

## PROJETO DE CONVERSORES CC-CC PARA A DISCIPLINA DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA: METODOLOGIA DE ENSINO ORIENTADA A PROJETO

Fábio Lúcio de Almeida S. Jr.<sup>1</sup> – [fabioalmd@gmail.com](mailto:fabioalmd@gmail.com)

Iago Pessoa Vasconcelos<sup>1</sup> – [iagopessoa96@gmail.com](mailto:iagopessoa96@gmail.com)

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará

Rua Estandeu Frota, S/N – Centro

62.010-560 – Sobral – Ceará

**Resumo:** O projeto de construção de um conversor CC-CC é a parte final da disciplina de eletrônica de potência. É nesse momento em que os alunos usam os conhecimentos teóricos e práticos adquiridos no decorrer do curso. Esse projeto contrasta com a metodologia usada nas aulas de laboratório da disciplina, onde os alunos apenas seguem roteiros pré-definidos dos assuntos vistos em sala de aula. Assim, foi realizada uma pesquisa com os alunos sobre a experiência dos mesmos no processo de modelagem e implementação dos conversores CC-CC, com o objetivo de mostrar a importância da construção desses conversores e descobrir se as práticas feitas em laboratório estão ajudando os estudantes a conhecer e entender os componentes e as metodologias usadas na área da eletrônica de potência.

**Palavras-chave:** Projeto de conversor buck-boost. Metodologia de ensino orientada a projeto. Eletrônica de potência. Conversor CC-CC.

### 1 INTRODUÇÃO

Muitos cursos de engenharia no Brasil possuem deficiência em tornar disciplinas técnicas mais práticas. Muitas disciplinas da área da Eletrônica, por exemplo, são muitas vezes focadas unicamente no aprendizado teórico e na execução de práticas laboratoriais maçantes e pouco didáticas, onde o aluno apenas segue um roteiro sem necessariamente ter que compreender o que está executando e como aquilo está relacionado à teoria.

Esse método de ensino tradicional, onde o aluno é passivo na aquisição de conhecimento vem sofrendo mudanças no ensino de Engenharia. Muitas metodologias modernas de ensino vêm sendo empregadas nos cursos de graduação de Engenharia, dentre elas a metodologia orientada a projetos, na qual o aluno desenvolve um projeto dentro da disciplina aplicando os conhecimentos teóricos adquiridos em sala de aula e também, em alguns casos, os conhecimentos práticos desenvolvidos em laboratório.

Na disciplina de Eletrônica de Potência do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará *campus* Sobral os alunos desenvolvem o projeto de um conversor CC-CC como parte da nota final. O desenvolvimento deste conversor segue as etapas de modelagem do conversor em *software* de simulação, dimensionamento do indutor a ser utilizado, montagem do circuito *drive* responsável pelo chaveamento da chave eletrônica e a montagem do conversor CC-CC.

O projeto do conversor CC-CC busca aprofundar os conhecimentos dos alunos no conteúdo teórico e prático da disciplina, como o entendimento do funcionamento dos dispositivos semicondutores como diodos, transistores, etc., entendimento da modulação por largura de

pulso e do funcionamento dos próprios conversores CC-CC. O projeto também proporciona ao aluno a experiência de desenvolver um projeto na prática e apresenta as diferenças de um circuito simulado e teórico para um circuito real.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Conversores CC-CC

Os conversores CC-CC, ou *Choppers*, são circuitos eletrônicos capazes de converter tensão CC para outro nível CC, seja este valor de tensão menor ou maior que o valor de entrada. A tensão de saída é dita regulada pelo circuito eletrônico através de chaveamento eletrônico (HART, 2016). Quando utilizado com circuitos de controle, independente do valor de entrada, o conversor CC-CC retorna sempre o mesmo valor de saída regulado. Fazendo uma analogia ao transformador de tensão CA, equipamento extremamente utilizado em sistemas de potência, o *chopper* pode ser considerado equivalente para a tensão CC (RASHID, 2014).

Os *choppers* são muito utilizados na área industrial e têm diversas aplicações eletrônicas, como em reguladores de tensão e fontes de alimentação CC (HART, 2016), além de aplicações mais específicas como frenagem regenerativa de máquinas de corrente contínua e controle de tração em motores de veículos elétricos (RASHID, 2014).

