

PROPOSTA PARA O ENSINO DE OPTOELETRÔNICA E FOTÔNICA NOS CURSOS DE ENGENHARIA ELETRÔNICA. APRESENTAÇÃO DE UMA EXPERIÊNCIA DIDÁTICA

Larissa A. D. Britto – lbritto@ita.br

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Departamento de Microondas e Optoeletrônica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias
12228-900 – São José dos Campos – São Paulo

Gefeson M. Pacheco – gpacheco@ita.br

***Resumo:** Este trabalho apresenta uma proposta para o ensino da fotônica no curso de Engenharia Eletrônica, no Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São apresentadas as disciplinas que estabelecem a base de eletromagnetismo aplicado e que antecedem tal estudo, a proposta da disciplina, em termos da construção ou destaque da relação dos novos conhecimentos com o que já foi estudado pelo estudante e a lista de práticas de laboratórios e trabalhos. Considerando apenas duas das práticas apresentadas mostra-se como a relação com o conhecimento já adquirido ao longo do curso é trabalhada e se estabelece.*

***Palavras-chave:** Ensino de engenharia, Metodologia do ensino, Optoeletrônica, Fotônica*

1 INTRODUÇÃO

O estágio tecnológico atual nos permite considerar sistemas com componentes optoeletrônicos (componentes que operam como transdutores que fazem a conversão de sinais elétricos em ópticos ou vice-versa). Tais sistemas eletrônicos possuem, em alguns casos, fluxo de fótons de modo análogo aos circuitos elétricos convencionais com corrente elétrica. Esses circuitos, nos quais a informação está circulando na forma de luz, são chamados de circuitos fotônicos. Com o aumento do uso de componentes optoeletrônicos é comum encontrar circuitos ou sistemas híbridos nos campos das telecomunicações, processamento de sinais, sensoriamento, espaço, vigilância, indústria automobilística e medicina. Tal crescimento advém da redução de custos dos componentes optoeletrônicos e da concepção de engenharia e trabalho de projeto. Nos próximos anos assistiremos uma grande demanda por recursos humanos, com formação técnica especializada de bom nível, na indústria, na área de suporte para usuários e aplicações. Tais necessidades estão relacionadas com as escolas de engenharia através dos cursos e currículos (SABARATNAM & HEGDE, 2002).

No Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, São Paulo, o curso de Engenharia Eletrônica tem 5 anos divididos em 10 semestres. Os dois primeiros anos são destinados ao ciclo fundamental em todas as modalidades de engenharia. Os 3 últimos anos correspondem ao ciclo de educação técnica profissional. Considerando a parte do curso, durante o ciclo profissional, relacionado com o eletromagnetismo aplicado e sua base para o ensino da fotônica, o aluno estuda os seguintes assuntos/disciplinas:

- Linhas de transmissão
- Ondas guiadas

- Microondas e aplicações
- Antenas

O conteúdo, de forma geral, corresponde à teoria básica e aplicações das linhas de transmissão, aos guias metálicos retangulares e cilíndricos, guias dielétricos, estruturas planares, propagação em meios isotrópicos e anisotrópicos, dispositivos de microondas tais como circuladores e cavidades ressonantes. Os temas abordados permitem ao estudante obter a base para a engenharia na área de eletromagnetismo aplicado na faixa de rádio frequência e óptica do espectro eletromagnético. Seguindo os assuntos mencionados o estudante tem um semestre de disciplinas optativas. Este artigo trata especificamente da disciplina optativa Fundamentos de Engenharia Fotônica, seu conteúdo e trabalhos relacionados.

A disciplina tem sido ministrada no formato descrito aqui desde 2006. Alunos com diferentes interesses e formação, diferentes tamanhos de turmas (sempre pequenas) e lista de tópicos variável foram testados. A proposta da disciplina é trazer o estudante para um cenário tecnológico no qual o conhecimento adquirido previamente, ao longo do curso, seja utilizado diretamente de modo que fique estabelecida uma linha do conhecimento com continuidade e, que justifica e serve de base para o estudo dos tópicos apresentados. A disciplina começa com a discussão de um sistema fotônico geral e avança a partir de práticas de laboratório como é descrito a seguir. O formato da disciplina apresentado aqui é apenas um dos que foram testados.

