

Luan da Silva Balbino

**Relatório de Estágio Supervisionado LEIAM-
Laboratório de Eletrônica Industrial e
Acionamento de Máquinas**

Campina Grande, Brasil

16 de dezembro de 2020

Luan da Silva Balbino

Relatório de Estágio Supervisionado LEIAM- Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas

Relatório de estágio supervisionado submetido Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

Orientador: Jaidilson Jó da Silva, D. Sc.

Campina Grande, Brasil
16 de dezembro de 2020

Luan da Silva Balbino

Relatório de Estágio Supervisionado LEIAM- Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas

Relatório de estágio supervisionado submetido Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado em: / /

Jaidilson Jó da Silva, D. Sc.
Orientador

**Gutemberg Gonçalves dos Santos
Júnior, D. Sc.**
Convidado

Campina Grande, Brasil
16 de dezembro de 2020

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Lucivânia da Silva Balbino e Luiz Julio Balbino, pelo apoio de sempre.

Agradeço a Luana, minha namorada, pela compreensão e por sempre estar comigo em todas as ocasiões durante esses anos de curso.

Agradeço ao professor Jaidilson por aceitar realizar a orientação deste trabalho, ao professor Gutemberg pelas incontáveis vezes que se dispôs a me ajudar nas burocracias envolvidas na consolidação deste estágio, nas condições atuais de pandemia.

Agradeço ao Virtus como um todo, pela oportunidade da vivência em um ambiente profissional e especialmente à equipe que compõe diretamente o projeto, por todos os conhecimentos compartilhados comigo diariamente e pela contribuição para minha formação.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama de um Conversor Monofásico	4
Figura 2 – Fotografia do Osciloscópio Keysight DS0X4034A	5
Figura 3 – Fotografia da Fonte controlada Bidirecional ITECH IT6000C	6
Figura 4 – Fotografia do equipamento de Aquisição de dados - CDAQ	7
Figura 5 – Fotografia CDAQ montado	7
Figura 6 – Representação da tela de Acesso e Monitoramento	8
Figura 7 – Diagrama de sistema para teste HIL	9
Figura 8 – Representação das telas do osciloscópio e CCS	10
Figura 9 – Fotografia das conexões da placa com o simulador	10
Figura 10 – Diagrama do circuito RL controlado via LaunchPad	11
Figura 11 – Representação do blocos de conexão	12
Figura 12 – Representação da tensão Osciloscópio - 5A na carga	13
Figura 13 – Representação de alteração das variáveis no CCS - 5A	13
Figura 14 – Representação da tensão Osciloscópio - 10A na carga	14
Figura 15 – Representação de alteração das variáveis no CCS - 10A	14
Figura 16 – Fotografia da LaunchPad F28379D	15
Figura 17 – Fotografia do OP4500 Series 400	16

Lista de abreviaturas e siglas

ADC	Analog to Digital Converter
CCS	Code Composer Studio
CDAQ	Compact Data Acquisition
CEEI	Centro de Engenharia Elétrica e Informática
DAC	Digital to Analog Converter
IDE	Integrated Development Environment
HIL	Hardware in the Loop
ISO	International Organization for Standardization
ISTQB	International Software Testing Qualifications Board
LEIAM	Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas
QA	Quality Assurance
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	O LABORATÓRIO - LEIAM	2
3	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	3
3.1	Caracterização de Conversores	3
3.1.1	Osciloscópio	5
3.1.2	Fonte IT6000C	6
3.1.3	DAQ	7
3.2	Estudo de desenvolvimento para <i>Hardware in the Loop</i>	8
3.2.1	Placa de Desenvolvimento	14
3.2.2	Simulador em Tempo Real	15
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
	REFERÊNCIAS	18

1 Introdução

Neste relatório são apresentadas as atividades desenvolvidas pelo aluno Luan da Silva Balbino no Estágio Supervisionado, realizado no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM), localizado no Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), durante o período que compreende 01/09/2020 a 13/11/2020. As atividades ocorreram no âmbito de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento do Virtus. O estágio foi realizado sob orientação do professor Jaidilson Jó da Silva, bem como supervisão do professor Alexandre Cunha Oliveira.

A execução da disciplina de estágio (Supervisionado ou Integrado) é uma atividade de caráter obrigatório na estrutura curricular para alunos do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Campina Grande. De forma geral, esta oportunidade busca disponibilizar ao aluno a possibilidade de aplicar os conceitos teóricos aprendidos durante a execução do curso, estar em contato com profissionais da área de atuação que a atividade se propõe e adquirir novos conhecimentos práticos que serão posteriormente requeridos no ambiente de mercado de trabalho.

