

## PLATAFORMA PARA ENSINO EXPERIMENTAL DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

Cleiton Gili – cgilinet@gmail.com  
Adriano Péres – aperes@furb.br  
Sérgio Vidal Garcia Oliveira – svgo@furb.br

FURB – Universidade Regional de Blumenau  
Departamento de Engenharia Elétrica e de Telecomunicações  
Rua São Paulo, 3250 – Itoupava Seca  
89030-080 – Blumenau – SC

**Resumo:** Neste trabalho é apresentada uma plataforma de ensino experimental para eletrônica de potência, componente curricular de cursos de Engenharia Elétrica. Com o desenvolvimento da ferramenta podem ser elaboradas atividades práticas, permitindo ao estudante vivenciar situações que não poderiam ser analisadas apenas de forma idealizada ou através de simulação numérica. O sistema desenvolvido faz uso de um microcomputador para a interface gráfica com o usuário e reconhece automaticamente a placa de circuito impresso utilizada no experimento. Mostram-se o desenvolvimento e o funcionamento para três conversores CC-CC básicos: buck, boost e buck-boost, comumente estudados em disciplinas da área.

**Palavras-chave:** Plataforma didática, conversores estáticos CC-CC, ensino de eletrônica de potência.

### 1 INTRODUÇÃO

Mesmo com o avanço da eletrônica e o oferecimento atual de kits educacionais enfrenta-se dificuldade em relação aos altos custos para se conseguir equipamentos específicos para o bom andamento das atividades experimentais. Além disso, as soluções oferecidas no mercado apresentam funções limitadas e sem versatilidade suficiente para determinadas áreas de interesse acadêmico. O desenvolvimento de experimentos geralmente é conseguido de forma improvisada, com funcionamento ineficiente e grande desperdício de tempo e materiais pelos estudantes.

Este trabalho propõe a realização do projeto de uma plataforma educacional para auxiliar nas aulas experimentais de eletrônica de potência. Esta atividade objetiva oferecer uma complementação ao aprendizado de eletrônica de potência além dos aspectos teóricos e por meio de simulações numéricas, segundo (GILI, 2009). Desta forma o estudante enfrentará situações mais completas e complexas, diferentes daquelas idealizadas, de caráter apenas teórico ou de simulação em computador, conforme (PÉRES *et al.*, 2007).

O sistema desenvolvido faz uso de um microcomputador para efetuar a interface gráfica com o usuário. Para o hardware foram desenvolvidos blocos modulares constituídos por uma placa de interface e as placas dos conversores. A placa de interface faz a conexão das demais ao computador, sendo necessária para o devido reconhecimento dos parâmetros de cada placa

de conversor utilizado. O sistema reconhece o conversor conectado a placa de interface automaticamente.

Foram desenvolvidos inicialmente três conversores CC-CC básicos não isolados: conversor abaixador (*buck*), conversor elevador (*boost*) e conversor abaixador-elevador (*buck-boost*). O hardware da plataforma está apto a comandar outros conversores como: flyback, half-bridge, full-bridge, inversor trifásico entre outros. Isto permite implementar futuras atualizações.

A interface gráfica foi totalmente escrita em linguagem C#, conferindo a plataforma desenvolvida a possibilidade de mudança de parâmetros de operação dos conversores em tempo real. Permite-se mudanças na frequência de operação dos interruptores, razão cíclica e alteração de carga, tudo via interface gráfica. Outra característica da estrutura é a possibilidade de se fazer a conversão analógica para digital de até três grandezas do conversor em operação e visualizá-las na interface gráfica (computador).

A medição dos sinais elétricos (correntes e tensões) deve ser realizada com instrumentos de medição externos, tais como multímetros e osciloscópios, exigindo dos estudantes as habilidades necessárias no manuseio desses equipamentos.