2 DISCIPLINA- TEORIA E LABORATÓRIO

A disciplina, Fundamentos de Engenharia Fotônica, oferecida na pós-graduação e como optativa, começa com uma discussão geral sobre um sistema fotônico com componentes típicos. Tal sistema é apresentado na Figura 1. A partir do sinal de entrada, de natureza elétrica, ocorre a conversão elétrico/óptico, o fluxo do sinal óptico até a etapa de detecção e, finalmente, a conversão óptico/elétrico que fornece o sinal de saída de natureza elétrica.

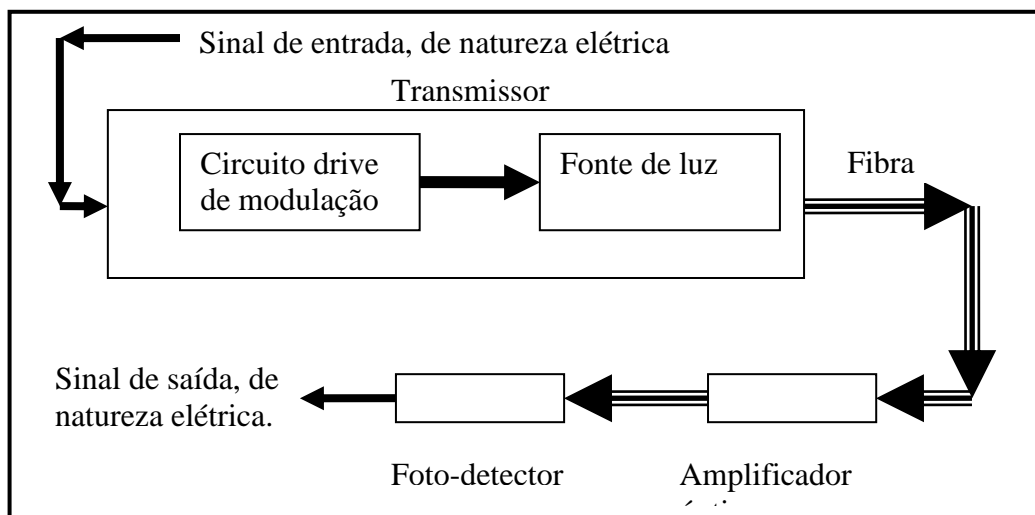


Figura 1 - Sistema fotônico geral usado como referência para discussão inicial.

O sistema da Figura 1 serve como ponto de partida e base para abordar o funcionamento e características gerais dos componentes optoeletrônicos. Observe que a figura já encerra conceitos de componentes eletrônicos, circuitos eletrônicos, propagação de ondas

eletromagnéticas e a natureza dual dos circuitos fotônicos em termos de sinais elétricos e ópticos.

A disciplina é conduzida de modo que o estudante, além das aulas expositivas, realiza algumas práticas de laboratório e prepara trabalhos sobre temas relacionados.

Os experimentos de laboratório são apresentados na lista que segue:

- 1- Polarizador
- 2- Diodos emissor de luz (led) e laser
- 3- Fotodetector
- 4- Modulação de um feixe óptico- Efeito eletro-óptico
- 5- Expansão de um feixe óptico
- 6- Interferometria
- 7- Transmissão em fibras ópticas (corte, exame com microscópio, visualização de modos e efeitos de bending).

Os trabalhos realizados pelo estudante cobrem os temas, na área de fotônica e ou optoeletrônica.

- 1- Parque industrial e de serviços;
- 2- Formação de recursos humanos, escolas, cursos, programas, disciplinas e livros texto;
- 3- Conectores ópticos e emendas;
- 4- Processos de fabricação de fibras, tipos de fibras e sistemas de comunicações;
- 5- Atenuadores, moduladores, fontes e fotodetectores;
- 6- Aplicações espaciais, médicas e instrumentação.

O conjunto das práticas de laboratório e dos temas de estudo foi escolhido visando estabelecer uma base de conhecimento para o estudante que inicia na engenharia fotônica. Esta base deve ser suficientemente ampla, contemplando aspectos fundamentais e práticos de modo que o estudante, ao final do semestre (já no fim do curso de graduação) tenha um ganho na sua formação, e, além disso, tenha informações técnicas e estratégicas para sua carreira profissional.

