



## Instrumentação modular de medição de sinais elétricos para conversores de energia

### Modular instrumentation for measuring electrical signals for power converters

Pedro Henrique Gomes Rodrigues<sup>1</sup>, Prof. Dr. Cassius Rossi de Aguiar<sup>2</sup>

#### RESUMO

Tendo em vista a atual demanda pelo uso de fontes alternativas de energia e o emprego elevado de veículos elétricos, o estudo e controle de conversores de energia é de grande relevância. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), as energias renováveis devem desempenhar um papel central no crescimento da oferta mundial de eletricidade até 2025. Desta forma, desenvolvimento de sistemas embarcados para o controle e gerenciamento de conversores eletrônicos é de suma importância. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma plataforma de medidas elétricas para o controle de conversores eletrônicos de energia que, por meio do sistema de instrumentação e processamento digital, será capaz de regular e aplicar diferentes técnicas de controle e gerenciamento. A plataforma é composta por módulos de medição de tensão e corrente e por um processador de sinais digitais. Tais módulos possuem 3 etapas: leitura, ajuste e filtragem do sinal. A plataforma desenvolvida é uma contribuição importante para o avanço da tecnologia de conversores eletrônicos de energia. A plataforma pode ser utilizada em diversos sistemas, como sistemas de energia renovável, veículos elétricos e sistemas de automação industrial. **PALAVRAS-CHAVE:** Controle. Corrente. Instrumentação. Modular. Tensão.

#### ABSTRACT

Considering the current demand for the use of alternative energy sources and the widespread use of electric vehicles, the study and control of energy converters are of great significance. According to the International Energy Agency (IEA), renewable energies are expected to play a central role in the growth of the global electricity supply by 2025. Thus, the development of embedded systems for the control and management of electronic converters is of paramount importance. In this context, the aim of this work is to develop an electrical measurement platform for the control of electronic energy converters that, through the instrumentation and digital processing system, will be capable of regulating and applying different control and management techniques. The platform consists of voltage and current measurement modules and a digital signal processor. These modules have three stages: signal reading, adjustment, and filtering. The developed platform is a significant contribution to the advancement of electronic energy converter technology and can be used in various systems, such as renewable energy systems, electric vehicles, and industrial automation systems.

**KEYWORDS:** Control. Current. Instrumentation. Modular. Voltage.

<sup>1</sup> Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: pedrorodrigues.2020@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 6790422044489524.

<sup>2</sup> Docente no Curso de Engenharia de Computação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: cassiusaguiar@utfpr.edu.br. ID Lattes: 2524525569223640.