Apresenta-se uma breve explanação em relação ao funcionamento dos conversores desenvolvidos e após são apresentados o funcionamento da placa de interface, software e desenvolvimento dos protótipos. Ao final apresentam-se os resultados experimentais.

## 2 CONVERSORES CC-CC NÃO ISOLADOS

Foram desenvolvidas três placas de conversores CC-CC básicos operando em condução contínua. A seguir são apresentados os principais conceitos de funcionamento destes conversores.

### 2.1 Conversor CC-CC Abaixador de Tensão (*buck*)

Conforme ensinam (BARBI, 2000) e (POMILIO, 2011), o conversor CC-CC abaixador de tensão, também conhecido como conversor *buck*, produz um valor médio de tensão de saída inferior ao valor médio da tensão de entrada, enquanto a corrente média de saída é maior que a corrente média de entrada. Teoricamente, esse tipo de conversor é concebido de forma a possibilitar uma variação contínua de tensão média na carga desde zero até o valor da tensão de alimentação.

Na Figura 1 é mostrada a topologia básica do conversor *buck* e seu ganho estático. Na Figura 2 uma foto do protótipo desenvolvido para o conversor *buck* pode ser visualizada. Nesta figura é possível visualizar as pontes (em azul) para colocação da ponteira de medição de corrente, que foram estrategicamente alocados na placa do circuito. Também, é possível observar o relé, para o acionamento da segunda carga e o conector DB25 à esquerda, para encaixe da placa de interface.

### 2.2 Conversor CC-CC Elevador de Tensão (*boost*)

No conversor CC-CC elevador, também conhecido na literatura como conversor *Boost*, a tensão média de saída é maior que a de entrada, ou seja, a mínima tensão de saída média é, teoricamente, igual à tensão de alimentação, segundo (BARBI, 2000) e (POMILIO, 2011).

A quantidade de componentes empregada na estrutura do conversor *Boost* é basicamente a mesma do conversor *Buck*, contudo esses componentes são rearranjados de forma a se ter uma nova topologia, onde obrigatoriamente uma indutância *L* é colocada em série com a fonte de alimentação. Assim, a fonte de alimentação terá um comportamento de fonte de corrente. A carga se comporta como uma fonte de tensão.

A Figura 3 mostra a topologia básica do conversor *boost* e seu ganho estático para condução contínua, já a Figura 4 apresenta uma foto do protótipo desenvolvido. Também para o conversor *boost* previram-se as pontes (em azul) para colocação de ponteira de medição de corrente. Percebe-se, ainda, o relé para o acionamento da segunda resistência de carga e o conector DB25 à esquerda, para encaixe da placa de interface.