O Virtus é um Núcleo de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Tecnologia da Informação, Comunicação e Automação, se caracterizando como um órgão complementar da Universidade Federal de Campina Grande, especificamente do Centro de Engenharia Elétrica e Informática (CEEI).

As atividades contemplam um total de 211 horas, divididas em carga horária de 20 horas semanais, onde o estagiário realizou atividades presenciais nas instalações do Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM). Também listam-se atividades do mesmo projeto ocorridas no Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva (Embedded - Bloco CG), devido aos equipamentos necessários estarem alocados fora do LEIAM.

A atuação do estagiário durante o período em questão esteve vinculada ao cargo de analista de qualidade, com a realização de atividades de criação de planos e especificação de testes, execução de ensaios em *hardware* desenvolvido, escrita de relatórios de *report* de resultados e estudo para implementação de soluções de *Hardware in the loop*. No capítulo 2 é apresentada, de forma breve, uma visão acerca do laboratório LEIAM, onde ocorreu a realização do estágio.

2 O laboratório - LEIAM

Criado no ano de 1976, o Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM), local escolhido para realização do presente estágio, está localizado no bloco CH da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e pertence ao Departamento de Engenharia Elétrica (DEE). Dentre as linhas de pesquisa do LEIAM, podem-se destacar: Eletrônica de Potência, Qualidade de Energia, Acionamentos de Máquinas, Conversores Estáticos e Sistemas Embarcados, além de execução de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento atrelado a empresas. O laboratório possui como Coordenador atualmente o Professor Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa.

No capítulo seguinte são abordadas as atividades realizadas pelo estagiário.

3 Atividades Desenvolvidas

Dentro do contexto do projeto, o estagiário trabalha envolvido com os processos de manutenção de qualidade em Hardware. Tais atividades, no que diz respeito aos conceitos utilizados, são executadas com base em normas como a ISO 25010, que define procedimentos para qualidade voltadas para desenvolvimento de *software* e a documentação padrão do ISTQB (International Software Testing Qualifications Board). Logo, a cada projeto, faz-se necessária uma avaliação de como os conceitos que contemplam a qualidade do produto de *software* desenvolvido podem ser transpostos para aplicações de *Hardware*. Juntamente com a execução destas atividades, o estagiário foi um dos responsáveis pela manutenção dos registros na plataforma de gerenciamento de projetos do Virtus (Turmalina), escrevendo especificações e planos de teste, registrando execuções, resultados e *bugs*.

Devido ao caráter de confidencialidade presente em cláusulas contratuais, as atividades listadas neste relatório são descritas em alto nível.

3.1 Caracterização de Conversores

Durante o estágio, uma das atribuições do aluno foi a realização de ensaios para caracterização de conversores de potência CA-CC. Tais ensaios são relevantes pelo fato de que, por meio deles, é possível averiguar as características do equipamento, no que diz respeito ao funcionamento adequado, além de possibilitar medidas de performance e registro de comportamentos incorretos ou inesperados, na plataforma de gerenciamento e acompanhamento de projetos da empresa. A atividade tem por objetivo verificar métricas relacionadas a presença de distorções harmônicas, fator de potência e eficiência, de forma a permitir comparar equipamentos distintos, sob o ponto de vista técnico.

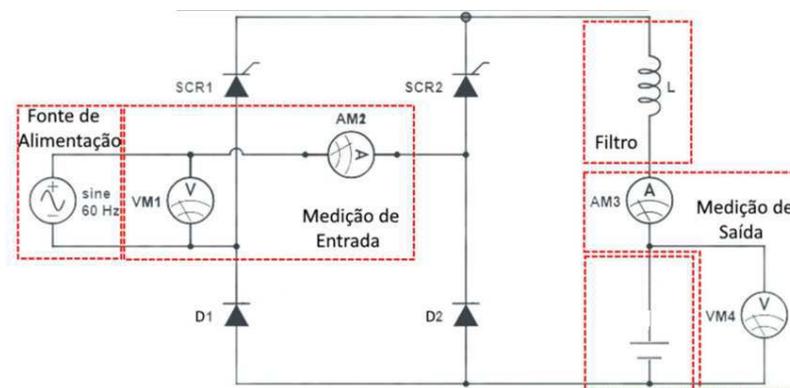
O *setup* utilizado conta com equipamentos de aquisição de dados, osciloscópios, medidores de qualidade de energia (para fins de redundância), conversor de potência, banco de cargas, multímetros e alicates amperímetros, sendo estes listados em seções posteriores.

