

UTILIZAÇÃO DE EXEMPLOS PRÁTICOS NO CONTEXTO DA ELETRÔNICA DE POTÊNCIA PARA O ENSINO DE CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL EM CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Fernando Lessa Tofoli – fernandolessa@ufsj.edu.br

Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Engenharia Elétrica
Campus Santo Antonio – Praça Frei Orlando, 170 – Centro
CEP 36307-352 – São João del-Rei-MG, Brasil

Fabiana Aparecida Olívia, Vanessa Aparecida da Silva – fabiolivia@hotmail.com,
vanessinhawcs@yahoo.com.br

Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Ciências da Educação
Campus Dom Bosco – Praça Dom Helvécio, 74 – Fábricas
CEP 36301-160 – São João del-Rei-MG, Brasil

Jane Suzete Valter – sjvalter@yahoo.com.br

Escola Básica Municipal São Cristóvão
Rua Prudente Moraes, 815 – Bairro Bela Vista
CEP 89804-081 – Chapecó-SC, Brasil

Resumo: *O Cálculo Diferencial e Integral é uma disciplina de extrema importância no âmbito das Ciências Exatas e das Engenharias, sendo ferramenta indispensável para o desenvolvimento de estudos matemáticos realizados nas mais variadas áreas do conhecimento. Entretanto, o ensino do Cálculo enfrenta uma série de paradigmas, de modo que são necessárias práticas alternativas para a melhoria da qualidade e redução dos elevados índices de reprovação que existem em diversas instituições de ensino superior do país. Além disso, deve-se fornecer um embasamento sólido e perene ao aluno, dada a importância desta disciplina para os conteúdos que serão abordados ao longo dos cursos de graduação. Neste contexto, este trabalho apresenta uma sugestão no que tange à adoção de exemplos práticos para o ensino do Cálculo Diferencial e Integral em cursos de Engenharia Elétrica. Por meio do uso da teoria da Eletrônica de Potência, é possível aplicar o desenvolvimento de integrais no que tange à solução de problemas práticos da Engenharia Elétrica. Deve-se ressaltar que isto será realizado sem que o aluno precise recorrer a conhecimentos avançados do curso, conseguindo também visualizar de modo mais amplo e focado a aplicação do Cálculo.*

Palavras-chave: *Cálculo Diferencial e Integral, Eletrônica de Potência, Engenharia Elétrica.*

1 INTRODUÇÃO

A Eletrônica de Potência é uma subárea da Engenharia Elétrica que se destina ao estudo dos conversores estáticos de potência, os quais por sua vez recebem tal denominação porque não possuem partes móveis, ao contrário dos motores e geradores elétricos. Trata-se também de uma área de estudos inerentemente multidisciplinar e interdisciplinar no âmbito desta grande área da Engenharia.

A importância da Eletrônica de Potência é inegável para a sociedade contemporânea, ainda que sua presença passe despercebida pelo usuário final de produtos e/ou processos que empregam conversores estáticos. Prof. Dr. Bimal K. Bose, da Universidade do Tennessee, um dos mais renomados pesquisadores desta área a nível internacional, é bastante ousado ao tentar contextualizar esta questão, afirmando que “a Eletrônica de Potência desenvolve

atualmente um impacto relevante em nossa sociedade, que é tão grande quanto, se não maior, que aquele da tecnologia da informação” (FRANQUELO, NAGY e WEN, 2009).

De fato, o emprego de conversores estáticos compreende uma vasta gama de aplicações, a exemplo de: fontes chaveadas utilizadas nos mais diversos equipamentos eletrônicos; processamento de energia solar fotovoltaica e eólica; carregamento de baterias; alimentação e propulsão de veículos elétricos; automação de processos industriais; transmissão de energia elétrica e controle de fluxo de potência; sistemas de iluminação de modo geral; entre outras (BARBI, 2006).

Sendo uma das áreas mais complexas e completas da Engenharia Elétrica, constata-se que um engenheiro que efetivamente tenha interesse em atuar em Eletrônica de Potência deve possuir como pré-requisitos conhecimentos correlatos às seguintes disciplinas: Cálculo Diferencial e Integral; Circuitos Elétricos; Eletrônica Analógica; Eletrônica Digital; Eletromagnetismo; Sistemas de Controle; entre outras.