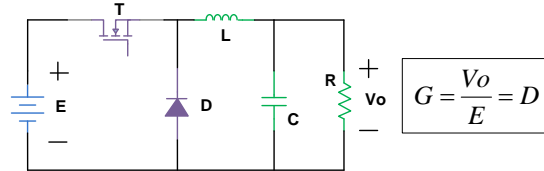


Figura 1 – Topologia e ganho estático do conversor *Buck*

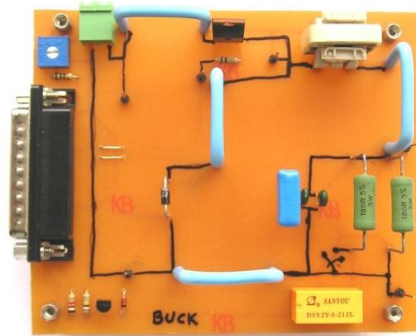


Figura 2 – Placa desenvolvida para o conversor *buck*

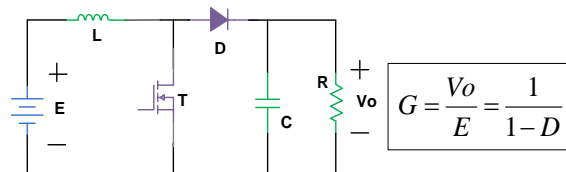


Figura 3 – Topologia e ganho estático do conversor *Boost*

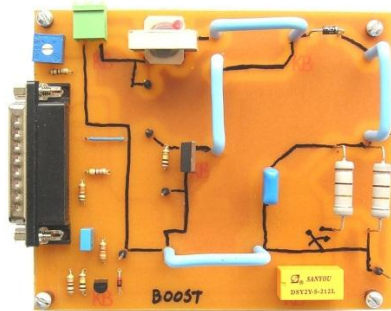


Figura 4 – Placa desenvolvida para o conversor *boost*

### 2.3 Conversor CC-CC Abaixador-Elevador (*buck-boost*)

Em muitas aplicações é comum se encontrar situações onde se deseja controlar o fluxo de potência entre carga e fonte da mesma natureza. Nessas condições a transferência de potência é feita indiretamente através da utilização de componentes acumuladores de energia.

Assim caso se deseje controlar o fluxo de energia entre uma fonte de tensão contínua e uma carga com características de fonte de tensão contínua, deve-se empregar um conversor á

acumulação indutiva, também conhecido na literatura como conversor *buck-boost*, segundo (GILI, 2009).

Este conversor caracteriza-se por ter ganho estático tanto menor quanto maior que a unidade, dependendo da razão cíclica de operação. A topologia básica do conversor *buck-boost* e seu ganho estático são mostrados na Figura 5.

Na Figura 6 é mostrado o protótipo desenvolvido do conversor *buck-boost*. Nesta figura é possível visualizar as pontes (em azul) para colocação de ponteira de medição de corrente. Pode-se observar o relé para o acionamento da segunda resistência de carga e o conector DB25 à esquerda, para encaixe da placa de interface.

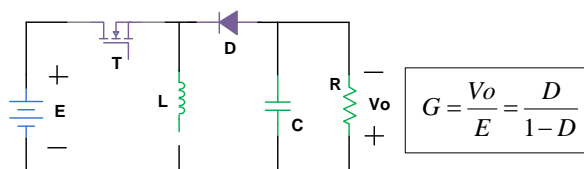


Figura 5 – Topologia e ganho estático do conversor *buck-boost*

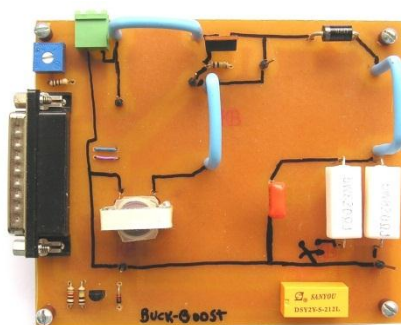


Figura 6 – Placa desenvolvida para o conversor *buck-boost*

### 3 PLACA DE INTERFACE

A placa de interface é uma parte fundamental entre o software gráfico e o hardware do conversor em estudo. A Figura 7 mostra o diagrama dos principais blocos funcionais e a Figura 8 o protótipo da placa desenvolvida, conforme (ZANCO, 2005 e 2006) e (SOUZA LAVINIA, 2006).

A placa de interface desenvolvida tem as seguintes características:

- Gerenciamento por um DSC, o DSPIC30F3010 da Microchip, indicado para controle de motores;
- Possibilidade de acionamento de até 6 MOSFETs (incluindo seu complemento);
- Leitura de até três grandezas analógicas;
- Dois pinos digitais de propósitos gerais;
- *Driver* para o protocolo RS232;
- Quatro vias para identificação do conversor conectado;
- LED para indicar se a placa está ligada, se o conversor está conectado e se a conexão com o computador está ativa.

#### 3.1 Software gráfico

O software da interface gráfica, baseado em (DEITEL, 2003) foi escrito em linguagem C# e é dedicado exclusivamente à operação da plataforma de ensino. Contando com o sistema de detecção automática do conversor, o software identifica-o e carrega o nome e a topologia

do mesmo, conforme pode ser visto na ilustração apresentada na Figura 9 para o conversor *buck*.