Como parte da apresentação da proposta da disciplina, apresenta-se neste trabalho uma discussão de duas das práticas de laboratório citadas.

O primeiro experimento consiste na verificação da lei de Malus, usando-se um polarizador e um analisador. A Figura 2 ilustra o arranjo experimental utilizado.

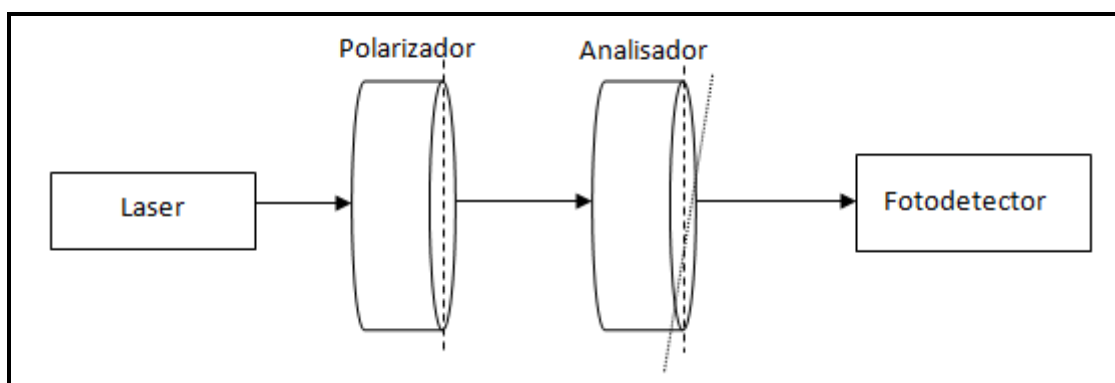


Figura 2 - Arranjo experimental para estudo de polarização e lei de Malus.

Girando continuamente o analisador, o estudante obtém o gráfico de intensidade óptica (W/m^2) em função do ângulo θ entre os eixos do polarizador e do analisador. A Figura 3 ilustra a intensidade do feixe óptico na saída do analisador em função do ângulo entre os eixos do polarizador e do analisador.

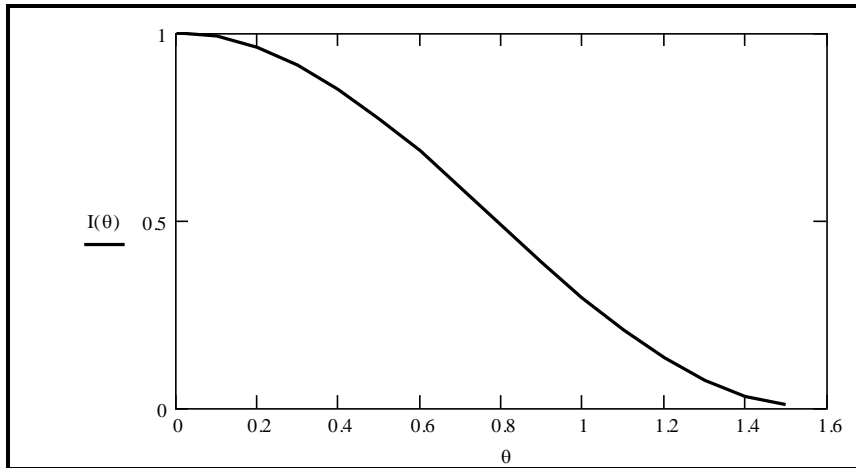


Figura 3 - Sinal de saída em função do ângulo entre eixos do polarizador e do analisador

Esse primeiro experimento trata basicamente da polarização de uma onda eletromagnética. Serve para apresentar os componentes típicos ao estudante. É a primeira oportunidade de tratar a dualidade óptico/elétrico já que o sinal de saída do fotodetector é uma tensão elétrica.

Ao fim do experimento existe a condição de colocar as seguintes perguntas para o estudante:

- O controle da polarização permite modulação de amplitude?
- É possível imaginar uma maneira de controlar a polarização eletronicamente para realizar a modulação de amplitude de um sinal óptico?