Além disso, dependendo da natureza do projeto que envolva a presença de conversores estáticos, é necessário cumprir uma etapa de adequação de conhecimentos no que se refere ao estudo de: Linguagens de Programação; Microcontroladores; Máquinas e Acionamentos Elétricos; Sistemas de Potência; Física de Semicondutores; Qualidade da Energia Elétrica; Fontes Alternativas de Energia; entre outras.

O estudo da Eletrônica de Potência em nível de graduação na maioria dos cursos de Engenharia Elétrica no Brasil consiste na investigação do princípio de funcionamento das seguintes classes de conversores estáticos: retificadores, conversores CC-CC, inversores e controladores CA. Entretanto, antes da realização de práticas experimentais em laboratório, o aluno deve conhecer a teoria pertinente à operação dos conversores supracitados. Para que isto seja plausível, deve-se considerar que este possua como pré-requisitos relacionados à resolução de derivadas, integrais e equações diferenciais; análise de circuitos elétricos em corrente contínua e corrente alternada; estudo de circuitos magnéticos; transformadores; eletrônica analógica; e eletrônica digital.

Assim, este artigo apresentará uma tentativa de contextualizar a importância do Cálculo Diferencial e Integral na Engenharia Elétrica, particularmente no estudo da Eletrônica de Potência. De outra forma, busca-se apresentar um exemplo de circuito simples que permitirá aos alunos visualizar a aplicabilidade do Cálculo Diferencial já nos períodos iniciais do curso de graduação. Deve-se ressaltar que isto será realizado sem que seja necessário recorrer a conteúdos mais complexos, pertinentes a outras disciplinas com as quais o aluno só terá contato posteriormente.

2 ENSINO DO CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL

No Brasil, tem-se um quadro crítico no que se refere à baixa qualidade do ensino nas áreas de Física e Matemática a nível fundamental e médio. Isto se justifica principalmente diante dos resultados pouco satisfatórios alcançados pelos alunos brasileiros nas avaliações, tanto em nível nacional quanto em nível internacional. Em especial, destaca-se o mau desempenho dos alunos em Matemática, de forma que medidas urgentes devem ser tomadas para a reversão desse quadro.

Os cursos de graduação da área de Engenharia, destacando-se em especial a Engenharia Elétrica, são fortemente fundamentados em conhecimentos que remetem à Física e à Matemática. Espera-se, por parte dos alunos, que uma série de conhecimentos vinculados às ciências supracitadas seja de domínio dos mesmos para que haja o devido prosseguimento dos estudos em nível de educação superior.

O Cálculo Diferencial e Integral é uma das disciplinas mais importantes no que tange ao estudo de Ciências Exatas e Engenharias em nível superior. Suas bases foram concebidas por Isaac Newton (1643-1727) e Gottfried Leibniz (1646-1716) por meio de trabalhos

independentes. Por sua vez, esta ainda continua sendo considerada uma das disciplinas onde se apresentam sérias dificuldades de aprendizado.

Muito além de ser uma questão didático-pedagógica teórica, os elevados índices de reprovação e retenção de alunos em Cálculo Diferencial e Integral nos cursos de Engenharia no Brasil são uma realidade. Em virtude da baixa qualidade do ensino de Matemática nos níveis fundamental e médio, a base dos conhecimentos adquiridos pelo aluno, indispensável para a compreensão dos conceitos ligados à solução de limites, derivadas e integrais, torna-se severamente comprometida. Como consequência, verifica-se elevados índices de reprovação nas disciplinas dos primeiros períodos, particularmente naquelas onde se aborda este tema. Isto ainda acaba por agravar o problema da retenção escolar, onde os alunos cursam repetidamente sem êxito não só as disciplinas em questão, mas também outras subsequentes cujos conteúdos curriculares dependem estritamente desta base matemática inicial. Por fim, promove-se assim também a evasão escolar, o que se encontra em total contrassenso com as premissas do Governo Federal estabelecidas em programas como o REUNI (Projeto de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais). Este, por sua vez, pretende elevar, em um prazo de cinco anos contados a partir de sua implantação, a taxa média de conclusão dos cursos de graduação presenciais para 90% (Decreto nº 6.096, de 24 de abril de 2007).