A alteração de parâmetros do conversor é feita diretamente no desenho da topologia do conversor apresentado na tela do computador, o que facilita o manuseio e operação por parte do estudante. Para alteração da frequência de comutação, por exemplo, basta o usuário clicar encima do item “Freq.”, e abrirá uma caixa de diálogo com as informações para esta mudança. Para alterar a carga, basta um clique sobre o desenho do relé e este passará a aparecer fechado no desenho.

A Figura 10 mostra a tela quando o software não for capaz de identificar a placa de interface, ilustrando as possíveis soluções. Já na Figura 11 é mostrada a tela quando nenhum conversor é conectado à placa de interface.

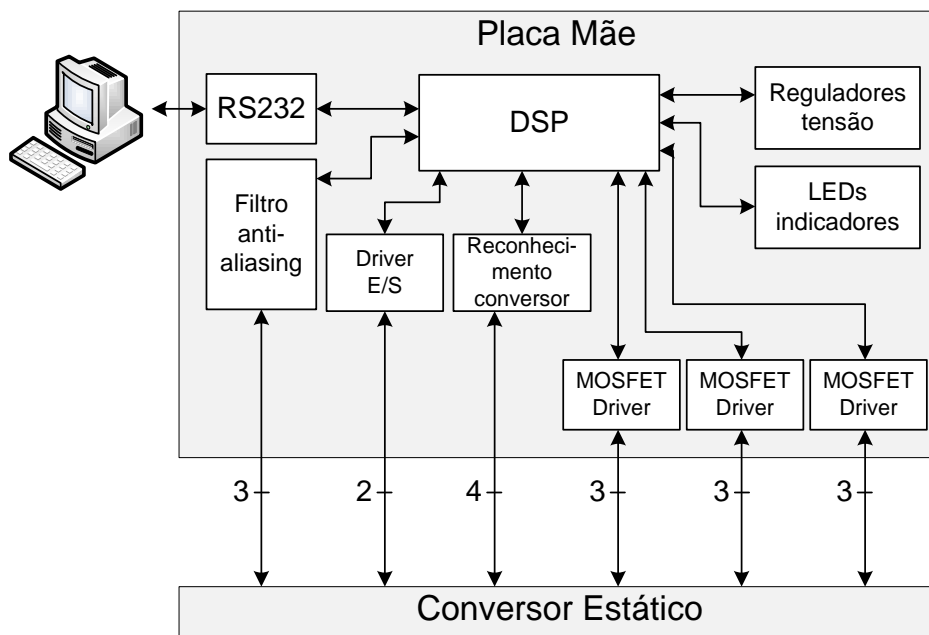


