

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

**COMPORTAMENTO TERMOELÉTRICO DE ELEMENTOS Sensores
PIEZORESISTIVOS¹
THERMOELECTRIC BEHAVIOR OF PIEZORESISTIVE SENSORS
ELEMENTS**

Carlos Eduardo Andrades², Luiz Antônio Rasia³, Débora Aline Kotz⁴

¹ Projeto de pesquisa realizado no curso de mestrado do Programa de Pós-graduação em Modelagem Matemática PPGMM - UNIJUI.

² Bolsista de Doutorado, aluno do Programa de Pós-graduação em Modelagem Matemática PPGMM - UNIJUI

³ Líder do GPMaD - Grupo de Pesquisa em Materiais e Dispositivos - UNIJUI

⁴ Mestre em Modelagem Matemática - UNIJUI

RESUMO

Grande parte dos materiais alteram suas estruturas devido a variação de temperatura. Existem materiais resistentes a baixas e altas temperaturas, ou seja, suas estruturas não são modificadas pelo efeito térmico enquanto materiais menos resistentes alteram seus corpos com pequenas variações de temperatura. É importante conhecer o efeito térmico nos materiais para a engenharia e aplicação desses nas mais diversas áreas. O propósito desse estudo é caracterizar termicamente o comportamento elétrico de sensores piezoresistivos para implementação como medidores de pressão em ambientes adversos. O efeito térmico pode ser calculado pelo TCR (coeficiente de variação térmica da resistência elétrica). Para extrair os dados experimentais foi utilizado um equipamento de aquecimento projetado, especialmente, para realizar o ensaio vinculado a um ohmímetro digital de precisão. Os resultados são discutidos baseando-se na literatura evidenciada.

Palavras-chave: TCR; Grafite; Dados Experimentais.

ABSTRACT

Most materials change their structures due to temperature variation. There are materials resistant to low and high temperatures, that is, their structures are not modified by the thermal effect while less resistant materials change their bodies with small temperature variations. It is important to know the thermal effect on materials for their engineering and application in various areas. The purpose of this study is to thermally characterize the electrical behavior of piezoresistive sensors for implementation as pressure gauges in harsh environments. The thermal effect can be calculated by the TCR (coefficient of thermal variation of the electrical resistance). To extract the experimental data was used a heating equipment specially designed to perform the test linked to a precision digital ohmmeter. The results are compared with a mathematical model for relative

error analysis.

Keywords: TCR; Graphite; Experimental data.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura é uma variável que influencia diretamente no comportamento dos materiais principalmente na classe dos semimetais e metais (BAGNATO; RODRIGUES, 2006). Para a aplicação em determinados projetos é necessário conhecer previamente o comportamento desses materiais sob diferentes temperaturas para realizar ajustes necessários ao projeto. Na eletrônica, por exemplo, alguns componentes geram calor, assim, é necessária a instalação de dissipadores para que a temperatura gerada por ele não influencie na sua aplicação e nem nos demais dispositivos, analogamente, isso ocorre para resistores fabricados.

O cálculo do Coeficiente Térmico de Variação da Resistência Elétrica (TCR) identifica a capacidade de variação da resistência elétrica de um material sujeito mudança de temperatura (MOI; MOREIRA; RASIA, 2013). Esse parâmetro é positivo quando a variação da resistência elétrica é crescente e negativa quando decrescente. O trabalho analisa a influência da variação crescente de temperatura em sensores piezoresistivos de grafite.

De outro modo, outros efeitos físicos são experimentados pelos diferentes materiais, assim, por exemplo, o esforço mecânico é a grandeza física responsável por produzir uma variação da resistência elétrica em filmes finos semicondutores, esse fenômeno é chamado de piezoresistividade. O elemento sensor tem a função de receber o esforço mecânico, transmitir e converter proporcionalmente em um sinal elétrico que está sendo medido. Neste trabalho, identificou-se que a estrutura de papel, grafite e o cobre, materiais utilizados na fabricação dos elementos sensores, possuem influência da variação da temperatura de forma isolada, por isso a necessidade de se avaliar os efeitos ditos cruzados sobre o elemento sensor final.

2. O EFEITO DA TEMPERATURA NOS MATERIAIS

Cada material possui reações diferentes a altas e baixas temperaturas, alguns mantêm suas estruturas originais sob altas temperaturas e outros se modificam rapidamente com uma mudança mínima de temperatura. Por exemplo, na classe dos metais, o estanho e o ferro possuem seus pontos de fusão de 232°C e 1535°C, respectivamente. Ou seja, o ferro mantêm suas propriedades em uma temperatura superior à do estanho.