Além disso, as disciplinas de cálculo em sua maioria são ministradas por docentes com formação de licenciatura em Matemática. Ainda que estes profissionais possuam formação pedagógica contemplada em disciplinas específicas do currículo do curso de Matemática, teoricamente preparando-os para o ensino superior, muitas vezes a falta de contato com problemas práticos pertinentes à Engenharia os torna inaptos para a função. Isto acaba por levar, muitas vezes, à abordagem do Cálculo Diferencial e Integral sob o ponto de vista puramente matemático, sem fornecer ao aluno a devida noção do poderio desta ferramenta aplicada na Engenharia. Diante do exposto, surge um impasse, uma vez que os licenciados em Matemática possuem uma base pedagógica, mas lhes falta o conhecimento da aplicabilidade da Engenharia. Já os engenheiros docentes têm ampla compreensão da área, porém lhes falta práticas didáticas e conhecimentos pedagógicos.

Além do problema da falta de compreensão do aluno em função da baixa qualidade na base de sua formação matemática, agrega-se a fragmentação, que certamente vai tornar ainda mais difícil a aquisição do conhecimento. Portanto, é importante buscar estratégias que deem suporte à compreensão dos conceitos básicos da disciplina para promover uma aprendizagem de conceitos de Cálculo mais significativa e contextualizada.

Essa perspectiva requer novas práticas didáticas e uma nova postura no trabalho docente – do ensinar para o aprender, ter uma atitude interdisciplinar perante o conhecimento e de pesquisa. A constatação da necessidade de mudança e a compreensão do professor sobre sua realidade não dão conta de tais transformações. Deste modo, o apoio institucional, a estrutura física em termos de laboratórios e instalações, o trabalho em parceria, o estudo e tempo para os professores se apropriarem das novas tecnologias são fundamentais para a realização de qualquer prática diferenciada.

Para que o aluno avance no processo de aprendizagem, torna-se necessária a formação de conceitos. Conforme Vygotsky:

“A formação de conceitos é o resultado de uma atividade complexa em que todas as funções intelectuais básicas tomam parte. No entanto, o processo não pode ser reduzido à associação, à atenção, à formação de imagens, à inferência ou às tendências determinantes. Todas são indispensáveis, porém insuficientes sem o uso do signo, ou palavra, como o meio pelo qual conduzimos as nossas operações mentais, controlamos o

seu curso e as canalizamos em direção à solução do problema que enfrentamos.” (VYGOSTSKY, 1993).

A compreensão do processo de formação de conceitos pelo sujeito é um dos pontos de preocupação de Vygotsky e suas considerações a respeito constituem uma grande contribuição de seu pensamento para o ensino escolar. Ainda, segundo ele, para o conhecimento do mundo, os conceitos são imprescindíveis, pois de posse destes o sujeito categoriza o real e lhe conforma significados.

Uma proposta de avançar na prática pedagógica foi apresentada por meio de um projeto desenvolvido na disciplina de Cálculo Diferencial e Integral na Universidade Federal de Uberlândia, em que se utilizou um *software* no processo de ensino aprendizagem. Segundo (COSTA, 2007), existem diferentes propostas de se trabalhar com computadores no processo de ensinar e aprender Cálculo. Essas práticas com computadores vêm sendo desenvolvidas paralelamente às aulas convencionais de Cálculo e contribuindo significativamente na superação de dificuldades no entendimento da disciplina.

Outra experiência com estratégias alternativas foi desenvolvida na Universidade Federal do Rio Grande (MENEGHETTI, RODRIGUES, *et al.*, 2011), com o objetivo de minimizar os índices de reprovação e evasão dos estudantes, bem como contribuir na melhoria dos coeficientes de rendimento e sucesso dos profissionais formados pela instituição. Buscou-se neste caso uma modernização do material didático existente e uma nova dinâmica no fazer pedagógico, através da utilização de recursos computacionais modernos, do uso dos laboratórios de informática para graduação e do entrosamento de professores e estudantes com o ensino básico de graduação. Neste projeto, a aplicação de Cálculo Diferencial e Integral se deu por meio de situações concretas envolvendo o modelo de um furacão e relacionando-o aos conceitos da disciplina. Todo o processo desenvolvido ocorreu com a contextualização o que facilitou o entendimento dos alunos e resultou em grandes avanços.

Cury, ao desenvolver uma pesquisa acerca dos erros cometidos na disciplina de Cálculo pelos estudantes em provas ou em trabalhos de sala de aula, envolvendo as respectivas causas e também propondo alternativas para superar as dificuldades, aponta para a necessidade da pesquisa constante por parte dos alunos. Esta prática deve ser encorajada de modo que os educandos possam refletir sobre seus erros e aprendizagem, além de enfatizar a importância no acompanhamento de todas as atividades realizadas, o que permite entender suas dificuldades e adaptar o ensino às suas reais necessidades. Afirma:

“Julgamos, assim, que é primordial repensar o ensino de Cálculo para alunos ingressantes em cursos superiores, empregando metodologias e recursos variados e, especialmente, destinando períodos para atendimento individual, seja com monitores, seja com bolsistas de Iniciação Científica, ou até mesmo com alunos de mestrado, que podem realizar seus estágios curriculares com atividades voltadas para os alunos das disciplinas matemáticas iniciais dos cursos de graduação.” (CURY e CASSOL, 2004).