Figura 7 – Diagrama de blocos da placa de interface

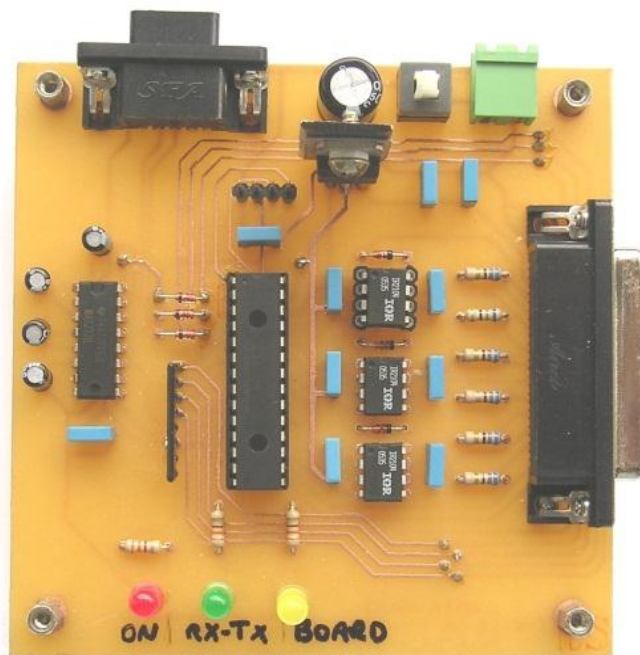


Figura 8 – Protótipo da placa de interface



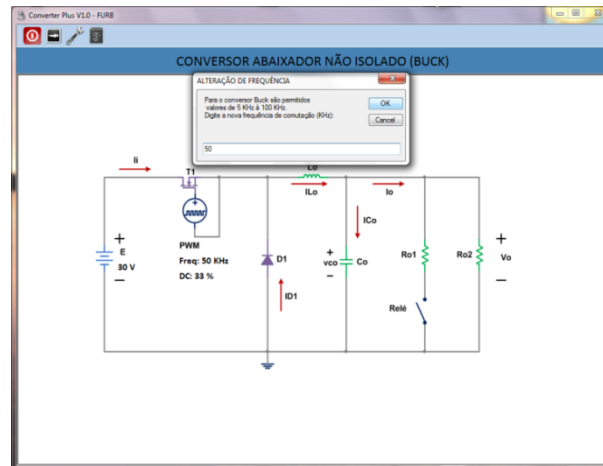


Figura 9 – Software mostrando que foi conectado o conversor *buck*

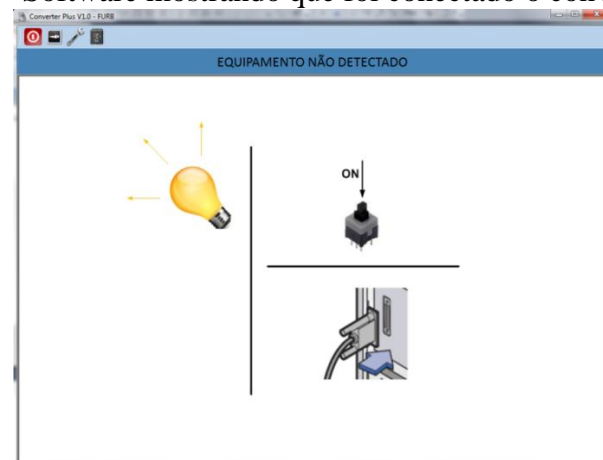


Figura 10 – Tela mostrando a não identificação da placa de interface

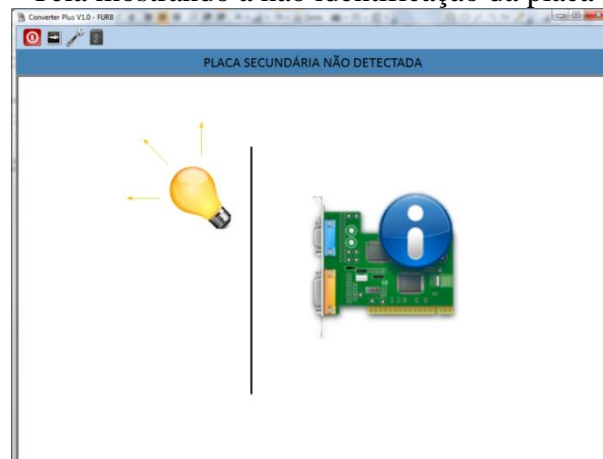


Figura 11 – Tela indicando não haver a conexão de nenhum conversor na placa de interface

### 3.2 Comunicação

A comunicação é realizada através da transferência de pacotes de 10bytes, sobre o protocolo RS232. Apesar de o barramento de comunicação aceitar transferência *full-duplex*, a transmissão é feita em forma de um loop contínuo do tipo envia e aguarda.