Os materiais utilizados na fabricação do elemento sensor são o substrato de papel fabricado em fibras de celulose, o filme fino que é o grafite e condutores de cobre.

Para determinar a sensibilidade de materiais resistivos é calculado o Coeficiente Térmico de Variação da Resistência TCR (1).

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

$$TCR = \frac{\Delta R(\theta)}{R(\theta)_{amb} \cdot \Delta \theta} \quad (1)$$

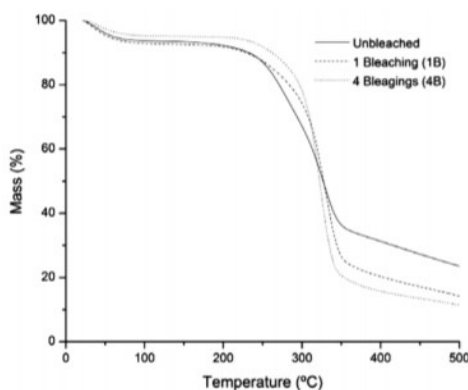
Onde $\Delta R(\theta)$ é a variação da resistência elétrica, $R(\theta)_{amb}$ é a resistência elétrica na temperatura ambiente e $\Delta \theta$ é a variação da temperatura.

Sabendo os valores do TCR podemos conhecer a resistência elétrica em determinadas temperaturas (2).

$$R(\theta) = R(\theta)_{amb} \cdot \exp [TCR(\theta - \theta_{amb})] \quad (2)$$

Segundo um estudo realizado por Rosa et al. (2010), foi constatado que a fibras de celulose (papel) perdem massa relativa com o aumento da temperatura. A Figura 1 mostra esse efeito.

Figura 1. Perda mássica da celulose em função da temperatura



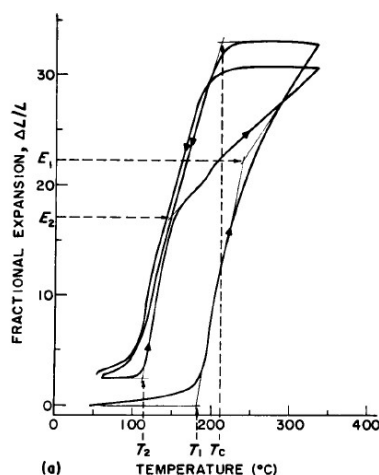
Fonte: Rosa et al. (2010).

A perda significativa de massa relativa tem início a partir da temperatura de 250°C chegando a 20% próximo dos 500°C onde, (1B - 4B) são passos de tratamento de branqueamento das fibras de celulose (ROSA et al., 2010).

Chung (1987) observou que através da exfoliação do grafite sua estrutura geométrica se expande com o aumento da temperatura, como observado na Figura 2.

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

Figura 2. Expansão do grafite em função da temperatura

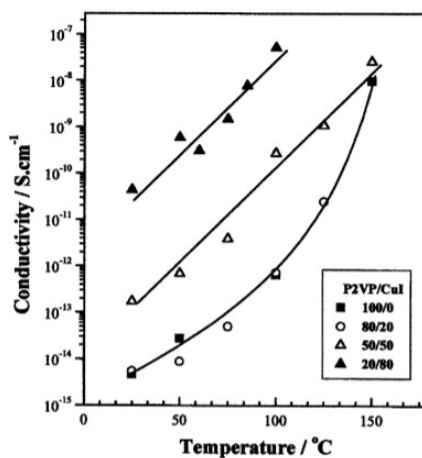


Fonte: Chung (1987).

Também, a deformação retorna próxima a original pelo efeito da histerese quando a temperatura decresce.

De outro modo, o cobre, material usado no elemento sensor de grafite como terminal de contato, sofre alterações na sua condutividade de acordo com o mostrado na Figura 3 (RODRIGUES et al., 2000).

Figura 3. Condutividade do cobre em função da temperatura



Fonte: Rodrigues et al. (2000).

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

É observado que a condutividade do cobre puro (100/0) aumenta proporcionalmente com aumento da temperatura e, no projeto de piezoresistores, deve-se considerar estas influências mostradas para otimizar o valor das piezoresistências finais.

