



O ENSINO DE MATERIAIS ELÉTRICOS EM ENGENHARIA: SUGESTÃO PARA SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DA DEFASAGEM ENTRE TEORIA E PRÁTICA

Lucas Carvalho Gonçalves – lucas.encautcefetmg@gmail.com

Frederico Ferreira Panoeiro – frederico.fp@gmail.com

José Evaristo Rodrigues Costa – jercosta@leopoldina.cefetmg.br

Marlon José do Carmo – marloncarmo@ieee.org

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Unidade Leopoldina

Rua José Peres, 558 – Centro.

36700-000 – Leopoldina – MG

Resumo: *O ensino da disciplina de Materiais Elétricos em muitos cursos de Engenharia faz parte da matriz curricular obrigatória do curso. Contudo, o que se observa tanto na grade curricular quanto no retorno discente é que a mesma é tratada de forma demasiadamente, em muitos casos de forma teórica. Com isso, emerge um problema pedagógico subjacente, pois, é cada vez mais necessário a necessidade de procedimentos experimentais na disciplina para um entendimento mais claro e objetivo de conceitos envolvidos. O presente trabalho apresenta uma sugestão de solução para a dualidade teoria versus prática nesta disciplina. Foi proposto a fabricação de um dispositivo elétrico por parte dos estudantes que, a partir de alguns pré-requisitos a serem seguidos, avançaram com o conhecimento de base conceitual sobre os materiais que poderiam ser utilizados para solução do problema. Após fabricação do dispositivo, seguiram com o projeto até a experimentação laboratorial, onde testes foram feitos para a qualificação do dispositivo dentro dos padrões de seu funcionamento. O trabalho foi resultado de um projeto apresentado no final da disciplina teórica de Materiais Elétricos do curso de Engenharia de Controle e Automação do CEFET-MG. Estes tiveram que solucionar o problema a partir dos conceitos teóricos absorvidos durante o curso, gerando não só a absorção dos conceitos inerentes a disciplina, mas contudo outras habilidades, tais como metrologia e sensoriamento.*

Palavras-chave: *Materiais Elétricos, Educação em Engenharia, Práticas Laboratoriais, Sensoriamento.*

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a necessidade dos seres humanos em melhorar os processos produtivos, bem como a produtividade aumentou. Logo, a notável necessidade de conhecimento de várias áreas envolvidas em uma linha de montagem, dentre elas, os



materiais elétricos envolvidos, sua utilização como sensores, os controladores, modelos de processos, etc.

Portanto, o nível de desenvolvimento de um povo está diretamente relacionado à sua habilidade em produzir e manipular os materiais, adaptá-los a novas situações e gerar maior produtividade. Fato este levou à diversificação das áreas dos saberes, bem como o surgimento de cursos de Engenharia específicos na área tal como a Engenharia de Materiais.

O estudo de Materiais Elétricos visa uma melhor seleção dos materiais que serão utilizados na formação de máquinas, equipamentos e dispositivos elétricos, ou seja, permite selecioná-los visando o aumento da confiabilidade, que é a probabilidade do equipamento não apresentar defeitos; a redução de custo de fabricação e a redução do custo de manutenção. Esta é uma competência importante a ser desenvolvida no engenheiro. Ademais, a disciplina tem como objetivo capacitar o aluno a entender como as propriedades químicas, elétricas, físicas, térmicas, óticas, mecânicas, a disponibilidade e o custo se relacionam no projeto e na seleção e correlacionar as propriedades dos metais, ligas, materiais cerâmicos, semicondutores, plásticos e outros polímeros com suas propriedades estruturais (MACEDO, 2013).

A partir dos pontos abordados, a educação em Materiais Elétricos apresenta para alguns cursos de Engenharia, como o de Engenharia de Controle e Automação, desafios complexos e instigantes uma vez que não apresentam a disciplina prática em sua matriz curricular, ou na falta de carga horária específica, agregar práticas demonstrativas ou projetos de final de disciplina.

Diante deste cenário, destaca-se um problema pedagógico central subjacente à educação em Materiais Elétricos em cursos onde não há a disciplina prática: estabelecer o relacionamento adequado e a ponderação correta entre a base conceitual e os procedimentos experimentais. Esta questão, inerente ao próprio ensino da engenharia (FEISEL, 2005), assume contornos destacados quando o objeto em questão é a educação em Materiais Elétricos, pois podem ser assinaladas duas vertentes claras: a primeira é abstrata, uma vez que o aluno deve ser capaz de conhecer as propriedades físicas dos materiais (dielétricos, materiais magnéticos, materiais condutores e semicondutores) e entender os conceitos das diversas grandezas, tais como: polarização e constante dielétrica, rigidez dielétrica, magnetização e permeabilidade magnética, condutividade elétrica e térmica, e outras; enquanto a segunda é física, o aluno deve identificar, a partir dos valores dessas grandezas, o material apropriado para a aplicação desejada (SILVA, 2001). Emerge, desta dualidade, uma conhecida situação que assume contornos de distinção entre teoria e prática, tornando-se inerente à natureza de Materiais Elétricos.