A comunicação sempre é iniciada pelo computador, sendo que este realiza esta operação de forma cíclica, a cada 100ms. Após a reunião de todos os dados pertinentes à placa de interface, o computador os envia na forma de um pacote de 10 Bytes. Após a recepção dos dados pelo DSP, este faz todo o processamento dos dados recebidos e atualiza seu pacote de

dados para envio para o computador. A Figura 12 mostra o fluxograma básico da transmissão de pacote de dados entre PC e DSP.

Na Figura 13 é mostrada a descrição de cada um dos Bytes dos pacotes de dados, sendo estes apresentados a seguir:

- Cod. 55 e 125: códigos para o PC e DSP se reconhecerem na transmissão;
- X: não utilizado;
- Conversor: código do conversor conectado na placa de interface;
- E/S: para acionamento dos pinos de propósito geral, por exemplo, informação para acionamento do relé de carga;
- DC: informação da razão cíclica;
- Freq.: informação da frequência de comutação;
- AN: valores das conversões analógicas para digital;
- CRC: Byte de verificação de redundância cíclica para detecção de erros de transmissão.

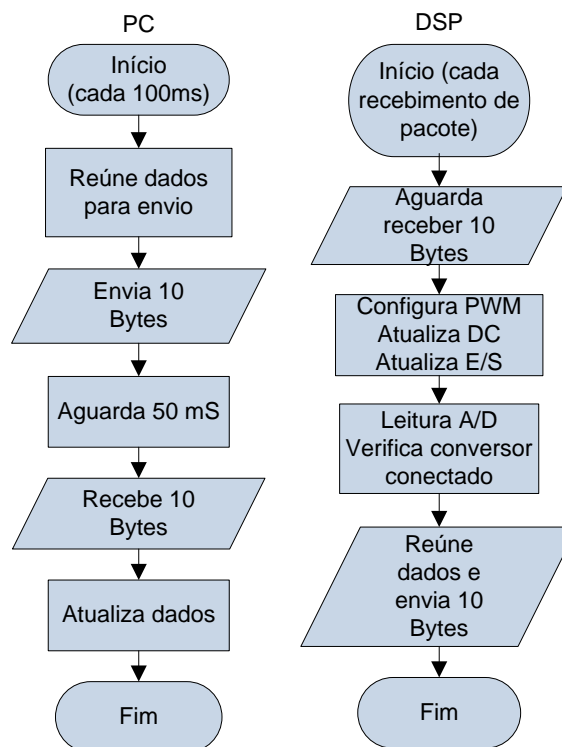


Figura 12 – Fluxograma de transmissão de pacotes

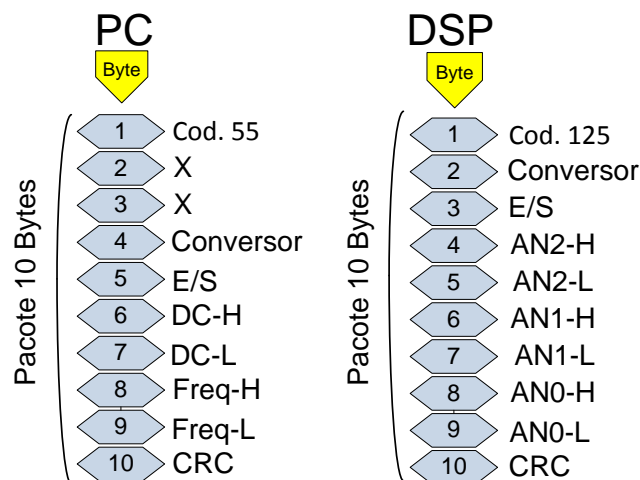


Figura 13 – Descrição dos pacotes de dados

## 4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Apesar de os conversores montados já serem muito conhecidos na literatura, duas figuras foram incluídas no trabalho a título de comprovação de funcionamento da plataforma, as Figuras 14 e 15.