Petry e Barbi (2001) definem os conversores CC-CC como “sistemas formados por semicondutores de potência operando como interruptores, e por elementos passivos, normalmente indutores e capacitores que tem por função controlar o fluxo de potência de uma fonte de entrada para uma fonte de saída.”

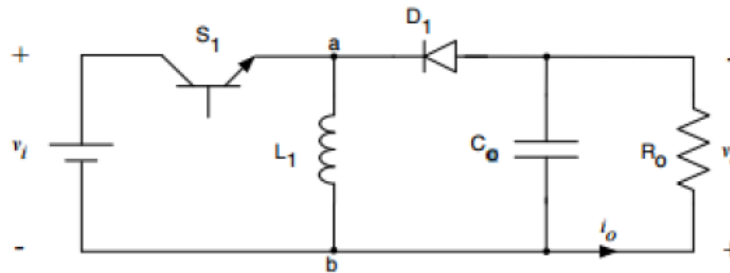
Os dois tipos fundamentais de conversores CC-CC são: o buck ou *step-down*, que é um *chopper* abaixador, ou seja, regula a tensão de forma que a tensão de saída é menor que a de entrada; e o conversor *boost* ou *step-up* que é um elevador de tensão, pois possui uma tensão de saída maior que a tensão de entrada (AHMED, 2008). Existem, ainda, outros tipos de conversores CC-CC. Entre eles está o conversor *buck-boost*.

#### *Conversor CC-CC buck-boost*

O conversor *buck-boost* tem topologia e funcionamento semelhantes aos conversores *buck* e *boost*, embora ele seja uma associação dos dois (em que os componentes são reposicionados para obter uma operação diferente), fazendo com que possa funcionar com a função tanto de um como de outro, em que a tensão de saída pode ser menor, maior ou igual à tensão de entrada, porém com polaridade invertida (HART, 2016) e tem como característica entrada de tensão e saída de tensão também (PETRY; BARBI, 2001).

A figura 1 contém o circuito do conversor *buck-boost*. Este conversor tem dois modos de operação: em condução contínua e descontínua. No modo de condução contínua, com a chave eletrônica conduzindo, a tensão em cima do indutor será igual à tensão de entrada e assim o indutor irá se carregar e a corrente que passará por ele crescerá linearmente, o diodo estará inversamente polarizado e funcionará como um circuito aberto, impossibilitando a passagem de corrente e o capacitor estará se descarregando, dessa forma, alimentando a carga. Com a chave aberta, o diodo entrará em condução, pois estará diretamente polarizado e a tensão em cima do indutor será igual a da carga e a corrente circulará pelo indutor, pelo diodo e pela carga, ocorrendo assim, a desmagnetização do indutor.

Figura 1 – Conversor *buck-boost*.



Fonte: PETRY; BARBI, 2016.

## 2.2 Metodologia de ensino orientada a projeto

A metodologia de ensino tradicional é aquela em que o aluno é única e exclusivamente receptor de conhecimento e o professor, detentor do saber, é responsável por expor esse conhecimento aos alunos. As metodologias modernas de ensino são aquelas que fogem deste contexto e possibilitam ao aluno um papel ativo dentro do processo de aprendizagem (SOUSA, 2018).

As principais vantagens na utilização desta metodologia é que os alunos podem desenvolver as práticas laboratoriais mais ativamente na formação acadêmica, desenvolver a ética profissional ao trabalhar em grupo em um projeto prático, ampliar o interesse pelo aprendizado em Engenharia, além de desenvolver a criatividade e o engajamento pessoal pelo próprio curso (SOUSA, 2018).

## 3 METODOLOGIA

O projeto de conversores CC-CC realizado na disciplina de Eletrônica de Potência, disciplina do sexto semestre do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará *campus* Sobral compõe a nota final da disciplina e é desenvolvido em equipes de quatro alunos.