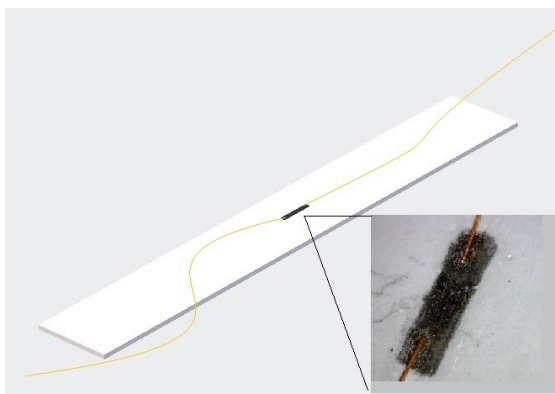
3. METODOLOGIA

Os elementos sensores piezoresistivos foram construídos utilizando papel, grafite e fios de cobre. O papel serve como substrato para a aplicação do filme de grafite. Os fios de cobre servem para realizar a medição da resistência elétrica através do multímetro digital HP HP 34401A.

A deposição do grafite no papel é realizada manualmente através de um método simples chamado de GoP (Graphite on Paper). Essa técnica consiste em depositar o grafite em materiais aderentes ao substrato fazendo compressões no mesmo sentido e com a mesma força (PHAN; CHUNG, 2015).

Foram aplicadas cinquenta compressões homogêneas. A Figura 4 apresenta o elemento sensor pronto para o ensaio termoelétrico.

Figura 4. Arranjo experimental do piezoresistor sobre papel

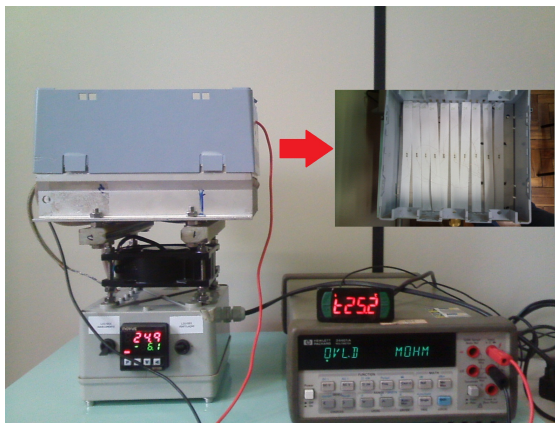


Fonte: Andrades (2019).

A máquina de aquecimento, mostrada na Figura 5, foi projetada para adequar os elementos sensores e fazer os aquecer uniformemente sob temperaturas específicas. O ohmímetro digital é usado, simultaneamente, no aquecimento dos sensores para a medida da variação da resistência elétrica.

Figura 5. Arranjo experimental para medidas térmicas e elétricas

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa



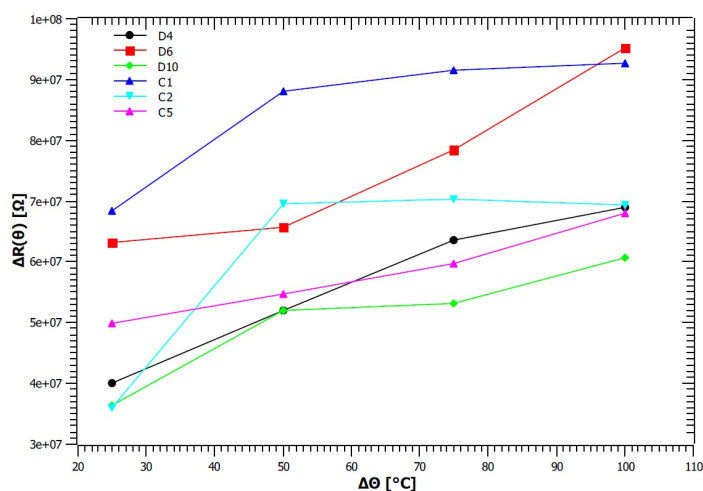
Fonte: Andrades (2019).

Os elementos sensores são inseridos dentro da máquina para iniciar o ensaio termoeletrico. São ajustadas as temperaturas de 25°C, 50°C, 75°C e 100°C, respectivamente. Quando atingidas as temperaturas, os valores da resistência elétrica são anotados em planilhas digitais para os vinte elementos sensores ensaiados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 6 apresenta o comportamento termoeletrico das amostras que apresentaram um comportamento ideal.

