa é de cunho experimental e, para alcançar os objetivos propostos, consideram-se três tipos de pesquisa, os quais serão trabalhados, concomitantemente: pesquisa descritiva, explicativa e exploratória. Quanto ao método de pesquisa, este será quantitativo e qualitativo. Dessa forma, a pesquisa terá início com a leitura de referências bibliográficas, para levantamentos de informações de pesquisas anteriores ao objeto desta pesquisa; na sequência, os dados serão obtidos por meio de um software de

programação e prototipagem arduino; depois, os resultados serão analisados e interpretados em um laboratório de “X”.

De uma maneira holística, busca-se, nesta etapa, estabelecer uma descrição do processo de confecção de um material composto para acoplamentos entre dispositivos eletrônicos e determinação da condutividade térmica tencionando uma melhor compreensão do fenômeno da condutividade térmica, de forma a explorar a complexidade das propriedades térmicas em polímeros de matriz epóxi e, ao mesmo tempo, explicar as relações entre essas propriedades. Nesse sentido, as pesquisas do tipo descritiva e exploratória permitirão apontar a base para devidas explicações e cálculos. No momento da análise dos dados quantitativos, a pesquisa permitirá gerar hipóteses explicativas para o fenômeno em questão. Estas, então, serão testadas empiricamente. Nos estudos qualitativos, buscaram-se explicações sobre a existência do fenômeno, analisando a efetividade do projeto, conforme suas fragilidades e potencialidade de aplicação.

### **5.1. Confecção dos corpos de prova sem cargas minerais e sem gerador de fonte de calor**

Foi realizado um teste na intenção de avaliar o grau de cura do material termorrígido em diversas proporções estequiométricas da mistura resina epóxi mais agente endurecedor, figura 01.



Figura 01 – Resina epóxi

Com base nas informações de quantidade da mistura presente no boletim técnico do material a ser estudado, foi estabelecida certa variabilidade do composto em ml. Após o término dos preparativos esperou-se a cura completa da resina.

| Quantidade de<br>Resina | Epóxi em<br>(ml) | Quantidade de<br>Endurecedor em<br>(ml) | % Cura    |
|-------------------------|------------------|-----------------------------------------|-----------|
| 10 ml                   |                  | 4,5 ml                                  | 100 %     |
| 10 ml                   |                  | 5 ml                                    | 100 %     |
| 20 ml                   |                  | 9 ml                                    | 100 %     |
| 20 ml                   |                  | 10 ml                                   | 100 %     |
| 20ml                    |                  | 11ml                                    | 100 %     |
| 20 ml                   |                  | 2ml                                     | Não curou |

Fonte: Próprio Autor

Tabela 01 – Relação Resina Epóxi / Catalizador

## 5.2. Confecção dos corpos de prova sem cargas minerais com resistor circundado

O corpo de prova ou molde utilizado foi uma forma de gelo de silicone formato retangular 4x4. Partindo da proporção convencional proposta pelo fabricante para utilização da resina epóxi cristal e seu agente catalizador/endurecedor, foi introduzido nas lacunas do corpo de prova 10 ml de resina para 5 ml de endurecedor, o vazamento se deu através de seringas. A fim de se obter homogeneidade uma hibridização foi promovida por meio da agitação do composto com espátulas de madeira, em algumas cavidades do molde foram colocados resistores circundados e suspensos por um suporte de maneira centralizada, após o termino esperou-se o tempo necessário para cura da resina, figura 02.

