

O ENSINO DE MATERIAIS ELÉTRICOS NA UFPB

Washington Luiz Araújo Neves - waneves@dee.ufpb.br

Edson Guedes da Costa - edson@dee.ufpb.br

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Elétrica
Campus II - Bodocongó
58109-970 - Campina Grande - PB

Resumo. O curso de graduação em Engenharia Elétrica da UFPB passou recentemente por uma reestruturação curricular para adequar o perfil do profissional que ele forma à realidade tecnológica, tendo a preocupação também com as novas tendências do mercado de trabalho. Para tanto, algumas disciplinas foram introduzidas e outras tiveram suas ementas e metodologias modificadas. O objetivo geral da disciplina Materiais Elétricos é o entendimento das propriedades físicas de dielétricos, materiais magnéticos, materiais condutores e semicondutores visando suas aplicações em engenharia elétrica. Neste artigo, discute-se como a disciplina vem sendo desenvolvida na UFPB, suas dificuldades e perspectivas para o futuro.

Palavras-chave: Materiais Elétricos, Reestruturação Curricular, UFPB.

1. INTRODUÇÃO

Os conteúdos básicos das disciplinas do curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UFPB são constituídos pelo conjunto de conhecimentos comuns a todo engenheiro, independente da sua área de formação, no campo da engenharia. Abrangem o estudo de matérias relacionadas com a formação básica em: matemática, física, química, materiais, expressão gráfica, computação, meio ambiente e humanidades. Os conteúdos essenciais são formados pelo conjunto de conhecimentos comuns a todo engenheiro eletricista, constituindo-se como base para a sua formação, independente da formação profissional específica que possa escolher (CGEE, 1999).

O conhecimento das propriedades dos materiais tem contribuído para a introdução de novos dispositivos usados em engenharia elétrica. Nessa área, o avanço da ciência está fortemente ligado ao desenvolvimento tecnológico da indústria eletro-eletrônica (Solymar & Walsh, 1998). O engenheiro eletricista precisa tomar conhecimento de uma ampla faixa de propriedades dos materiais para sua aplicação apropriada e uso eficiente. Essas propriedades podem ser estudadas analisando-se microestruturas, características elétricas, magnéticas, térmicas, etc. (Kasap, 1997). Como exemplo do desenvolvimento de novos materiais tem-se: fibras óticas - largamente utilizadas em sistemas de comunicações; ligas amorfas - usadas em núcleo de transformadores; e varistores à base de óxido de zinco - utilizados em pára-raios de subestações para a proteção de equipamentos elétricos contra descargas atmosféricas e outros tipos de sobretensão.

Materiais Elétricos é uma disciplina voltada para o entendimento das propriedades dos materiais utilizados em engenharia elétrica e seu conteúdo é essencial para todo engenheiro eletricista independente de sua área de atuação.

2. A DISCIPLINA MATERIAIS ELÉTRICOS NA UFPB

A disciplina Materiais Elétricos apresenta uma carga horária de 60 horas e tem como pré-requisitos as seguintes disciplinas: Introdução à Ciência dos Materiais; Eletricidade e Magnetismo e Laboratório de Eletricidade e Magnetismo. Ela tem como co-requisito a disciplina Laboratório de Materiais Elétricos com carga horária de 15 horas.

2.1. Objetivos do Curso

Pretende-se que ao final do curso o aluno seja capaz de (Neves, 2000):

- conhecer as propriedades físicas dos materiais (dielétricos, materiais magnéticos, materiais condutores e semicondutores) utilizados na engenharia elétrica;
- entender os conceitos das diversas grandezas macroscópicas, tais como: polarização e constante dielétrica, rigidez dielétrica, magnetização e permeabilidade magnética, condutividade elétrica e térmica, e outras;
- relacionar essas grandezas macroscópicas com a microestrutura do material;
- identificar, a partir dos valores dessas grandezas, o material apropriado para a aplicação desejada na engenharia elétrica.