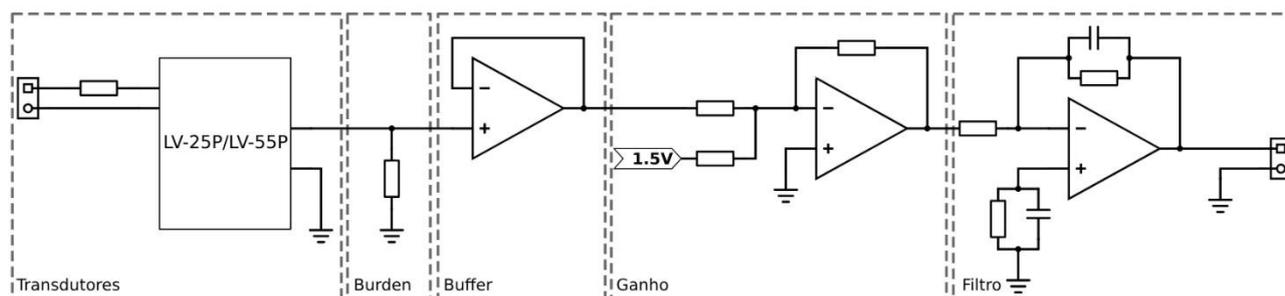
## INTRODUÇÃO

Diante da crescente demanda por fontes alternativas de energia e do aumento significativo de veículos elétricos, o estudo e controle de conversores de energia assumem uma relevância cada vez maior. As projeções da Agência Internacional de Energia (IEA) indicam que as energias renováveis devem dominar a maior parcela do crescimento da oferta global de eletricidade até 2025 (IEA, 2023). Nesse contexto, torna-se imperativo o desenvolvimento de sistemas embarcados capazes de controlar e gerenciar conversores eletrônicos de energia. O presente trabalho tem como objetivo central o desenvolvimento de uma plataforma de medidas elétricas para o controle de conversores eletrônicos de energia. Esta plataforma, empregando técnicas de instrumentação e processamento digital, será capaz de regular e aplicar diversas estratégias de controle e gerenciamento em conversores de energia. Dentro do escopo deste projeto, a ênfase está no desenvolvimento de módulos de medição de tensão e corrente, bem como na implementação de um processador de sinais digitais (DSP). Além disso, busca-se desenvolver estratégias de controle que visam maximizar o desempenho dos conversores eletrônicos. A avaliação das propostas deste projeto será realizada por meio de uma série de cenários empregando a plataforma experimental, com o intuito de definir os limites operacionais e o comportamento dinâmico dos sistemas sob análise. A plataforma desenvolvida não se restringe a um único setor, podendo ser aplicada em diversas áreas, incluindo sistemas de energia renovável, veículos elétricos e automação industrial.

## MÉTODOS

A plataforma de medição elétrica é constituída por módulos destinados à aferição de sinais de corrente e tensão. Esses módulos, por sua vez, são circuitos que empregam sensores de efeito Hall como seu componente central. Além disso, etapas de ganho e filtragem compõe os módulos, com o objetivo de adequar os sinais para serem utilizados por processadores de sinais digitais. Portanto, está previsto que diversas técnicas de controle sejam integradas ao microcontrolador C2000 da Texas Instruments, o qual será responsável por gerar os sinais de controle destinados aos conversores de energia. É proposta a utilização de um circuito, conforme ilustrado na Figura 1, o qual, pode ser empregado para efetuar medições tanto de tensão como de corrente.

Figura 1 - Esquemático do circuito de medição



Fonte: Autoria Própria (2023).

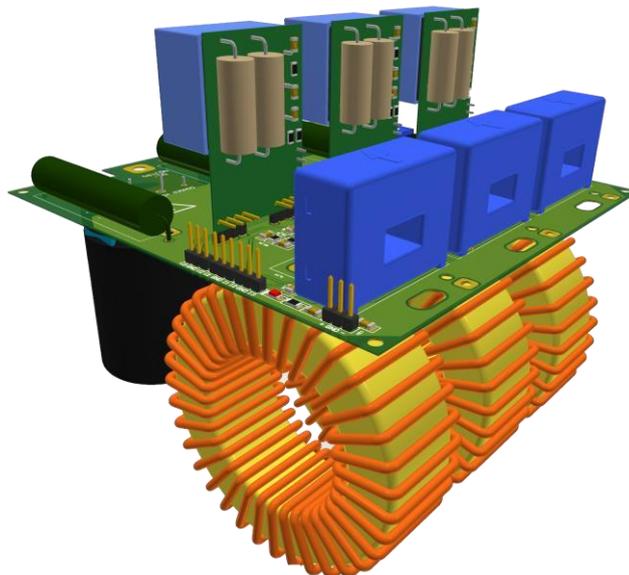


Este circuito é composto por uma série de etapas para assegurar medições elétricas precisas. Inicialmente, os transdutores LV-25P e LV-55P são acionados, desempenhando um papel crucial na medição precisa de tensão e corrente, respectivamente. Esses dispositivos operam com base em princípios de transformação eletromagnética, convertendo os sinais elétricos originais em sinais de saída proporcionais. Após a obtenção desses sinais, o resistor de Burden assume um papel fundamental. Uma vez que os transdutores geram correntes proporcionais aos sinais medidos, o resistor de Burden impõe uma carga sobre essas correntes, resultando em quedas de tensão proporcionais, possibilitando a determinação do valor da tensão de saída de acordo com a resistência aplicada. Visando proteger os transdutores, um buffer é inserido no circuito. Esta configuração aproveita as características de alta impedância de entrada dos amplificadores operacionais para isolar eletricamente os transdutores do restante do circuito, evitando sobrecargas e garantindo a integridade dos transdutores. Em seguida, é aplicado um ganho aos sinais de corrente alternada, deslocando-os para alternar no eixo de 1.5V, uma vez que os processadores de sinais digitais não processam sinais negativos. Para evitar interferências e ruídos de frequências indesejadas, um filtro para altas frequências é introduzido no circuito. Este filtro passa-baixa é projetado para permitir a passagem de sinais de baixa frequência, enquanto atenua as de alta frequência que podem introduzir imprecisões nas medições. A plataforma de instrumentação modular foi desenvolvida fazendo uso do software Altium Designer. Este ambiente de design eletrônico desempenhou um papel crucial no processo de criação da placa, permitindo a integração eficiente de componentes e circuitos essenciais para atingir os objetivos de funcionalidade e desempenho. O Altium Designer possibilitou a elaboração de esquemáticos detalhados, o layout da PCB (Placa de Circuito Impresso), o roteamento das trilhas e a realização de verificações do projeto.