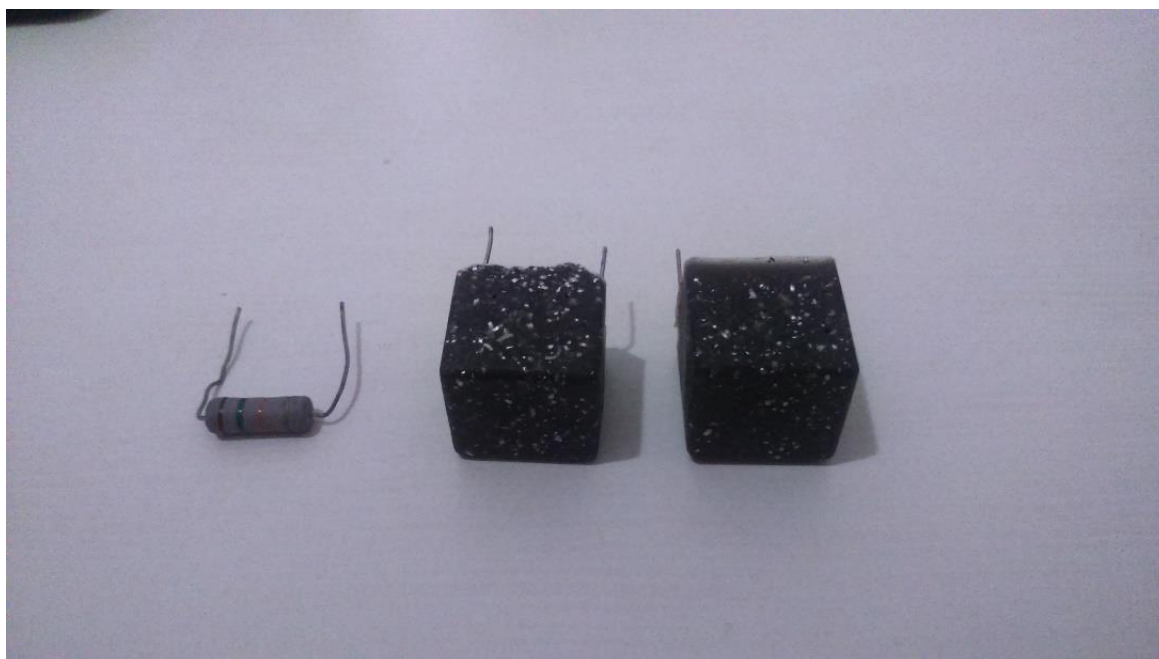


Figura 02 – Resistor e corpo de prova

Depois da cura do núcleo do material, este foi desmoldado para inspeção de suas características finais e submetido a análise das suas propriedades térmicas.

## 5.2. Adição de cargas minerais e metálica

Foi realizada a adição de cargas minerais em diversas proporções a fim de propiciar uma alteração/melhoria das propriedades térmicas da resina epóxi e possibilitar o estudo do comportamento/cura do material termorrígido sob a ação dessas cargas minerais com alto grau de condução de calor, especificamente as cargas inorgânicas utilizadas foram alumínio e carvão de silício em pó, figura 03.



Figura 03 – Corpos de prova de resina epóxi

Os dados podem ser observados na tabela abaixo e resultados visualizados nas imagens a seguir.

| Carga Metálica |                           |      | Carga Cerâmica |                     |      |
|----------------|---------------------------|------|----------------|---------------------|------|
| Tipo A         | 4,69 g/cm <sup>3</sup> *  | 18%C | Tipo           | 5,58                | 18%C |
|                |                           |      | A              | g/cm <sup>3</sup> * |      |
| Tipo B         | 8,61 g/cm <sup>3</sup> *  | 33%C | Tipo           | 10,23               | 33%C |
|                |                           |      | B              | g/cm <sup>3</sup> * |      |
| Tipo C         | 12,52 g/cm <sup>3</sup> * | 48%C | Tipo           | 14,89               | 48%C |
|                |                           |      | C              | g/cm <sup>3</sup> * |      |

Fonte: Próprio Autor

Tabela 02 – Concentração de cargas em volume

\* Massa da carga utilizada

C: Carga

%; Porcentagem da carga utilizada

### 5.3. Arduino

Este software foi desenvolvido a fim de facilitar a programação, de pessoas que tencionam realizar testes e automatizar seus projetos. O Arduino é uma plataforma de desenvolvimento que possibilita a inserção do seu código em linguagem C/C++ adaptada. Após inserir a linguagem codificada/específica o programa fará todo o processo de compilação e transferência do código do seu hospedeiro para o micro controlador/placa, proporcionando assim eficiência e praticidade no processo de programação e testes conceituais.