Além disso, aponta para a necessidade de modificar a metodologia de trabalho, encontrando alguma maneira de desafiar os estudantes, motivá-los para despertar o interesse pelo estudo e realização das atividades propostas.

O trabalho descrito por (CAMPOS, 2009) e desenvolvido na Universidade Federal do Ceará utiliza recursos de *software* na disciplina Cálculo Diferencial e Integral I, sendo que foram utilizados alguns aplicativos computacionais como ferramentas auxiliares para se resolver um determinado problema ou para facilitar a fixação dos conhecimentos teóricos. Afirma-se que a utilização do *software* MuPAD possibilitou, ao professor da disciplina, disponibilizar aos alunos o acesso direto com diversos recursos computacionais, os quais

contribuíram no fortalecimento das bases matemáticas teóricas e comprovaram a eficiência dessa ferramenta.

Diante do exposto, pode-se afirmar seguramente que, de forma associada à aplicação de técnicas de ensino diferenciadas, a adoção de exemplos práticos de aplicação do Cálculo Diferencial e Integral no contexto do curso de graduação em que o aluno está inserido torna-se bastante interessante. A seguir, será apresentado um exemplo da utilização de integrais em conteúdos da Engenharia Elétrica, particularmente no que tange ao estudo da Eletrônica de Potência.

3 EXEMPLO

Durante o ensino fundamental, o aluno mantém o primeiro contato com funções trigonométricas, as quais vez têm vasta gama de aplicações na Física no estudo de ondas e eletricidade, conteúdos por sua vez estudados no ensino médio. Define-se então uma senóide ou onda senoidal como uma forma de onda cujo gráfico é idêntico ao da função seno generalizada, como mostra a Figura 1 (PAIVA, 2003).

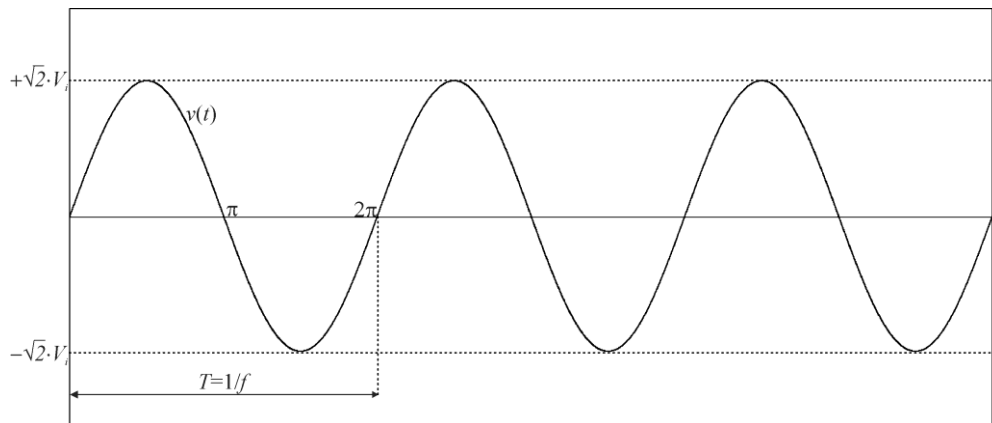


Figura 1 – Forma de onda senoidal.

Assim, pode-se escrever matematicamente esta senóide variando ao longo do tempo como:

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V_i \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \quad (1)$$

onde $v(t)$ é o valor instantâneo da senóide da Figura 1 em volts [V]; $\sqrt{2} \cdot V_i$ é o valor de pico da senóide em volts [V]; f é a frequência desta função periódica em hertz [Hz]; $T=1/f=2 \cdot \pi$ é o respectivo período em segundos [s]; e t é o tempo em segundos [s].