Assim, verifica-se que as práticas e experimentos laboratoriais na educação em Materiais Elétricos ultrapassam o caráter de uma atividade complementar ao processo de aprendizagem, assumindo o papel destacado – e extremamente proeminente – de uma solução de equilíbrio possibilitando a ponderação adequada entre teoria e prática. E mais:

“A experimentação prática é essencial para sustentar o processo de aprendizagem. O esforço intelectual necessário para analisar e compreender os fenômenos, tomar medidas e avaliar os erros, efetivamente desenvolve o conhecimento dos alunos e sua habilidade. Ele permite que os alunos aprendam a investigar, analisar e alcançar os objetivos científicos e técnicos no mundo real. Além disso, a

experimentação incentiva os alunos a melhorar as suas iniciativas, sua criatividade e sua própria metodologia de trabalho.” (URSULET, 2002).

É fato conhecido que, quanto maior o número de sentidos envolvidos num estudo, maiores são a fixação, a apreensão e a capacidade de percepção dos alunos. Se, adicionalmente, aos sentidos associadas ao conceito também forem introduzidos experimentos práticos, a apreensão é ainda superior (FERREIRA, 2006).

Seguindo essa diretriz, a proposta do presente trabalho consiste na elaboração de um projeto de curso que busca interligar todos os aspectos anteriormente discutidos relativos à educação em Materiais Elétricos. A proposta busca, fundamentalmente, uma integração entre os abstratos e fundamentais conceitos subjacentes à educação em Materiais Elétricos, utilizando para isto ferramentas de desenvolvimento conceitual associadas à experimentos práticos vivenciados pelos próprios alunos. Procura-se, com isto, motivar e incentivar os alunos a visualizarem os conceitos abstratos como soluções para problemas práticos. Nesta postura, as ferramentas conceituais surgem como respostas às necessidades experimentadas pelos alunos, de forma prática.

A proposta do projeto consiste, inicialmente, em instigar os alunos na criação de um dispositivo a partir dos conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso e posteriormente a aplicação de testes que comprovem seu funcionamento.

2. METODOLOGIA

A seleção do dispositivo a ser fabricado foi efetuada a partir de alguns pré-requisitos, tais como:

- 1) Permitir que os alunos tenham fácil visualização, compreensão e apreensão de conceitos fundamentais, porém abstratos, de Materiais Elétricos;
- 2) Fosse de construção simples, fácil e a custos acessíveis, em consonância com a realidade brasileira;
- 3) Possibilitasse a elaboração de um modelo simples, mas representativo de suas características fundamentais, de fácil análise;
- 4) Tivesse um caráter motivador e desafiante para os alunos.

Além desses pré-requisitos, foi sugerido o uso de limalha de ferro em pó como material condutor, devido a sua facilidade de obtenção em relação aos outros materiais, mas a utilização de outros materiais condutores. O material aglutinante a ser utilizado foi deixado à mercê de cada grupo.

A partir dos pré-requisitos e sugestões apresentados e após análise de alguns dispositivos, a escolha refletiu no FSR (*Force Sensitive Resistor*), do português Resistor Sensível à Força. Este é um dispositivo que irá variar sua resistência dependendo de quanta pressão está sendo aplicada na área de detecção. Quanto mais força, menor a resistência. A “Figura 1” representa um resistor sensível à força fabricado industrialmente.

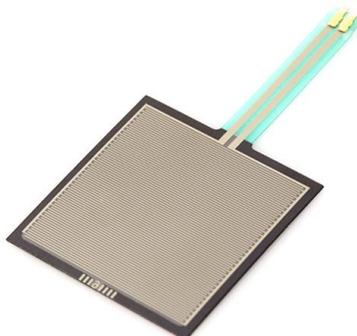


Figura 1 – FSR produzido em escala industrial.

Vale ressaltar que a escolha desse dispositivo se deu pelos seguintes motivos: além de responder a todos os pré-requisitos necessários, esse dispositivo é capaz de exemplificar experimentalmente vários conceitos oriundos do estudo da disciplina teórica, como a diferença entre área de contato geométrica, elétrica e mecânica; a influência da área e do comprimento na resistividade do material; a influência do valor da concentração dos materiais que compõem um dispositivo; entre outras.

3. FABRICAÇÃO DO DISPOSITIVO

Para a fabricação do dispositivo foi utilizado o pó metálico sugerido, a limalha de ferro. Já a resina utilizada foi cola de madeira granulada que é uma resina sintética e a base de celulose, bem como pode ser classificada como termoplástica. A última classificação baseia-se na resina, encontrada naturalmente no estado sólido, amolecendo quando aquecida. A principal função da resina é agrupar os pós-magnéticos, porém quanto maior sua concentração na mistura, maior a resistividade elétrica do material obtido.