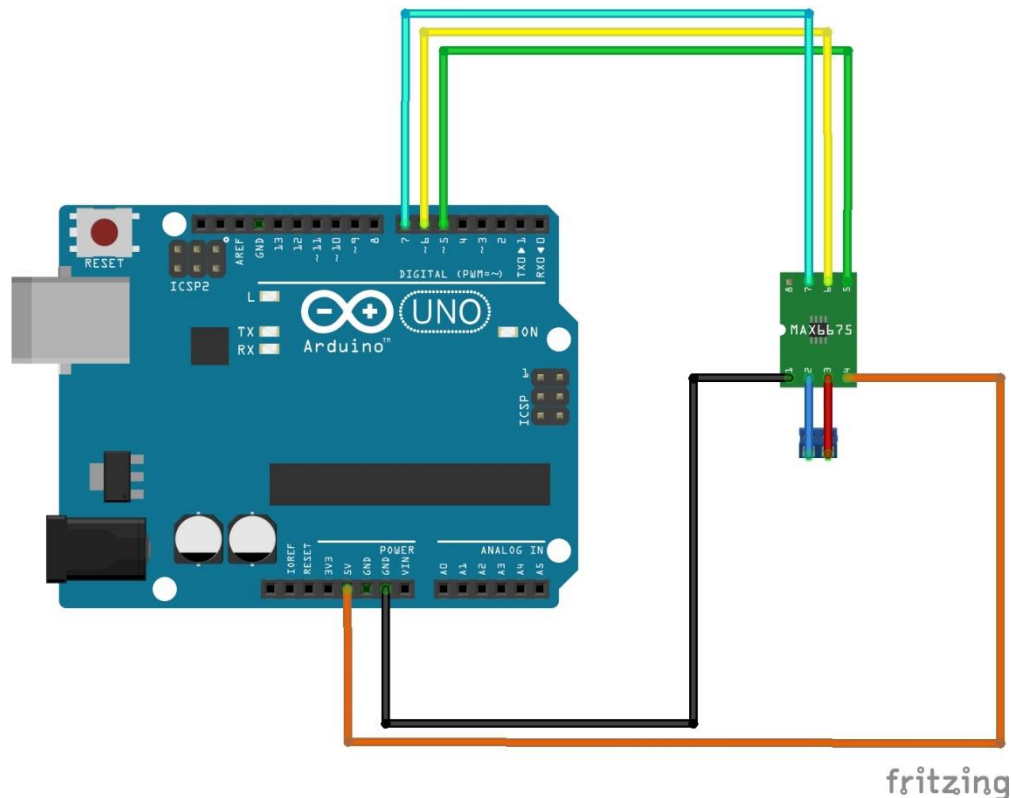


Figura 04 – Kit Arduino

### 5.4. Programação

Este software é alimentado com uma linguagem de programação DSL (que é uma adaptação do c++), esta programação implica na utilização de bibliotecas, que são sketches pré-programados que importam comandos de acordo com a programação que vai ser usada, o programa irá processar, compilar esses comandos, funções e informações presentes na programação escrita para a placa, permitindo assim a realização de ensaios específicos e verificação de resultados através da execução de saídas em um hospedeiro ou display LCD.

Neste trabalho foram utilizadas duas bibliotecas sendo elas Wire e Max6675. A biblioteca Wire tem como finalidade programar micro controladores já a Max6675 (nome do próprio componente) serve para controlar termopares tipo K este podendo medir a temperatura de 0,25°C a 100°C.

### 5.5. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA

Utilizou-se como fonte de indução de corrente elétrica um Varic (Regulador de Voltagem) cuja função é energizar o resistor circundado no corpo de prova. O Resistor recebe a energia em forma de corrente elétrica e a dissipa em forma de energia térmica (calor) a energia dissipada pode ser captada através de um termopar tipo K que quando acoplado a placa arduino uno alimentada com uma programação específica torna possível a medição da temperatura dos corpos de prova com cargas minerais de maneira automatizada.

Os resultados podem ser visualizados na tabela a seguir:

| Material    |     | Tensão (V) | Temperatura (° C) |
|-------------|-----|------------|-------------------|
| Resina Crua |     | 170 V      | 39,5 °C           |
|             |     | 180 V      | 41°C              |
|             | 18% | 170 V      | 41°C              |
|             |     | 180 V      | 44°C              |
| Alumínio    | 33% | 170 V      | 37°C              |
|             |     | 180 V      | 40°C              |
|             | 48% | 170 V      | 37°C              |
|             |     | 180 V      | 41°C              |
|             | 18% | 170 V      | 37,75°C           |
|             |     | 180 V      | 41,75°C           |
|             | 33% | 170 V      | 36°C              |
|             |     | 180 V      | 38°C              |
| Cerâmica    | 48% | 170 V      | 36°C              |
|             |     | 180 V      | 38°C              |

Fonte: Próprio Autor

Tabela 03 – Relação tensão fornecida com temperatura dissipada

### 6. CONCLUSÕES

Observamos que conforme aumentamos a concentração de carbetto de silício a temperatura diminui, devido ao aumento da condutividade térmica do material, e que o carbetto de silício possui maior eficiência em trocar o calor, em relação ao alumínio, não conseguimos observar variações significativas, em relação a resina sem aditivos.

### Referências

- ALMEIDA, C. N. *Propriedades Mecânicas e Térmicas do Sistema Epóxi DGEBA/ETILENODIAMINA modificado com Nanoplateformas de Silsesquioxano Substituídas com Grupos Ésteres*. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2005.
- OBATA, D. H. S.; FUKUSHIMA, J.; PASCHOALINI, A. T.; BAZANI, M. A.; SEIXLACK, A. L. *Confeção de Material Composto para Acoplamentos em Dispositivos Eletrônicos*. Artigo. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, São Luiz, Maranhão, 2012.

**Z. HASHIN**, *Analysis of Composite Materials—A Survey*, Department of Solid Mechanics, Materials and Structures, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel, 1983. doi:10.1115/1.3167081

**R. N. ROTHON**, *Particulate-filled polymer composites*, Longman Scientific & Technical, 1995.

**CANEVAROLO JR.** *Ciência dos polímeros*, São Paulo: Artliber Editora, 2002.