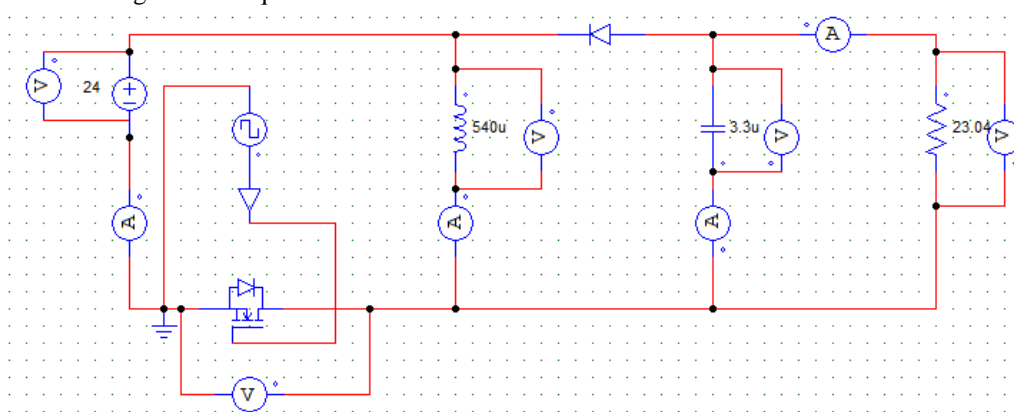
Os conversores projetados pelos alunos são: *buck*, *boost*, *buck-boost* e *Cuk*. Para este trabalho será apresentado o projeto do conversor *buck-boost* que foi projeto dos autores deste trabalho.

Durante as práticas laboratoriais, os estudantes recebem todas as instruções necessárias para o desenvolvimento do projeto, desde a modelagem dos conversores até a utilização dos equipamentos de medição para teste do mesmo.

Foi utilizado o *software* de simulação PSIM para modelagem do conversor. A figura 2 contém o esquemático desenvolvido no *software* de simulação e a tabela 1 contém os parâmetros adotados para o projeto.

O conversor deve operar em modo de condução contínua e na configuração *Boost* (elevador de tensão), já que a tensão de saída será maior que a de entrada. De acordo com a teoria empregada ao conversor, a razão cíclica a ser empregada deve ser maior que 50 % para que o conversor funcione da maneira indicada. Foi considerado um valor mínimo de *Duty Cycle*, para que possa se obter valor máximo de indutância e valor mínimo de capacitância. A partir daí, foram calculados os valores de tensão, corrente, indutância, capacitância, potência e demais dados para o projeto. A tabela 2 contém os valores calculados e adotados para o desenvolvimento do conversor.

Figura 2 – Esquemático do conversor *buck-boost* – Desenvolvido no PSIM.



Fonte: O próprio autor.

Tabela 1 – Parâmetros adotados para projeto do *buck-boost*.

Tensão de entrada	24 V
Tensão de saída	48 V
Potência de saída	100 W
Variação da tensão de saída	10%
Variação da tensão de entrada	10%
Frequência de chaveamento	100 kHz

Fonte: O próprio autor.

Tabela 2 – Valores calculados e adotados para o projeto do conversor *buck-boost* atuando com *duty cycle* mínimo.

Tensão de entrada	24 V	Corrente eficaz no indutor	5,872 A
Variação da tensão de entrada	2,4 V	Corrente máxima no indutor	6,018 A
Frequência de chaveamento	100 kHz	Indutância	580,2 µH
Tensão de saída	48 V	Capacitância	2,8 µF
Rendimento	0,8	Corrente eficaz no capacitor	2,81 A
Variação da tensão de saída	4,8 V	Corrente máxima na chave	3,935 A
Potência de saída	100 W	Tensão máxima na chave	72 V
Resistência de saída	23,04 Ω	Corrente máxima na chave	6,018 A
Corrente média de saída	2,083 A	Corrente média na chave	2,788 A
Potência de entrada	125 W	Corrente eficaz na chave	4,716 A
Duty cycle mínimo	0,645	Tensão máxima sobre o diodo	72 V
Corrente média de entrada	5,208 A	Corrente eficaz sobre o diodo	3,498 A
Corrente média no indutor	5,871 A	Corrente média no diodo	2,083 A
Variação da corrente no indutor	0,294 A	Corrente máxima no diodo	6,018 A