A Figura 14 mostra as formas de onda para o conversor *buck* operando a 50kHz e razão cíclica de 50%. São verificadas as tensões de entrada e saída e a corrente através do indutor do filtro de saída. Os componentes deste conversor foram intencionalmente calculados para apresentar uma alta ondulação nas formas de onda, facilitando a visualização e o entendimento por parte do estudante.

Na Figura 15 são mostradas as formas de onda da corrente no indutor e sinais PWM (Modulação por Largura de Pulso) no pino do DSP (Processador Digital de Sinais) e no pino de gatilho do transistor (MOSFET). Nesta figura fica evidente o atraso entre o sinal PWM gerado e o aplicado ao transistor, permitindo ao estudante identificar esta característica prática normal na experimentação de qualquer conversor.

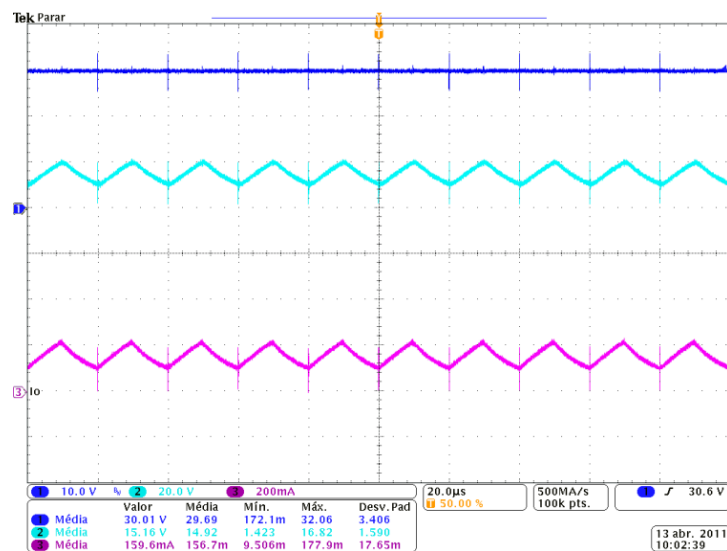


Figura 14 – Formas de onda para o conversor buck: Canal 1: tensão de entrada; Canal 2: tensão na carga; Canal 3: corrente no indutor.

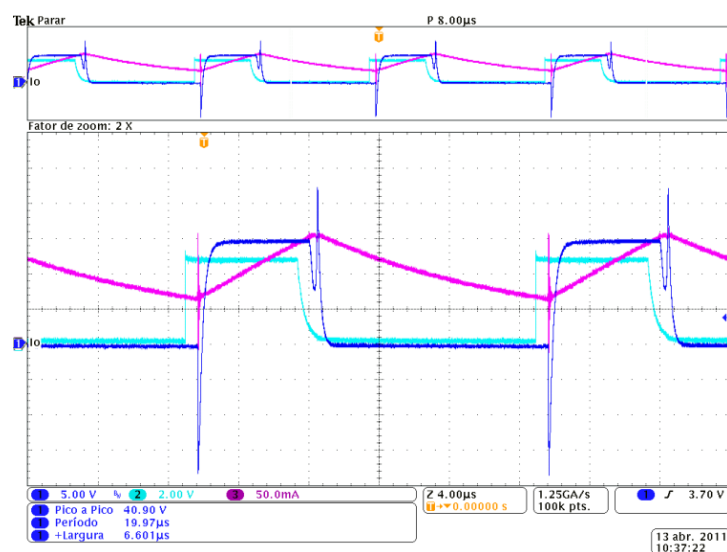


Figura 15 – Formas de onda para o conversor buck: Canal 1: tensão no gatilho do MOSFET; Canal 2: sinal PWM no pino do DSP; Canal 3: corrente no indutor do filtro de saída.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentou-se uma plataforma didática para uso experimental de conversores CC-CC não isolados. A plataforma consiste de uma placa de interface para conexão entre o computador e as placas dos conversores. Foram desenvolvidas placas para os três conversores CC-CC básicos: *buck*, *boost* e *buck-boost*. O desenvolvimento desses *kits* didáticos possibilita aos estudantes uma experimentação mais objetiva permitindo a exploração imediata dos aspectos realmente importantes sobre o tema abordado. Além disso, podem-se explorar muito mais conversores com a mesma carga horária, quando se compara ao método tradicional de montagem de protótipos.