Posteriormente, o estudante estuda modulação de um sinal óptico, via modulador de amplitude eletroóptico, e reconhecerá a curva da Figura 3 como sendo a resposta característica de tal modulador. Neste ponto, vale destacar um aspecto adicional. A curva da Figura 3 apresenta regiões lineares (ou quase linear) e regiões de resposta não linear. Tal característica mostra ao estudante a necessidade de controle da amplitude do sinal modulante e a importância da escolha de um ponto de operação para garantir resposta linear.

O segundo experimento permite ao estudante determinar como varia a intensidade óptica de um diodo laser, em função da sua corrente elétrica. Na Figura 4 é ilustrado o circuito eletrônico usado na detecção do sinal óptico gerado pelo diodo laser. Na Figura 5, é apresentada a curva de intensidade óptica de um diodo laser em função da sua corrente direta.

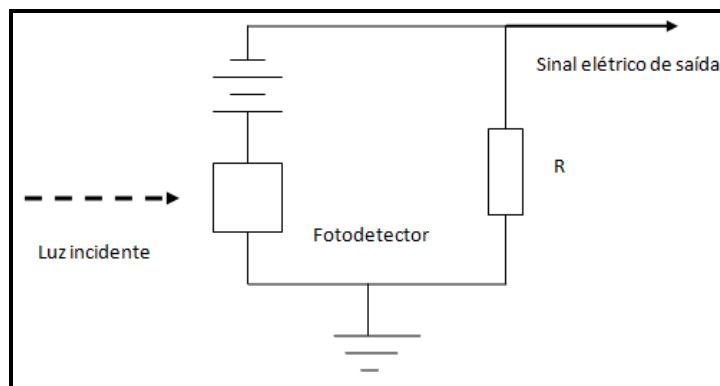


Figura 4: Circuito com fotodetector em modo foto-condutivo usado para estudar a característica de potência de saída do diodo laser.

Buscando, outra vez, relacionar o que é novo com o que já foi aprendido anteriormente, é destacado para o estudante, que o circuito da Figura 4, serve de exemplo da conversão óptico elétrico. Temos uma entrada óptica (luz) e uma saída elétrica, a tensão elétrica sobre um resistor. Com o circuito utilizado é possível apresentar uma introdução aos amplificadores de transimpedância (KAISER, 2010), tema importante nas comunicações ópticas, que podem ser projetados a partir de amplificadores operacionais. A curva da Figura 5 tem dois regimes distintos. O primeiro, com variação suave e linear da intensidade óptica com a corrente direta do laser e, o segundo, com grande sensibilidade da potência com a corrente. No segundo regime temos a ocorrência da amplificação estimulada (contida na palavra laser) enquanto no primeiro ocorre apenas a geração de fótons de maneira similar àquela dos diodos emissores de luz, led.

A operação em um regime de amplificação estimulada, conforme ilustrado na Figura 5 demanda um circuito drive de corrente, com especificações muito mais rigorosas que aquelas do caso dos led's. Esta característica remete o estudante ao estudo de fontes de correntes e estabilização de suas características para evitar grandes variações de parâmetros com a temperatura.

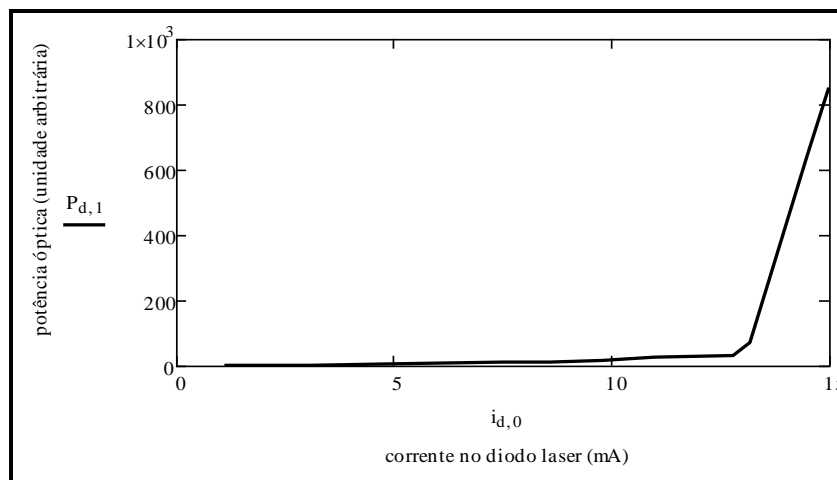


Figura 5 - Característica de intensidade óptica de um diodo laser em função da sua corrente direta.