Durante o ensino médio, o aluno estuda em Física princípios básicos relacionados à eletricidade e magnetismo. Particularmente no que se refere à análise de circuitos elétricos, são investigados apenas os princípios dos circuitos alimentados em corrente contínua (CC) (GUIMARÃES e BOA, 2008). Por outro lado, o estudo de circuitos em corrente alternada (CA) é restrito a cursos de nível técnico ou superior.

Dentre os conceitos aprendidos em Física relacionados à análise de circuitos elétricos CC, pode-se destacar as leis de Ohm e de Kirchhoff. Deve-se ressaltar que estes conceitos também são válidos para os circuitos CA, como será apresentado a seguir (LYRA e BURIAN JR., 2006).

Define-se corrente alternada (CA) como uma corrente elétrica cujo sentido varia no tempo, ao contrário da corrente contínua, cujo sentido sempre permanece constante. A forma de onda usual em um circuito de potência CA é senoidal por ser a forma de transmissão de energia mais eficiente. Entretanto, em certas aplicações, diferentes formas de ondas são

utilizadas, tais como a onda triangular ou quadrada. Enquanto a fonte de corrente contínua é constituída pelos pólos positivo e negativo, a de corrente alternada é composta por fases.

Como exemplo de aplicação destes conceitos, considera-se um circuito bastante simples utilizado em Eletrônica de Potência, denominado retificador monofásico de meia onda não controlado, o qual é representado na Figura 2. Deve-se ressaltar que, embora o aluno ainda não conheça propriamente circuitos eletrônicos nos primeiros períodos do curso de Engenharia Elétrica, seu princípio de funcionamento pode ser facilmente compreendido.

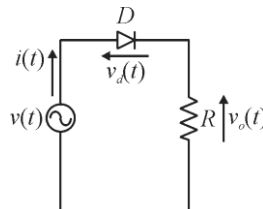


Figura 2– Retificador monofásico de meia onda.

Verifica-se na Figura 2 que o circuito é composto por uma fonte de tensão alternada e senoidal, que pode ser representada ao longo do tempo pela expressão (1); um diodo, que corresponde a um interruptor responsável por permitir ou não a circulação da corrente elétrica; e um resistor, que funciona como carga. Antes de falar propriamente do conversor, deve-se entender o princípio de operação do diodo enquanto interruptor estático não controlado, considerando seu comportamento ideal.

O diodo é um bipolo elétrico, isto é, um dispositivo com dois terminais, denominados anodo e catodo, como mostra a Figura 3 (MALVINO, 1997). Por sua vez, enquanto interruptor, o diodo permite a corrente de passagem elétrica apenas quando o potencial elétrico do anodo for mais positivo que aquele do catodo, sendo seu comportamento nesta situação análogo a um curto-circuito. Por outro lado, caso o oposto ocorra, o dispositivo deixa de conduzir a corrente, comportando-se como um circuito aberto.

Assim, no retificador monofásico de meia onda, o diodo permitirá que a corrente seja conduzida apenas durante o semiciclo positivo da senóide que representa a tensão de alimentação em termos da equação (1). Durante o semiciclo negativo, o diodo permanecerá bloqueado, de modo que não há circulação de corrente no circuito. Diante do exposto, apenas a parcela correspondente ao semiciclo positivo aparecerá na corrente de carga, o que corresponde a uma meia senóide, justificando assim o nome dado a este tipo de circuito. Este comportamento pode ser ilustrado por meio da Figura 4, sendo que $i(t)$ representa a forma de onda da corrente que circula tanto no diodo como no resistor, pois os elementos estão conectados em série.

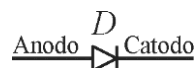


Figura 3 – Representação de um diodo.

A Lei de Kirchhoff das tensões estabelece que a soma das tensões em uma malha fechada é nula. Assim, analisando-se o circuito da Figura 4, é possível obter a seguinte expressão:

$$v(t) - v_D(t) - v_o(t) = 0 \Rightarrow v(t) = v_D(t) + v_o(t) \quad (2)$$

Ressalta-se neste ponto que as tensões são expressas em volts, enquanto eventuais valores de corrente são dados em ampères. Considerando-se as expressões (1) e (2), pode-se obter as formas de onda da tensão instantânea na carga $v_o(t)$ e tensão instantânea aplicada sobre o diodo $v_D(t)$, de acordo com a Figura 4.

O valor médio de uma função periódica está relacionado com a componente contínua da mesma. Isto pode ser compreendido como um valor constante somado à função,

representando assim um eventual deslocamento para cima ou para baixo ao longo do eixo das ordenadas. Isto então se traduz na assimetria da função em relação ao eixo das abscissas.