2.2. Estrutura Programática

No início do curso são apresentadas as definições das quantidades macroscópicas de interesse. Alguns conceitos elementares de física quântica são introduzidos para explicar a estrutura da matéria. As propriedades elétricas, magnéticas térmicas e óticas são explicadas com base no comportamento de elétrons nos materiais.

Ementa

Campos em meios materiais. Propriedades elétricas. Polarização de dielétricos. Perdas em dielétricos em campos alternados. Propriedades magnéticas. Perdas em materiais magnéticos em campos alternados. Modelos atômicos. Interpretação atômica das propriedades dos dielétricos. Polarização espontânea. Relaxação dipolar. Mecanismos de condução e ruptura em dielétricos. Materiais magnéticos. Magnetização espontânea. Mecanismos de condução em materiais condutores e semicondutores. Aplicações de materiais usados em Engenharia Elétrica.

Programa

Capítulo 1 - Campos em Meios Materiais - Propriedades Elétricas

- Introdução;
- Modelos;
- Revisão de Conceitos Básicos de Eletricidade;
- Momento de Dipolo Elétrico;
- Polarização (Visão Macroscópica);
- Permissividade Relativa Complexa - Perdas em Dielétricos em Campos Alternados.

Capítulo 2 - Campos Em Meios Materiais - Propriedades Magnéticas

- Revisão de Conceitos Básicos do Magnetismo;
- Momento de Dipolo Magnético;
- Magnetização (Visão Macroscópica);

- Permeabilidade Complexa - Perdas em Materiais Magnéticos em Campos Alternados.

Capítulo 3 – Estrutura da Matéria

- Introdução;
- O Átomo do Hidrogênio de Acordo com a Mecânica Quântica
- Configuração Eletrônica de Átomos;
- Ligações Químicas.
- Níveis de Energia de Elétrons em Moléculas;
- Níveis de Energia de Elétrons em Cristais.

Capítulo 4 - Interpretação Atômica das Propriedades dos Dielétricos

- Interpretação Atômica da Permissividade Relativa;
- Permissividade Relativa de Gases Monoatômicos;
- Permissividade Relativa de Gases Poliatômicos;
- Campo Interno de Dielétricos Sólidos e Líquidos;
- Dependência da Permissividade Relativa com a Frequência e com a Temperatura;
- Relaxação Dipolar;
- Polarização Espontânea.

Capítulo 5 - Mecanismos de Condução e Ruptura de Dielétricos

- Introdução;
- Dielétricos Gasosos;
 - Mecanismo de Townsend;
 - Curva de Paschen;
 - Mecanismo de Canal;
 - Fenômenos em Campos não Uniformes;
- Dielétricos Líquidos;
- Dielétricos Sólidos;
- Aplicações de Materiais Dielétricos.

Capítulo 6 - Materiais Magnéticos

- Introdução;
- Interpretação Atômica das Propriedades Magnéticas dos Materiais;
- Diamagnetismo;
- Origem de Momentos de Dipolos Magnéticos Permanentes;
- Paramagnetismo; Ferromagnetismo, Ferrimagnetismo;
- Variação da Permeabilidade Magnética com a Frequência e Temperatura;
- Magnetização Espontânea;
- Aplicações de Materiais Magnéticos.

Capítulo 7 - Condutividade dos Metais

- Introdução;
- Lei de Ohm e Tempo de Relaxação de Elétrons;
- Tempo Médio entre Colisões e Livre Caminho Médio;
- Resistividade dos Metais e Ligas Metálicas;
- Condutividade Térmica dos Metais;
- Termopares;

- Aplicações de Materiais Condutores.

Capítulo 8 - Mecanismos de Condução em Materiais Semicondutores

- Introdução;
- Estrutura de Bandas de Energias em Semicondutores;
- Semicondutores Tipo n;
- Semicondutores Tipo p;
- Efeito Hall e Densidade de Portadores;
- Aplicações de Materiais Semicondutores.

2.3. Procedimento do Curso

- Aulas Expositivas sobre os assuntos do programa;
- Listas de Exercícios;
- Visita técnica /seminários a serem apresentados pelos alunos.