Os estudantes têm a disposição softwares de simulação numérica para a comparação com os dados experimentais e podem explorar as diferenças entre a idealização dos conversores e sua realidade experimental.

Pequenas modificações nas placas estão sendo planejadas para que os estudantes possam alterar os componentes (indutores e capacitores) para poderem fazer projetos diferenciados.

O desenvolvimento de mais tipos de conversores está sendo executado para ampliar as possibilidades de estudos sobre conversores estáticos de potência. A plataforma é capaz de comandar tanto um interruptor quanto dois, quatro ou seis, permitindo operar conversores do tipo *push-pull*, *full-bridge*, inversor trifásico, entre outros.

Pode-se, ainda, explorar os efeitos das sobretensões sobre os semicondutores com a colocação e retirada de circuitos *snubber* e/ou grampeadores e as pulsações em altas frequências de corrente na entrada dos conversores por meio da inclusão e retirada de filtros.

## Agradecimentos

Os autores manifestam sua gratidão a Fundação CAPES e a FURB pelo suporte financeiro durante o desenvolvimento do trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS

GILI, Cleiton. **Desenvolvimento de plataforma para estudo experimental do conversor CC-CC abaixador em condução contínua com comandos digitais**. 2009. 72 f, il. Trabalho de Conclusão de Curso - (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Regional de Blumenau, Disponível em: [http://www.bc.furb.br/docs/MO/2009/339590\\_1\\_1.pdf](http://www.bc.furb.br/docs/MO/2009/339590_1_1.pdf)

PÉRES, A.; BOTTENBERG, A. L.; OLIVEIRA S. V. G. Exploring problem based learning in a multipurpose use power electronics laboratory. Anais: IX Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência. Blumenau: FURB, 2007.

BARBI, Ivo; MARTINS, Denizar Cruz. **Eletrônica de potência: conversores CC-CC básicos não isolados**. Florianópolis : Ed. dos Autores, 2000. vii, 377 p, il.

POMILIO, José Antenor. **Topologias básicas de conversores não isolados**. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/fontchav.html>>. Acesso em: 25 abril. 2011.

ZANCO, Wagner da Silva. **Microcontroladores PIC16F628A-648A: uma abordagem prática e objetiva**. São Paulo: Érica, 2005. 364 p, il.

ZANCO, Wagner da Silva. **Microcontroladores PIC: técnicas de software e hardware para projetos de circuitos eletrônicos com base no PIC16F877A**. São Paulo: Érica, 2006. 390 p, il.

SOUZA, David José de; LAVINIA, Nicolás César. **Conectando o PIC 16F877A: recursos avançados**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2006. 380 p, il.

DEITEL, Harvey M. **C++ como programar**. São Paulo: Pearson Education, 2003. xliii, 1153p, il, CDRom.

## AN EXPERIMENTAL TEACHING PLATFORM WITH GRAPHIC INTERFACE FOR POWER ELETRONICS

**Abstract:** *In this work it is presented an experimental teaching platform for power electronics, curricular component of electrical engineering courses. With the development of the tool can be compiled practical activities, allowing the student to experience situations that could not be analyzed only idealized manner or through numerical simulation. The developed system makes use of a microcomputer to the graphical user interface and automatically recognizes the printed circuit board used in the experiment. It is shown the development and operation for three basic DC to DC converters: buck, boost, and buck-boost, commonly studied in disciplines from this area.*

**Key-words:** *Didactic platform, DC to DC static converters, power electronics teaching.*