## RESULTADOS

Os componentes selecionados foram cuidadosamente escolhidos para assegurar a precisão das medições. O planejamento e a execução do roteamento das trilhas foram realizados com o intuito de minimizar potenciais interferências eletromagnéticas, preservando, assim, a integridade dos sinais. A placa é composta por três módulos independentes de medição de tensão e corrente, permitindo o monitoramento simultâneo de grandezas elétricas. Os ensaios conduzidos tanto em simulação quanto em ambiente de laboratório forneceram uma avaliação abrangente do desempenho do módulo de corrente. Os resultados obtidos durante esses testes corroboraram de maneira satisfatória as expectativas previamente estabelecidas para o dispositivo. Vale destacar que os experimentos realizados em laboratório no módulo de corrente contaram com uma proporção de 1 ampere para 100 milivolts, e um teste específico com uma corrente de 8 amperes foi realizado. Essa concordância entre as expectativas e os resultados obtidos ressalta a confiabilidade do módulo de corrente em seu contexto de aplicação.

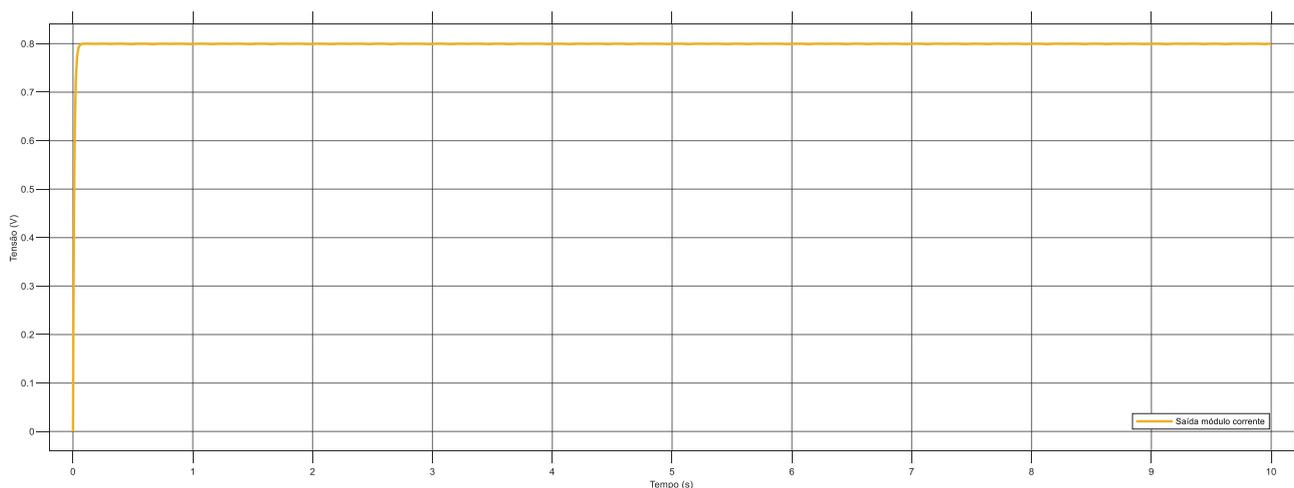
Figura 2 - Modelo 3D da placa de circuito impresso



Fonte: Autoria Própria (2023).

Os resultados da simulação foram alcançados utilizando o software Simulink. Para a simulação, uma corrente de 8 amperes foi empregada como entrada, resultando em uma tensão de saída de 800 mV.

Figura 3 - Resultado em ambiente de simulação



Fonte: Autoria Própria (2023).

Os resultados obtidos em laboratório foram obtidos por meio da configuração de uma fonte de corrente ajustada para fornecer 8 amperes. Como resultado, foi registrada uma tensão de saída de 800 mV. A Figura 4, apresentada a seguir, representa uma captura de tela do osciloscópio, onde o