Para coleta dos resultados, selecionaram-se pontos de medições estratégicos para monitoramento das grandezas elétricas de entrada do equipamento (CA) e das grandezas contínuas (CC), avaliadas nos terminais da carga em questão, durante a execução de perfis de carregamento. As definições de perfis distintos de carga tiveram como motivação a necessidade de uma varredura em diferentes pontos de operação do equipamento, para isso, fez-se o uso de um *software* próprio da aplicação, de modo a ajustar dos limites

operacionais desejados para o ensaio.

Inicialmente, realizaram-se os ensaios para caracterização de um conversor monofásico semi-controlado. O conversor foi conectado a rede do laboratório e a partir do *software* de configuração (comunicação via serial RS-232) foram realizados os comandos para início das etapas de conversão. Em sua saída, posicionou-se um conjunto de cargas de característica não linear (banco de baterias), conforme representação mostrada na Figura 1. Com esta configuração, foram executados diversos planos de carregamento, com alterações nos níveis de tensão aplicados no barramento CC e correntes impostas.

Figura 1 – Diagrama de um Conversor Monofásico



Fonte: Acervo do projeto.

Este tipo de ensaio demanda um tempo de execução considerável, visto que as modificações de configurações de carga são realizadas manualmente, além das cargas possuírem perfil de descarga lento, impossibilitando muitas execuções consecutivas. No total, realizaram-se cerca de 20 cenários distintos, ao se variar correntes impostas e quantidade de baterias conectadas ao conversor.

Após a obtenção dos arquivos .csv, o estagiário foi responsável por elaborar um *script* para tratamento dos dados, visto que notou-se durante os ensaios que a natureza não senoidal das grandezas envolvidas, acarretava erros no processamento e cálculo diretamente via osciloscópio. Para solucionar isto, implementou-se um algoritmo que realizava a separação das componentes harmônicas dos sinais no tempo (tensões e correntes), para posteriormente serem obtidos os valores de potência correspondentes a cada harmônica presente, além de outras métricas, seguindo o procedimento presente na norma IEEE 1459, que prevê o cálculo de potência para condições não senoidais de operação. Para esta atividade, optou-se por utilizar o conceito da Transformada Janelada de Fourier, obtendo a representação temporal das harmônicas e posteriormente realizando o cálculo da defasagem entre os sinais. Todo o processo foi realizado no ambiente de cálculo numérico Matlab.

O procedimento foi repetido para um conversor trifásico, com algumas modificações de *setup* necessárias, dada a limitação da instrumentação para monitorar simultaneamente duas fases adicionais, além da perda do sincronismo entre as leituras. Para contornar tal situação, fez-se o uso de um equipamento de aquisição de dados, disponibilizado no laboratório, integrado aos ambientes Simulink e LabView, que permitiu o registro dos sinais de tensão e corrente, sem a necessidade do osciloscópio inicialmente utilizado. Por meio deste equipamento (DAQ - National Instruments), também foi possível replicar o processamento matemático anteriormente implementado no matlab, provendo os resultados de performance para fins de comparação dos equipamentos. Desta forma, para que ambos os ensaios possam ser equiparados, foi realizada uma nova bateria de ensaios com o conversor monofásico, para garantir que as condições de ambiente fossem compatíveis.