2.4. Avaliação da Aprendizagem

Ao longo do curso são realizados 4 exercícios escolares escritos e exame final;

Exercício 1 - EXERC1 (capítulos 1 a 3)

Exercício 2 - EXERC2 (capítulos 4 e 5);

Exercício 3 - EXERC3 (capítulo 6 a 8);

Exercício de reposição.

Exame Final - EF

1 Seminário por grupo de alunos - SEM;

A média parcial - MP obtida pelo estudante será calculada de acordo com a expressão abaixo:

$$MP=(EXERC1+EXERC2+EXERC3+SEM)/4$$

Obs: Se a turma tiver mais que 25 alunos os seminários não serão realizados e a média parcial será a média dos 3 exercícios.

Seminários

Os alunos, divididos em grupos de no máximo 4 pessoas, deverão redigir um texto, conciso, claro e de amplo relacionamento com a disciplina, com o máximo de 20 páginas. O assunto estudado será apresentado em sala de aula na forma de seminário. O texto do seminário deverá ser entregue um mês antes do término do período letivo. Como orientação, o texto pode conter seções como: Introdução, Revisão da Literatura, Aplicações, Conclusão, Bibliografia e Anexos.

Exemplo de temas de trabalhos que podem ser apresentados:

- Semicondutores;
- Varistores a base de ZnO;
- Aplicações de Materiais Piezoelétricos;
- Supercondutores;
- Fibras Óticas;
- Ligas Amorfas;
- Ferrites e suas aplicações;
- Tecnologia de fabricação de resistores e capacitores de alta e baixa tensão;

- Materiais de Alta Resistividade e suas aplicações;
- Aplicações de Dielétricos em Disjuntores de Baixa e Alta Tensão;

Cada grupo deve trabalhar com um tema diferente dos demais grupos.

2.5. Bibliografia (Disciplina)

- [01] W. L. A. Neves, *Materiais Elétricos*, Notas de Aula, 2000.
- [02] S. O. Kasap, *Principles of Electrical Engineering Materials and Devices*, McGraw Hill, 1997.
- [03] Adrianus J. Dekker, *Electrical Engineering Materials*, Prentice Hall, 1964.
- [04] L. Solymar and D. Walsh, *Electrical Properties of Materials*, Oxford University Press, sixth edition, 1998.
- [05] K. J. Pascoe, *Properties of Materials for Electrical Engineers*, John Wiley & Sons, 1978.
- [06] Raymond A. Serway, *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, Third edition Updated Version, Saunders Golden Sunburst Series, Saunders College Publishing, Harcourt Brace College Publishers, 1992
- [07] N. P. Bogoroditsky, V. V. Pasyukov e B. M. Tareev, *Electrical Engineering Materials*, Editora Mir, 1979.
- [08] Robert M. Rose, L. A. Shepard and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials, Volume IV, Electronic Properties*, John Wiley & Sons Inc, 1966.
- [09] R. Ehrlich, J. Tuszynski, L. Roelofs and R. Stoner, *Electricity and Magnetism Simulations the Consortium for Upper-Level Physics Software*, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [10] Sérgio M. Resende, *A Física dos Materiais e Dispositivos Eletrônicos*, Editora da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1996.
- [11] L. H. Van Vlack, *Elements of Materials Science and Engineering* (Título traduzido para Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais, Editora Campus, 4a edição, 1984), Addison Wesley Publishing Co., Inc., Reading, Massachusetts, USA, 1979.
- [12] MIT Staff, *Magnetic Circuits and Transformers*, MIT Press, 1943.
- [13] John R. Reitz, Frederick J. Milford and Robert W. Christy, *Foundations of Electromagnetic Theory* (Título traduzido para Fundamentos da Teoria Eletromagnética pela Editora Campus, 1982), Addison Wesley Publishing Co., Inc., Reading, Massachusetts, USA, 1980.
- [14] M. S. Naidu & V. Kamaraju, *High Voltage Engineering*, Tata McGraw Hill, 1996
- [15] Allen Nussbaum, *Comportamento Eletrônico e Magnético dos Materiais*, Editora Edgard Blücher Ltda (Universidade de São Paulo - USP), 1971.
- [16] Allen Nussbaum, *Electromagnetic and Quantum Properties of Materials*, Prentice Hall, Inc., 1966.
- [17] J. C. Anderson, K. D. Leaver, J. M. Alexander, R. D. Rawlings, *Materials Science*, Second Edition, Thomas Nelson and Sons LTDA, 1974.