Um aspecto de ordem prática é a experiência que o estudante ganha com os valores típicos de corrente das correntes (mA neste caso) e tensões nos circuitos fotônicos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostra o formato e a proposta, em termos de uma disciplina voltada para o ensino da fotônica no ITA. A estrutura apresentada não é necessariamente seguida todos os anos. A oferta da disciplina, ao longo de alguns semestres, tem permitido perceber melhor o aprendizado dos estudantes e estabelecer novas propostas de experimentos e maneiras de intervenção do professor.

Os conteúdos abordados, geração de luz via semicondutores, detecção de luz, modulação de um feixe laser e propagação de luz em fibras ópticas permitem reforçar as competências nas áreas de dispositivos semicondutores, sistemas e eletromagnetismo. A ênfase, durante o

desenvolvimento da disciplina, no conhecimento adquirido anteriormente tem se mostrado eficaz.

1. O aluno relaciona e reúne o seu próprio material de estudo de maneira independente.
2. O trabalho em equipe, no laboratório é facilitado pela soma de conhecimento comum.
3. Ao final do curso o grupo de estudantes, em termos das competências adquiridas, apresenta-se bastante homogêneo. Ao fim verificamos grande motivação dos estudantes e identificamos o uso, pelos alunos de diversas competências distintas.

As práticas de laboratório ocorrem no Laboratório de Fotônica do ITA. Neste laboratório são conduzidas pesquisas nas áreas de microondas e fotônica (POÇO, 2008), (GARCIA 2009), (PIMENTA 2010) e, desta forma, o estudante fica em um ambiente dedicado ao estudo do tema. A partir da experiência acumulada está sendo proposto um conjunto de novos experimentos mais elaborados como sensores a fibra óptica, por exemplo, e considera-se a cooperação com empresas para que problemas, do dia a dia, sejam apresentados e abordados pelos estudantes durante a disciplina.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os alunos que cursaram a disciplina de Fundamentos da Engenharia Fotônica desde 2006 no Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GARCIA, André Luiz de Souza. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA. **Oscilador optoeletrônico para geração de sinais de microondas até 3 GHz**, 2009. Dissertação.

JÚNIOR, Euclides Chaves Pimenta. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA. **Estudo e caracterização da transmissão de sinais de radiofrequência em microondas por meio de fibras ópticas**, 2010. Dissertação.

KAISER, Gerd. **Optical Fiber Communications**. 4. ed. New York. McGraw-Hill, 2010.
POÇO, Eduardo de Moraes Rodrigues. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA. **Técnicas de óptica aplicadas em microfones ópticos**, 2008. Dissertação.

SABARATNAM, A.T., HEGDE, G.M.; Project-based learning in photonics for tertiary students of other engineering disciplines. **Proceedings of Seventh International Conference on Education and Training in Optics and Photonics**, 2002.

PROPOSAL FOR THE TEACHING OF OPTOELECTRONICS AND PHOTONICS COURSES IN ELECTRICAL ENGINEERING. PRESENTATION OF A DIDACTIC EXPERIENCE

Abstract: This paper presents a proposal for the teaching of photonics in course of Electronics Engineering at the Technological Institute of Aeronautics. Are presented the disciplines that provide the basis for applied electromagnetics and prior to this study, the proposal of the discipline, in terms of construction or highlight the relationship of the new knowledge with what has been studied by the student and the list of laboratories and work

practices. Considering only two of the practices presented, it is shown as the relationship with the knowledge already acquired throughout the course is crafted and establishes itself. The teaching understanding is related with the student work characteristics as the pointed out at the end.

Keywords: *Engineering education, Teaching methodology, Optoelectronics, Photonics.*