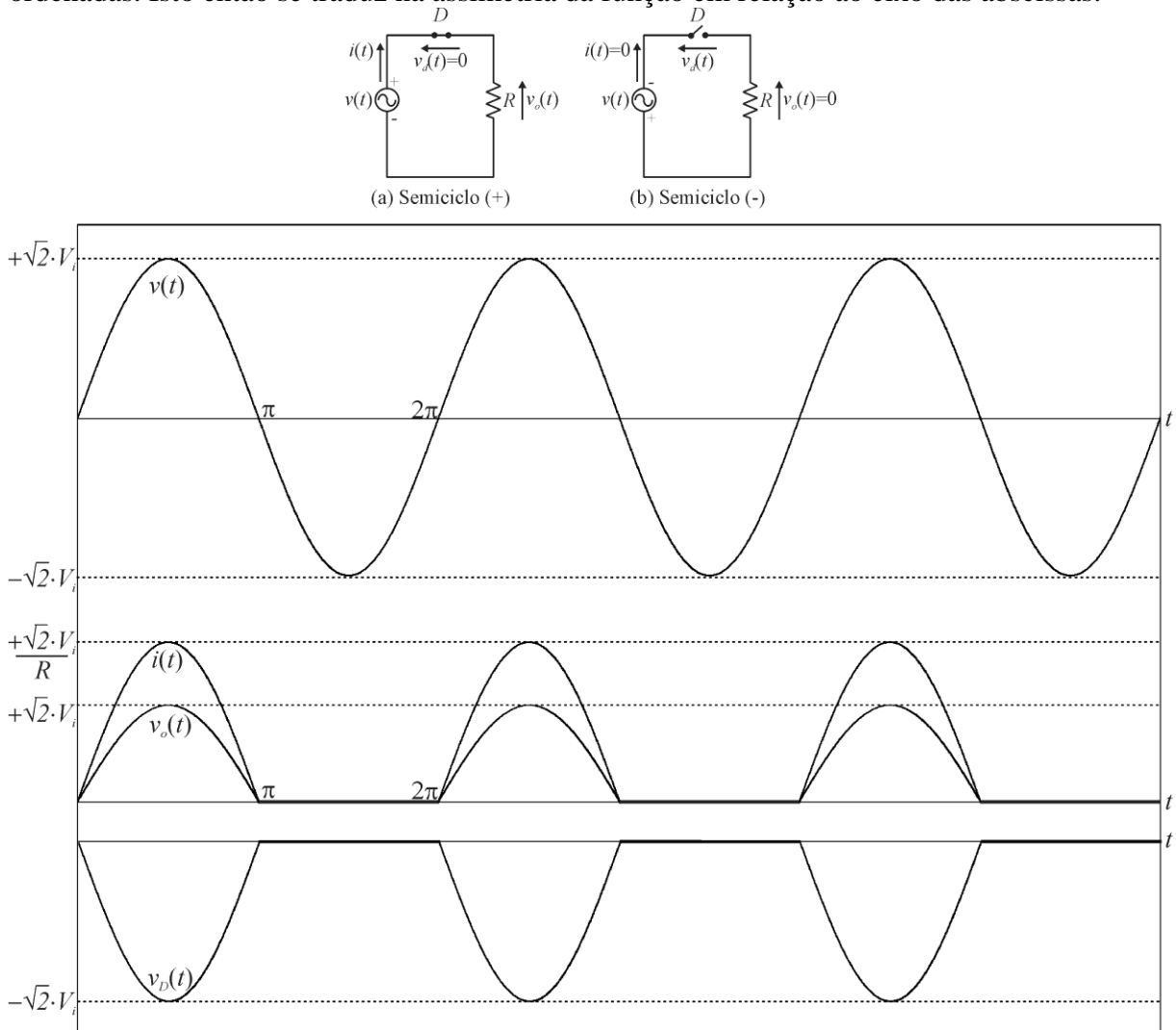


Figura 4 – Operação do retificador monofásico de meia onda.

Além disso, espera-se que a tensão na carga $v_o(t)$ possua a mesma forma de onda da corrente de carga, o que pode ser explicado em virtude da primeira lei de Ohm, representada por:

$$v_o(t) = R \cdot i(t) \quad (3)$$

Graficamente, o valor médio pode ser representado como sendo a área sob a curva existente ao longo do período da função dividida por este mesmo parâmetro. De forma geral, pode-se definir:

$$V_{(méd)} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_1=0}^{t_2=T} f(t) dt \text{ sendo } T = t_2 - t_1 \quad (4)$$

Assim, se for considerada a função definida pela expressão (1), o valor médio correspondente será nulo, pois a área delimitada pelo semiciclo positivo da senóide é igual àquela do semiciclo negativo com sinal oposto.