É interessante ressaltar que os procedimentos feitos na fabricação do resistor utilizaram-se do mesmo pó magnético adicionado a impurezas. A adição de impurezas aumenta a resistividade do dispositivo.

A partir dos conceitos mostrados acima, foram fabricadas seis resistores com concentrações de pó metálico diferentes em moldes de volumes diferentes, apenas três resistores foram fabricados com o mesmo volume, sendo eles 9 cm^3 , 12 cm^3 , 21 cm^3 e $87,43 \text{ cm}^3$. O processo de produção dos mesmos será descrito abaixo.

O aquecimento da mistura no processo que será descrito posteriormente foi feito de forma caseira, utilizando uma panela e um fogão. A “Figura 2” mostra um como esse procedimento foi feito.



Figura 2 – Processo de aquecimento feito de forma caseira.

Neste procedimento, a cola foi aquecida misturada a um pouco de água, em uma panela comum, até que essa se tornasse líquida e foi adicionado a esta em separado os volumes de pó metálico citados anteriormente. Após 12 horas a pastilha compactada estava em estado sólido e, por conseguinte foi retirada do molde. Por fim, tem-se que a pastilha possui a configuração necessária aos testes de permeabilidade magnética. As pastilhas obtidas possuem elevada resistência mecânica, uma vez que os grãos do pó possuem suficiente aderência entre si devido ao aquecimento deste junto ao aditivo e posterior resfriamento em temperatura ambiente.

É conveniente ressaltar, que esse procedimento foi apenas uma tentativa de compactar o pó metálico utilizando para tanto um aditivo. Logo, não houve uma maior preocupação com a proporção do material de base em comparação ao aditivo. A “Figura 3” mostram as pastilhas obtidas.



Figura 3 – Pastilhas obtidas de concentração desconhecida.

O procedimento em questão foi repetido diversas vezes, porém com concentrações distintas de pó magnético na mistura. Os percentuais do pó na mistura foram: 50%, 70%, 80% e 90%, respectivamente. O percentual de pó metálico na mistura foi medido com uma colher de sopa, onde dez colheres representavam a totalidade (100%) e cinco colheres, por exemplo, eram 50%. A relação descrita pode ser extrapolada para as demais concentrações.

A “Figura 4” mostra a pastilha de concentração 90% de pó metálico e de volume 9 cm³ feita em molde de metal.



Figura 4 – Pastilha de concentração 90%.

A “Figura 5” mostra a pastilha de concentração 80% de pó metálico e de volume 87,43 cm³ feita em molde de papelão.



Figura 5 – Pastilha de concentração 80%.

A “Figura 6” mostra a pastilha de concentração 70% de pó metálico e de volume 16 cm^3 feita em molde de metal.



Figura 6 – Pastilha de concentração 70%.

A “Figura 7” mostra a pastilha de concentração 50% de pó metálico e de volume 12 cm^3 feita em molde de metal.



Figura 7 – Pastilha de concentração 50%.

A partir dessas 5 pastilhas apresentadas acima, foram feitos alguns procedimentos experimentais em laboratório.

4. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS E RESULTADOS

A medição da resistência elétrica das pastilhas com diversas concentrações foi realizada no Laboratório de Física, no CEFET-MG.

A “Tabela” 1 apresenta a massa das pastilhas obtidas, com as respectivas concentrações, conforme abaixo.

Tabela 1 – Valores de massa medidos.

Concentração	Massa (g)
0.50	12.9
0.70	62.0
0.80	248.8
0.90	22.6
Desconhecida	60 e 43.5

O segundo procedimento consistiu em medir em separado a resistência elétrica das pastilhas, utilizando para tanto um multímetro na escala de 200 Ω a 2000 $k\Omega$, com pouca e muita força aplicada, respectivamente.

A “Tabela 2” apresenta os valores da resistência elétrica medidos para o material elétrico, com a respectiva concentração, conforme abaixo.

Tabela 2 – Valores de resistência elétrica medidos para cada pastilha.

Concentração	Resistência Elétrica (Ω)	
	Pouca força aplicada	Muita força aplicada
0.50	14.12 k	2.7 k
0.70	11.2 k	0.34 k
0.80	5.6 k	0.57 k
0.90	2.28 k	0.25 k
Desconhecida (60 g)	8.7 k	0.81 k
Desconhecida (43.5 g)	12.14 k	1.2 k

O último procedimento consistiu em pressionar duas ou mais pastilhas entre a camada condutora de duas placas de circuito impresso (PCI), onde a última possuía um ponto de solda para conectar um pequeno fio condutor. O fio condutor foi conectado as ponteiras de um multímetro para medir, com a escala de $200\ \Omega$ a $2000\ k\Omega$, a resistência elétrica do conjunto.