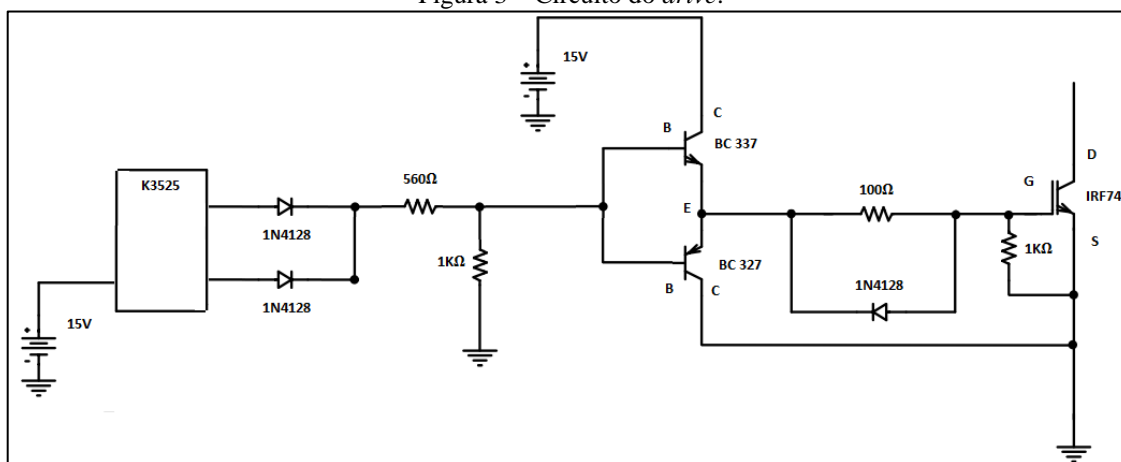
Fonte: O próprio autor.

O indutor utilizado também foi projeto pelos alunos. Para o projeto do indutor foi utilizado uma planilha no *software* Excel disponibilizada pelo professor da disciplina. Foi feito o

dimensionamento do condutor e o dimensionamento do núcleo, em seguida foi realizada a construção do indutor.

O primeiro circuito montado foi o do *drive*, responsável pelo chaveamento da chave eletrônica. Para o circuito do *drive* foi utilizado um circuito integrado K3525. A figura 3 contém o esquemático do circuito do *drive* e apresenta o modelo de cada componente presente no circuito. A figura 4 contém o *drive* desenvolvido e o conversor *buck-boost*.

Figura 3 – Circuito do *drive*.



Fonte: O próprio autor.

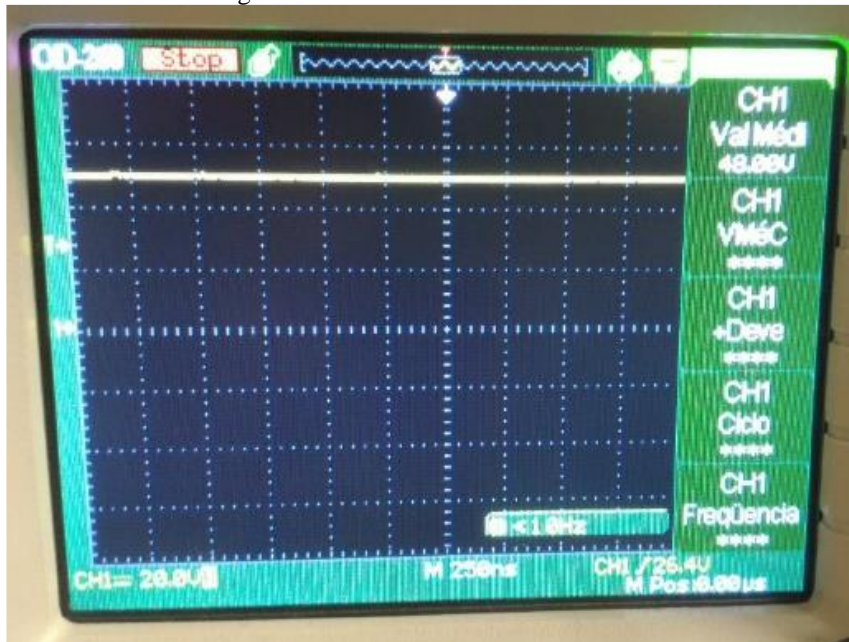
Figura 4 – Conversor CC-CC *buck-boost*.