[18] Milton Kaufman & Arthur H. Seidman, *Electronics Handbook for Technicians and Engineers*, McGraw Hill, 1988.

2.6. Bibliografia Adicional (Seminários)

- [S01] Carlos Balsero e Francisco de la Cruz *Supercondutividade*, Revista Ciência Hoje, Dez. 1988, pp 26-35.
- [S02] Carel DeWinkel & Jeffrey D. Lamoree *Storing Power for Critical Loads*, IEEE Spectrum, June 1993, pp 38-42.
- [S03] David Halliday & Robert Resnick, *Fundamentals of Physics*, 3rd edition, Essay 12. J. Wiley & Sons Inc., New York, 1988.
- [S04] Alexis P. Malozemoff, *Superconducting Wire Gets Hotter*, IEEE Spectrum, Dec. 1993, pp 26-30.
- [S05] John M. Blatt, *Theory of Superconductivity*, Academy Press, New York, 1964.
- [S06] William F. Giazza, Evandro Conforti e Hélio Waldman, *Fibras Ópticas: Tecnologia e projeto de Sistemas*, MAKRON Books do Brasil, McGraw Hill, 1991.
- [S07] Characteristics of Magnetic Material. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements, Volume 41, No. 6, pp 1003-1008, Dec. 1992.*
- [S08] G. E. Fish, Soft Magnetic Properties of Materials, Proceedings of the IEEE, Vol. 78, No. 6, June 1990, pp. 947-972.
- [S09] R. Einzinger, *Grain Junction Properties of ZnO Varistors*, App. Surf. Sci., 3, pp 390-408, 1979.
- [S10] L. N. L. Santana, *Estudo do Efeito do Óxido de Titânio nas Propriedades Elétricas de Varistores à Base de ZnO*, Dissertação de Mestrado, Depto. Engenharia Química, UFPB- Campus II, 1993.

3. A DISCIPLINA LABORATÓRIO DE MATERIAIS ELÉTRICOS NA UFPB

A disciplina Laboratório de Materiais Elétricos serve de suporte para a disciplina Materiais Elétricos. Atualmente, o laboratório conta com os experimentos listados abaixo (Costa, 2000):

- Estudo da Distribuição de Tensão em Cadeia de Isoladores;
- Medição de Capacitância, Permissividade Relativa e Perdas em Dielétricos;
- Determinação da Rigidez Dielétrica de Óleos Isolantes;
- Introdução a descarga em gases;
- Curva de Saturação e Ciclo de Histerese para Ferro de Transformadores;
- Caracterização Elétrica de Varistores.

Os guias dos experimentos estão a disposição dos alunos com uma antecedência de 08 dias da realização do experimento. A cada dois experimentos são apresentadas palestras, para todos os alunos, para facilitar o entendimento dos princípios físicos envolvidos nesses experimentos. Na data de cada experimento será aplicado um teste, com a turma do dia, com duração aproximada de 20 minutos. O objetivo desses testes é identificar se o aluno entendeu o assunto explicado nos guias de laboratório, necessário a realização e compreensão do experimento. O peso atribuído ao teste é de 10% do valor de cada experimento.

Relatórios.

Os relatórios deverão ser concisos, objetivos, claros e compostos de: Título; Objetivo; Apresentação, análise e discussão dos resultados (gráficos, comparações, comentários, justificativas, etc.); Conclusão e Bibliografia. A nota do laboratório é composta da média aritmética das notas obtidas em cada experimento. Os relatórios deverão ser entregues na secretaria do Laboratório de Alta Tensão no prazo máximo de 08 dias após a realização do experimento, e registrado através de uma lista individualizada de acompanhamento.