Na configuração anterior as pastilhas se comportam como peças de contato de um dispositivo de manobra, pois elas têm elevada resistência à circulação da corrente elétrica, conforme a “Tabela 2”. Portanto, a área de contato elétrico (A_e) permite a transferência da corrente elétrica entre as peças, porém ela é apenas uma pequena parcela da seção de contato do material ou da área mecânica (A_m). Em outras palavras, temos que $A_e \ll A_m$. No caso das pastilhas essa diferença entre as áreas A_e e A_m das peças ocorre devido a irregularidade das suas superfícies de contato, uma vez que estas foram construídas por um processo caseiro que não possuía os recursos necessários para deixá-las planas.

A “Tabela 3” mostra os resultados obtidos nessa parte dos testes.

Tabela 3 - Valores de resistência elétrica medidos para justaposição de pastilhas

Mistura de concentrações	Resistência Elétrica (Ω)	
	Pouca força aplicada	Muita força aplicada
0.70 + 0.90	1.600 k	0.165 k
0.50 + 0.90	1.973 k	0.620 k
0.50 + 0.70	1.897 k	0.727 k
0.50 + 0.70 + 0.90	1.702 k	0.925 k

Pode-se concluir que, quanto maior a porcentagem de aditivo, maior será a resistividade da pastilha. Além disso, o aumento da força aplicada aumenta a área de contato elétrico, que reduz a resistência elétrica do material.

A partir desses dados colhidos obtiveram-se resultados muito próximos do que estudado na teoria fazendo valer o projeto proposto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido mostra uma proposta para a disciplina de Materiais Elétricos ministrada em cursos de Engenharia onde não há a disciplina prática na matriz curricular, baseado em procedimentos interativos entre o enfoque conceitual e as atuações práticas, em um ambiente motivador e desafiante.

O projeto é estruturado de forma a colocar desafios práticos para os alunos, de solução não trivial, obrigando a busca e o contato com ferramentas conceituais de Materiais Elétricos para solução destes problemas. Desta forma, os alunos se encontram sempre motivados a tentar soluções que envolvem o ferramental teórico disponível na disciplina.

Busca-se, nesta proposta, trabalhar aspectos de motivação para a educação em Materiais Elétricos bem como uma relação de equilíbrio entre os aspectos teóricos e práticos da formação.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao MEC/SESu, FNDE, CAPES, FAPEMIG, Fundação CEFETMINAS e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FEISEL, D. L.; ROSA, A. J. “The Role of the Laboratory in the Undergraduate Engineering Education”, *Journal of Engineering Education*, p. 121-130, January 2005.

FERREIRA, A.L.S.; ALVES, A.S.C.; MARTINS, C.H.N.; MUNIZ, C.A.; FARIA, P.V.A.; CÉSAR, T.C.; GOMES, F.J. O Problema da Defasagem entre a Teoria e a Prática: Proposta de uma Solução de Compromisso para um Problema Clássico de Controle. Anais: XXXIV – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2006.

MACEDO, V.G. Plano de Aula. Belém, PA, 2013, 4 p.

SCHMIDT, W. Materiais Elétricos: Condutores e Semicondutores. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Editora Blücher, volume 1, 2010. p. 63-83.

SILVA, J.A.C.B.; NEVES, W.L.A.; FILHO, J.S. Experimentos de Apoio à Disciplina Materiais Elétricos. Anais: XXIX – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Porto Alegre: PUCRS, 2001.

URSULET, S.; GILLET, D. “Introducing Flexibility in Traditional Engineering Education by Providing Dedicated On-line Experimentation and Tutoring Resources”, *International Conference on Engineering Education*, August 18–21, 2002, Manchester, U.K.

TEACHING OF ELECTRICAL MATERIALS IN ENGINEERING: SUGGESTED SOLUTION TO THE PROBLEM OF LAG BETWEEN THEORY AND PRACTICE

Abstract: *In some engineering courses, the theoretical discipline of Electrical Materials is part of the compulsory curriculum of the course, but not the practice. With this, a pedagogical problem emerges because it is unquestionable the necessity of experimental procedures in the discipline for a clear and objective understanding of some concepts. This paper presents a suggested solution to this problem. It was given to the students the problem of manufacturing an electric device that, from some prerequisites to be followed, continued with the conceptual knowledge about the materials that could be used to solve the problem. After device fabrication, they followed with the project to the laboratory experiments, where tests were*



done for the qualification of the device within the standards of operation. Since this was a project submitted for final course of theoretical discipline of Electrical Materials to students of Control and Automation Engineering, they had to solve the problem from the theoretical concepts absorbed during the course.

Key-words: *Electrical Materials, Engineering Education, Laboratory Practice.*