Figura 6. Variação da piezoresistência ideal dos resistores



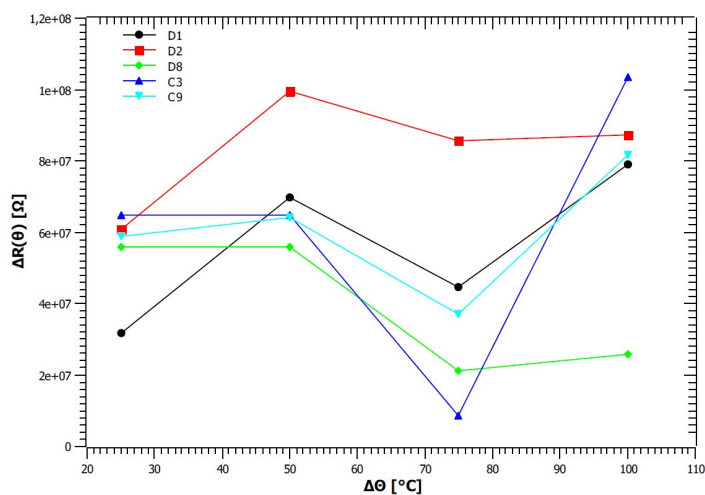
Fonte: Próprio Autor (2019).

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

Como verificado, a resistência elétrica das amostras na temperatura inicial de 25°C variaram entre 3,5E+7 Ω e 6,7E+7 Ω . Na submissão das amostras na temperatura de 100°C os valores da resistência elétrica atingiram entre 6E+7 Ω até 9,6E+7 Ω . É percebido que todas as amostras obtiveram variação crescente.

A Figura 7 apresenta o comportamento das amostras que obtiveram comportamento oscilatório.

Figura 7. Variação da piezoresistência não-ideal dos resistores



Fonte: Próprio Autor (2019).

É observado, na Figura 7, que a resistência elétrica decrescem na temperatura de 75°C, ou seja, nessas amostras o comportamento seguindo o modelo (2) não foi correspondente, então essas amostras também foram descartadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim como cada material utilizado na fabricação do sensor piezoresistivo possui um comportamento particular a determinadas temperaturas, foi percebido, através dos ensaios experimentais, que o elemento sensor modifica o comportamento sob o efeito térmico. Isso pode ser justificado pela perda de massa das fibras de celulose, onde esse movimento provoca excitação no semicondutor grafite e realiza o fenômeno da piezoresistividade mesmo sem estímulo mecânico. Outro fator é que a ocorre dilatação do grafite também provoca a modificação da sua resistividade assim como a condutividade do cobre altera conforme o aumento temperatura. Por isso, devem ser realizados ajustes de projeto tanto no substrato de papel quanto nos terminais de cobre para compensação da temperatura. Existem vários tipos de resinas para encapsulamento que ajudam na proteção e compensação térmica e serão ensaiadas posteriormente para descobrir o material ideal que menos influencie na resistência elétrica do dispositivo.

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

6. AGRADECIMENTO

Este trabalho foi desenvolvido com suporte da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI).

REFERÊNCIAS

ANDRADES, C. E. **MODELAGEM MATEMÁTICA E APERFEIÇOAMENTO DAS TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE ELEMENTOS SENSORES DE GRAFITE**. 2019. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Modelagem Matemática, Dceeng, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2019.

BAGNATO, V. S.; RODRIGUES, V. **Análogo mecânico para condutividade elétrica dos metais: Efeito da temperatura**. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, v. 28, n. 1, p.28-35, 6 jan. 2006. Disponível em: . Acesso em: 25 jul. 2019.

CHUNG, D. D. L.. **Exfoliation of graphite**. Journal Of Materials Science, [s.l.], v. 22, n. 12, p.4190-4198, dez. 1987. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf01132008>.

MOI, A.; MOREIRA, R.; RASIA., L. A.. **Modelagem Matemática de Sensores Piezoresistivos Baseados em Filmes Finos Semicondutores**. Proceeding Series Of The Brazilian Society Of Applied And Computational Mathematics, [s.l.], p.1-6, 17 out. 2013. SBMAC. <http://dx.doi.org/10.5540/03.2013.001.01.0106>.

PHAN, D.; CHUNG, G. **Effects of rapid thermal annealing on humidity sensor based on graphene oxide thin films**. Sensors And Actuators B: Chemical, [s.l.], v. 220, p.1050-1055, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2015.06.055>.

RODRIGUES, J. R. S. et al. **Thermal behavior and electrical conductivity of poly (vinyl pyridine)/copper complexes**. Advances In Polymer Technology, [s.l.], v. 19, n. 2, p.113-119, 2000. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1002/\(sici\)1098-2329\(200022\)19:23.0.co;2-g](http://dx.doi.org/10.1002/(sici)1098-2329(200022)19:23.0.co;2-g).

ROSA, M.f. et al. Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: Effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 81, n. 1, p.83-92, maio 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.01.059>.