3.1. DIFICULDADES ATUAIS

Vale salientar que os experimentos realizados, além de poucos, funcionam precariamente, com bancada única e com equipamentos muito antigos. O laboratório precisa ser modernizado e melhor equipado para que os estudantes possam, através de procedimentos experimentais, vivenciar o estado da arte do desenvolvimento de materiais e acompanhar as novas tendências do mercado de trabalho. Um laboratório bem equipado promoveria maior interação com empresas e instituições da região, reforçando convênios de cooperação existentes na área de ensino e na formação de programas de atualização tecnológica.

Em 1996, foi aprovado um projeto no MEC para a aquisição de equipamentos mais modernos permitindo a reestruturação do Laboratório de Materiais Elétricos. O projeto contemplava uma reformulação dos experimentos atuais e a implantação dos seguintes experimentos:

- 1.Caracterização de Materiais Ferroelétricos;
- 2.Caracterização de Junções Semicondutoras;
- 3.Resistência e Resistividade de Ligas Metálicas.

Infelizmente, os recursos do projeto não foram disponibilizados até o momento.

3.2. PERSPECTIVAS FUTURAS

Nos últimos anos, o Laboratório de Física da UFPB recebeu equipamentos didáticos que podem beneficiar bastante o estudante de Engenharia Elétrica no entendimento de algumas propriedades dos materiais. Pretende-se adicionar os experimentos citados abaixo à disciplina Laboratório de Materiais Elétricos:

- Efeito Fotoelétrico e Princípio de Dualidade Onda-Partícula;
- Espectros Atômicos de Gases He, Ne, Na e Zn;
- Espectroscopia Fotoacústica em Materiais Dielétricos e Semicondutores.

4. CONCLUSÃO

Materiais Elétricos é uma disciplina de formação essencial do engenheiro eletricista em qualquer de suas especialidades e passou recentemente por uma reestruturação curricular para adequar o perfil do profissional à realidade tecnológica. Neste trabalho foram apresentados os tópicos desenvolvidos nas disciplinas Materiais Elétricos e Laboratório de Materiais Elétricos ministradas na UFPB. Foram discutidas suas dificuldades e perspectivas futuras.

O objetivo da disciplina Materiais Elétricos é o entendimento das propriedades físicas de dielétricos, materiais magnéticos, materiais condutores e semicondutores. O conteúdo da disciplina é muito abrangente e envolve tópicos como: física do estado sólido; física de gases e física quântica. Portanto, sente-se a necessidade de uma forte interação com o Departamento

de Física da UFPB. Essa interação está sendo iniciada através de um projeto conjunto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/UFPB). Esse projeto visa desenvolver experimentos específicos para os alunos de Materiais Elétricos (Silva, 2000).

O Laboratório de Materiais Elétricos precisa ser modernizado visando contribuir para a formação de profissionais mais qualificados. Para tanto é necessário: fortalecer as atividades experimentais existentes; desenvolver novos experimentos viabilizando a absorção dos avanços científicos e motivar o aluno, através da correlação entre a parte teórica e prática.

5. REFERÊNCIAS

- CGEE– Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do CCT/UFPB, *Projeto Pedagógico*, Campina Grande, PB, 1999.
- Costa, E. G., *Plano de Curso da Disciplina Laboratório de Materiais Elétricos*, Campina Grande, PB, 2000.
- Kasap, S. O., *Principles of Electrical Engineering Materials and Devices*, McGraw Hill, 1997.
- Neves, W. L. A., *Plano de Curso da Disciplina Materiais Elétricos*, Campina Grande, PB, 2000.
- Silva, J. A. C. B., *Experimentos de Apoio a Disciplina Materiais Elétricos*, Projeto de Pesquisa de Iniciação Científica, submetido ao PIBIC, Campina Grande, PB, Maio de 2000.
- Solymar, L., Walsh, D., *Electrical Properties of Materials*, Oxford University Press, sixth edition, 1998.