Fonte: O próprio autor.

A tensão de saída do conversor real no valor de 48 V e contínua pode ser observada na imagem registrada do osciloscópio na figura 5.

Figura 5 – Tensão de saída do conversor.



Fonte: O próprio autor.

Para entender a relevância e impacto do projeto do conversor CC-CC na disciplina de Eletrônica de Potência do curso de Engenharia Elétrica da UFC *campus* Sobral, foi realizada uma pesquisa de caráter quantitativo para analisar como os discentes conseguem aproveitar o desenvolvimento do projeto.

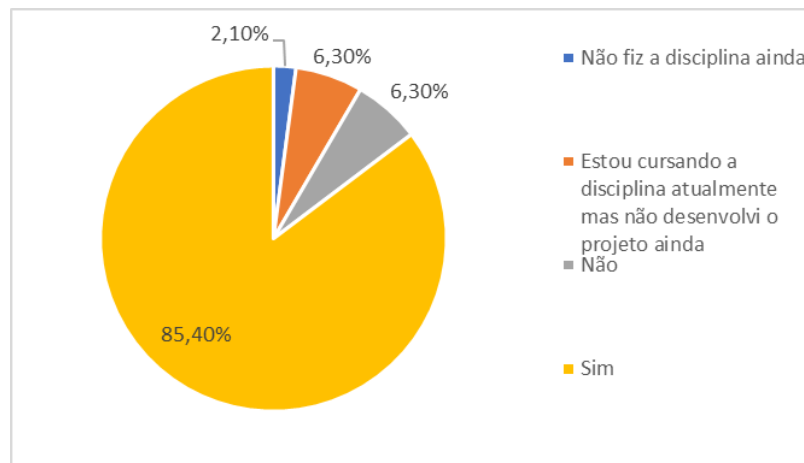
#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa foi realizada buscando entendimento a respeito da relação entre a disciplina de Eletrônica de Potência e o projeto de Conversores CC-CC. Inicialmente foi questionado o semestre em que foi cursada a disciplina e se foi realizado algum projeto de conversor no seu decorrer, obtiveram-se 48 respostas. Segundo a pesquisa, 85,1% dos alunos desenvolveu algum projeto de conversor CC-CC na disciplina de Eletrônica de Potência I. Os resultados quantitativos podem ser observados na figura 6.

Em seguida, questionou-se o quanto esse projeto ajudou na compreensão dos componentes e conteúdos abordados na disciplina como diodos, transistores, Modulação por Largura de Pulso (PWM) e dos próprios conversores CC-CC. Segundo os resultados, que podem ser observados na figura 7, observa-se que 85,37% dos alunos teve um aprimoramento de seus conhecimentos acima da média relacionado à disciplina devido o projeto.

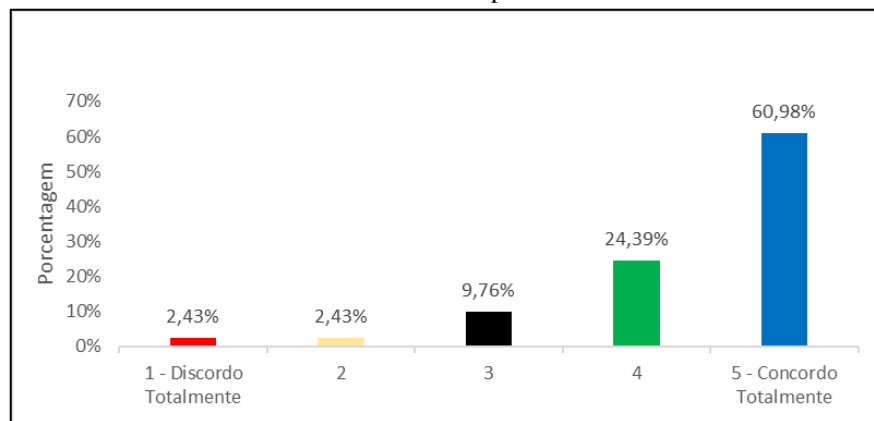
Perguntou-se, também, o quanto as práticas laboratoriais foram condizentes com a proposta de modelagem e construção dos conversores CC-CC, as respostas foram variadas e, apesar de ainda ter prevalecido a nota máxima, 56,1% dos alunos (respostas acima da média) afirmaram que as práticas laboratoriais da disciplina são condizentes com o projeto do conversor. observa-se os valores na figura 8.