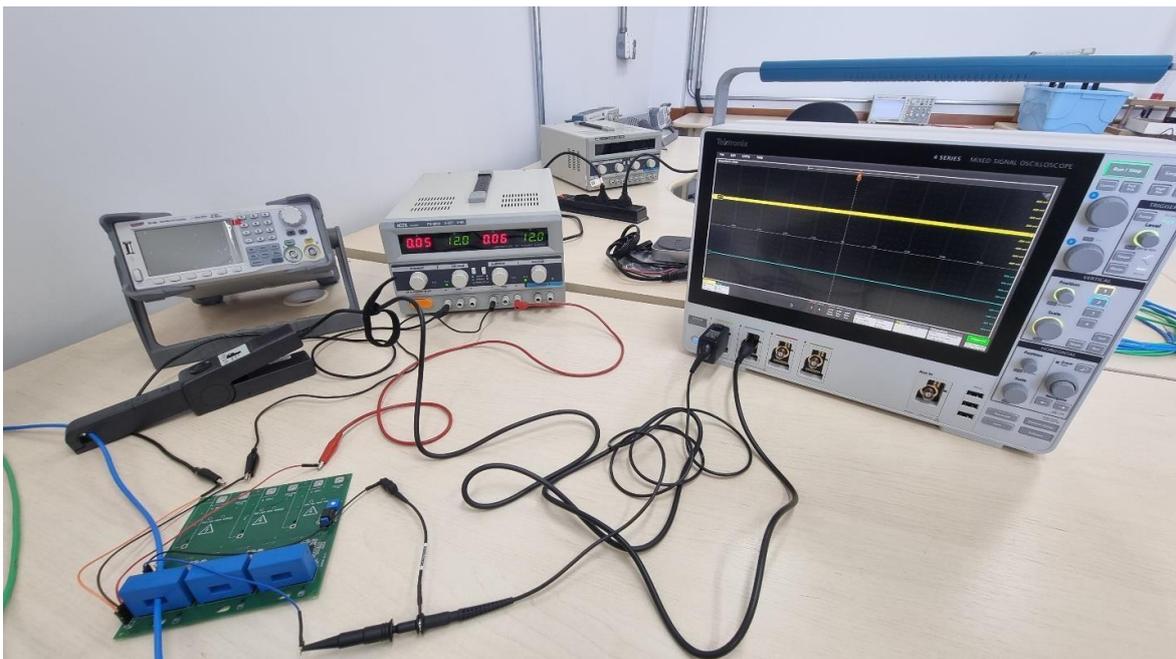
sinal em amarelo corresponde à plataforma de medição desenvolvida, enquanto o sinal em azul representa uma ponteira de medição de corrente utilizada como referência. A Figura 5, por sua vez, apresenta a bancada onde os testes foram realizados, oferecendo uma visão geral do ambiente experimental utilizado na obtenção dos dados.

Figura 4 - Resultado em ambiente de laboratório



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 5 - Visão geral da bancada



Fonte: Autoria própria (2023).



## Conclusão

Neste trabalho, foi apresentado uma plataforma modular de medidas elétricas que passou por testes em simulação e laboratório, revelando resultados consistentes com as expectativas. A plataforma é composta por módulos de corrente e de tensão. Os resultados dos testes demonstraram que a plataforma é capaz de fornecer medidas que estão dentro dos limites de precisão especificados. As próximas etapas de desenvolvimento incluem refinamentos nos filtros, a integração do módulo de medição de tensão e a adição de um processador de sinais digitais. Essas melhorias têm o potencial de aumentar a confiabilidade das leituras, além de permitir que a plataforma seja utilizada em aplicações mais complexas. O desenvolvimento da plataforma modular de medidas elétricas representa um avanço significativo na área de medidas elétricas. A plataforma tem o potencial de ser utilizada em uma ampla gama de aplicações, desde aplicações de laboratório até aplicações industriais.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela participação no Programa de Iniciação Científica e Tecnológica (2022/2023) do acadêmico Pedro Henrique Gomes Rodrigues.

## Conflito de interesse

“Não há conflito de interesse”.

## REFERÊNCIAS

DE AGUIAR, Cassius Rossi. **Contribuição ao gerenciamento e controle de células a combustível e armazenadores de energia para a operação em geração distribuída**. Universidade de São Paulo, 2016.

LEM INTERNATIONAL SA. **Current Transducer LA 55-P**. [S.I.], set. 2018. Rev. 17.  
LEM

INTERNATIONAL SA. **Voltage Transducer LV 25-P**. [S.I.], jul. 2021. Rev. 20.  
TEXAS

INSTRUMENTS. **OPAx322x 20-MHz, Low-Noise, 1.8-V, RRI/O, CMOS Operational Amplifier With Shutdown**. [S.I.], jan. 2011. Rev. 16.

**Low-emissions sources are set to cover almost all the growth in global electricity demand in the next three years**. Disponível em:

**XIII Seminário de Extensão e Inovação**  
**XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR**

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão  
20 a 23 de novembro de 2023 - *Campus Ponta Grossa, PR*



**SEI-SICITE**  
2023



<<https://www.iea.org/news/low-emissions-sources-are-set-to-cover-almost-all-the-growth-in-global-electricity-demand-in-the-next-three-years>>.