Entretanto, aplicando-se o conceito definido pela expressão (4) à forma de onda da corrente $i(t)$ mostrada na Figura 4, obtém-se a corrente média de carga $I_{o(méd)}$ como sendo:

$$I_{o(méd)} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i(t) dt = \frac{1}{2\pi} \left[\int_{t_1=0}^{t_2=\pi} \frac{\sqrt{2} \cdot V_i \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)}{R} dt + \int_{t_2=\pi}^{t_3=2\pi} 0 \cdot dt \right] = \frac{\sqrt{2} \cdot V_i}{\pi \cdot R} \quad (5)$$

Usando a primeira lei de Ohm expressa em (3), o valor médio da tensão na carga pode ser obtido como:

$$V_{o(méd)} = R \cdot I_{o(méd)} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_i}{\pi} \quad (6)$$

Em Matemática, o valor quadrático médio, rms (*root mean square*) ou eficaz é uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável e pode ser calculado para uma série de valores discretos ou para uma função variável contínua. Por sua vez, o nome deriva do fato de que é a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos valores. Para uma função variável contínua qualquer $f(t)$ definida sobre o intervalo genérico $t_1 \leq t \leq t_2$, de modo que o período é $T=t_2-t_1$, o valor eficaz é calculado como:

$$V_{(rms)} = \sqrt{\frac{1}{t_2-t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} [f(t)]^2 dt} \quad (7)$$

Assim, pode-se calcular o valor eficaz da senóide mostrada na Figura 1 substituindo-se (1) em (7):

$$V_{(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi - 0} \cdot \int_{t_1=0}^{t_2=2\pi} [\sqrt{2} \cdot V_i \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)]^2 dt} = \frac{V_i}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\pi - \left[\frac{\text{sen}(4 \cdot \pi) - \text{sen}(0)}{8 \cdot \pi \cdot f} \right]} = V_i \quad (8)$$

Assim, comparando-se (1) e (8), conclui-se que o valor eficaz de uma senóide pode ser obtido dividindo-se seu valor de pico pela raiz quadrada de dois.

Analogamente, os valores eficazes da corrente na carga e da tensão na carga podem ser determinados através da integração das correspondentes formas de onda, assim dadas pelas expressões (9) e (10), respectivamente:

$$I_{o(rms)} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_i}{2 \cdot R} \quad (9)$$

$$V_{o(rms)} = R \cdot I_{o(rms)} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_i}{2} \quad (10)$$

A potência média dissipada pela resistência de carga em watts [W] pode ser obtida por:

$$P_o = R \cdot I_{o(rms)}^2 = \frac{V_{o(rms)}^2}{R} \Rightarrow P_o = R \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot V_i}{2 \cdot R} \right)^2 = \frac{V_i^2}{2 \cdot R} \quad (11)$$

Por sua vez, a potência aparente S_i extraída da fonte de alimentação em volt-ampère [VA] é definida pelo produto entre os valores eficazes da tensão de entrada $V_{i(rms)}$ e da corrente drenada da fonte $I_{i(rms)}$ como sendo (LYRA e BURIAN JR., 2006):

$$S_i = V_{i(rms)} \cdot I_{i(rms)} = V_i \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot V_i}{2 \cdot R} \right) = \frac{\sqrt{2} \cdot V_i^2}{2 \cdot R} \quad (12)$$

Embora tenha sido considerada que a tensão de entrada é senoidal, outras formas de onda podem ser empregadas para a análise supracitada, a exemplo de ondas quadradas, triangulares, trapezoidais ou mesmo qualquer função periódica genérica cuja integração seja possível. Desta forma, torna-se clara para o aluno a aplicabilidade do Cálculo Diferencial e Integral na Engenharia Elétrica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou alguns aspectos pertinentes ao ensino de Cálculo Diferencial e Integral em cursos de nível superior, particularmente em Engenharia Elétrica. Destacou-se que, diante dos elevados índices de reprovação nesta disciplina, há a necessidade iminente de adotar técnicas de ensino diferenciadas, que por sua vez permitam resgatar o interesse e a motivação dos alunos.