Figura 6 – Você desenvolveu projeto e conversor CC-CC na disciplina de Eletrônica de Potência I?



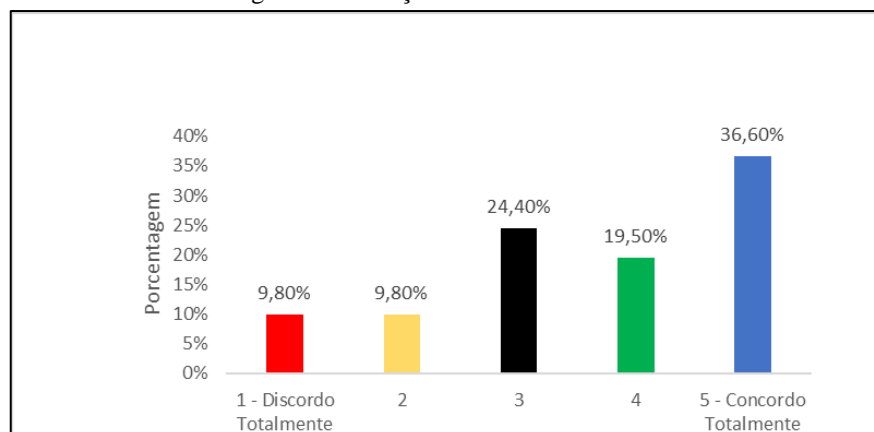
Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 7 – “O projeto ajudou na compreensão dos componentes e conteúdos abordados na disciplina...?”



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 8 – “As práticas laboratoriais foram condizentes com a proposta de modelagem e construção dos conversores CC-CC?”



Fonte: Elaborado pelos autores

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos dados obtidos pela pesquisa nota-se que o projeto de um conversor CC-CC otimiza o aprendizado da disciplina. Isso mostra a importância da execução de um projeto durante o decorrer da disciplina, já que, conforme foi mostrado nos dados, houve uma familiarização dos alunos com os componentes eletrônicos e com o modelo dos conversores.

Porém, evidenciou-se que as práticas laboratoriais não estão tão condizentes com o que propõe a ementa do curso, visto que, vários alunos as classificaram como não condizentes com a modelagem e conversão dos conversores.

## REFERÊNCIAS

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de potência**. Pearson Education do Brasil, 2008.

HART, Daniel W. **Eletrônica de potência: análise e projetos de circuitos**. McGraw Hill Brasil, 2016.

PETRY, Clóvis Antônio; BARBI, Ivo. **Introdução aos conversores CC-CC**. Florianópolis: Instituto de Eletrônica de Potência. Universidade Federal de Santa Catarina. 2001.

RASHID, Muhammad H. **Eletrônica de Potência-Dispositivos, circuitos e aplicações. Tradução de L. Abramowicz**, 2014.

SOUSA, Francisco Thales Rocha et al. Metodologia de ensino moderna orientada a projetos: modelo colaborativo de aprendizagem aplicado à disciplina de Eletrônica Digital. **Revista de Informática Aplicada**, v. 14, n. 1, 2018.

## DC-DC CONVERTER DESIGN FOR POWER ELECTRONICS DISCIPLINE: PROJECT-ORIENTED TEACHING METHODOLOGY

**Abstract:** *The design of a DC-DC converter is the final part of the discipline of power electronics. It is in this moment that the students use the theoretical and practical knowledge acquired during the course. This project contrasts with the methodology used in the discipline's laboratory classes, where students only follow predefined sets of subjects seen in the classroom. Thus, a research was carried out with the students about their experience in the modeling and implementation process of the CC-CC converters, in order to show the importance of the construction of these converters and to find out if the laboratory practices are helping the students to know and understand the components and methodologies used in the area of power electronics.*

**Key-words:** *Buck-boost converter design. Project-oriented teaching methodology. Power electronics. DC-DC converter.*