Além disso, deve-se ressaltar que frequentemente a disciplina é ministrada por docentes com formação em Matemática pura, e estes geralmente não possuem uma visão global da aplicabilidade do Cálculo para a solução de problemas práticos em Engenharia. No que tange à Engenharia Elétrica, a importância do Cálculo Diferencial torna-se evidente à medida que o profissional avança em seus estudos, principalmente no âmbito da pós-graduação. Quando o engenheiro eletricitista decide se especializar em Eletrônica de Potência, constata que o uso do Cálculo Diferencial como ferramenta é constante e intenso no que se refere aos equacionamentos que descrevem o funcionamento dos conversores estáticos de potência.

Complementarmente à adoção de técnicas de ensino alternativas, a análise de conversores estáticos simples mostra-se uma ferramenta interessante para o ensino de Cálculo Diferencial e Integral. Por meio do estudo do circuito abordado, o aluno consegue visualizar a aplicação de integrais na solução de um problema prático, visto que o retificador monofásico de onda completa é um dispositivo que pode ser implementado fisicamente em laboratório.

Uma extensão do estudo desenvolvido pode levar o aluno a analisar o mesmo circuito considerando formas de onda distintas para a tensão de alimentação, ou mesmo funções periódicas diversas que sejam integráveis. Além disso, circuitos deste tipo podem ser empregados para exemplificar o uso de outras ferramentas matemáticas, como a série de Fourier aplicada à análise de sinais periódicos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo suporte fornecido durante a realização deste trabalho.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBI, I. **Eletrônica de Potência**. 6a. ed. [S.l.]: Edição do autor, 2006.
- CAMPOS, L. M. L. D. Uso de Ferramentas Educacionais na Disciplina de Cálculo. **Revista Tecnologias na Educação**, n. 1, Dezembro 2009. ISSN 1984-4751.
- COSTA, P. O. Tecnologia de Informação e Comunicação no Ensino de Cálculo. **FAMAT em Revista**, n. 09, p. 431-440, Outubro 2007.
- CURY, H. N.; CASSOL, M. Análise de Erros em Cálculo: Uma Pesquisa para Embasar Mudanças, v. 6, n. 1, p. 27-36, 2004.
- DECRETO nº 6.096, de 24 de abril de 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6096.htm>. Acesso em: 20 Março 2011.
- FRANQUELO, L. G.; NAGY, ; WEN, C. Honoring Dr. Bimal K. Bose [Tributes]. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 3, n. 2, p. 12-14, 2009.
- GUIMARÃES, L. A.; BOA, M.. **Física – (Ensino Médio)**. 2a. ed.: Editora Galera Hiperídia, v. 3 (Eletricidade), 2008.
- LYRA, A. C. C.; BURIAN JR., Y. **Circuitos Elétricos**. : Prentice Hall, 2006.
- MALVINO, A. P. **Eletrônica**. 4a. ed. : Makron Books, v. 1, 1997.

MENEGHETTI, et al. **Práticas Alternativas de Ensino em Cálculo Diferencial e Integral, Álgebra Linear e Geometria Analítica**. Universidade Federal do Rio Grande. [S.l.], p. 156. 2011.

PAIVA, M. **Matemática**. : Moderna, v. único, 2003.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1993.

THE USE OF PRACTICAL EXAMPLES FOR TEACHING DIFFERENTIAL AND INTEGRAL CALCULUS WITHIN THE CONTEXT OF POWER ELECTRONICS IN ELECTRICAL ENGINEERING UNDERGRADUATE COURSES

***Abstract:** Differential and Integral Calculus is an extremely important discipline in the context of Exact Sciences and Engineering, being an essential tool for the development of mathematical calculation in several knowledge areas. However, teaching Calculus faces a series of paradigms, as the use of alternative practices is a must while trying to improve the quality of learning and minimize the high index of failure existent in several Brazilian superior teaching institutions. Besides, students must be provided with a solid and perennial theoretical basis in Calculus due to its aforementioned importance for several contents that are supposed to be studied in undergraduate courses. Within this context, this work proposes the adoption of practical examples for teaching Integral and Differential Calculus in Electrical Engineering undergraduate courses. For this purpose, the use of Power Electronics is suggested, although students are not supposed to deal with advanced issues related to the operation of static power converters. The comprehension of Calculus importance and applicability in solving Engineering problems are distinct advantages of this practice instead.*

Key-words: Differential and Integral Calculus, Electrical Engineering, Power Electronics.