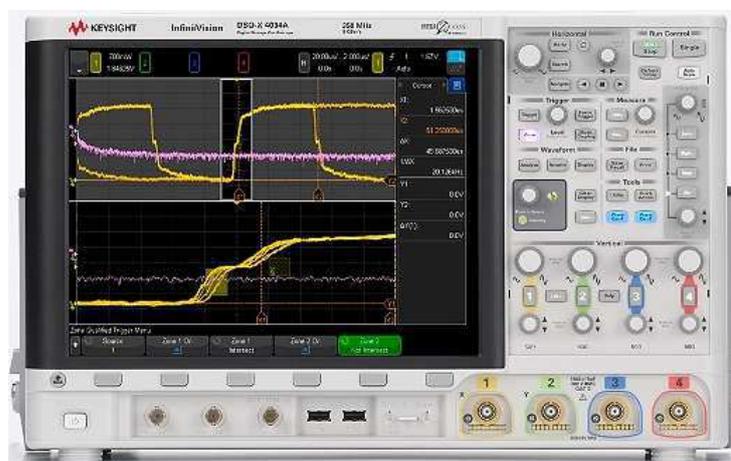
Como resultado, a partir do *script* e da segunda bateria de ensaios, foi possível observar as métricas de desempenho dos conversores, para posterior avaliação de parâmetros base de comparação, cumprimento de requisitos funcionais e não funcionais, elaboração dos relatórios de execução e *report* às partes interessadas. Faz-se importante salientar que este tipo de teste é baseado em comportamentos do sistema, derivados de requisitos formais, logo, a técnica empregada classifica-se como Caixa-Preta.

Nas seções a seguir, são listados alguns dos equipamentos necessários durante a atividade, bem como as contribuições e limitações de cada caso.

3.1.1 Osciloscópio

Um dos osciloscópios utilizados para captura dos sinais provenientes dos ensaios foi um DSOX4034A de 4 canais/350 MHz, da fabricante Keysight Technologies. O equipamento é mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Fotografia do Osciloscópio Keysight DS0X4034A



Fonte: Site do Fabricante.

Para cada ensaio realizado, com variados níveis de corrente impostos na carga, foram necessários ajustes individuais nas escalas do equipamento, para permitir a melhor resolução dos dados, além da desmagnetização das pontas de prova utilizadas.

Apesar do equipamento prover funcionalidades para realização de diversas medições em tempo de execução (incluindo medições de potência), devido as características dos sinais elétricos presentes, optou-se em conjunto com os envolvidos, por realizar o registro e exportação dos resultados em formato .bin e .csv para posterior tratamento no ambiente computacional Matlab. Foram conectadas ao conversor 4 pontas de prova isoladas (tensões e correntes).

Para a utilização em ensaios com equipamentos monofásicos, este osciloscópio apresentou recursos suficientes, visto a disponibilidade de 4 canais de aquisição, contemplando medições de entrada e saída. Entretanto, quando o ensaio se destinava a caracterizar conversores trifásicos, a limitação da instrumentação presente forçou a inserção de um outro sistema de aquisição de dados adicional (DAQ).

3.1.2 Fonte IT6000C

Durante a realização dos ensaios, de forma a viabilizar em menor tempo a disponibilidade das cargas para novo uso, utilizou-se uma fonte controlada DC Bidirecional ITECH, responsável por drenar correntes controladas durante o processo de descarga de bancos de baterias. Outras utilizações do equipamento dizem respeito a imposição de níveis de tensão para barramento de conversores CA-CC, além do uso para auxiliar processos de calibração de sensores. A fonte disponibiliza ainda a funcionalidade de geração de formas de onda e simulação de baterias, permitindo a definição de parâmetros dinâmicos da carga. Na Figura 3 mostra-se uma imagem do equipamento em questão, que tem capacidade de oferecer até 2250V e 2040A em sua saída .

Figura 3 – Fotografia da Fonte controlada Bidirecional ITECH IT6000C



Fonte: site do fabricante.

3.1.3 DAQ

Para realização de medições (CA e CC), durante os ensaios com conversores trifásicos, fez-se o uso de um equipamento de aquisição da National Instruments. O CDAQ-9184 utilizado, presente nas Figuras 4 e 5, trata-se de uma estrutura (chassi) cuja conexão e envio dos dados é realizada via USB ou ETHERNET ao computador do usuário. No DAQ, slots de aquisição podem ser conectados as pontas de medições das grandezas a serem monitoradas, onde internamente ocorre a conversão por meio de ADC's, permitindo a obtenção dos dados. O equipamento atualmente conta com 4 módulos, porém, somente dois deles foram utilizados para aquisição de tensões e correntes. O monitoramento dos resultados são obtidos via integração do CDAQ com o programa LABVIEW, por meio da interface gráfica mostrada na Figura 6, construída para o processo dos testes e que permite a visualização dos dados durante a execução.

Figura 4 – Fotografia do equipamento de Aquisição de dados - CDAQ



(a) Chassi DAQ



(b) Módulos disponíveis

Fonte: o próprio autor.

Figura 5 – Fotografia CDAQ montado



Fonte: o próprio autor.

Figura 6 – Representação da tela de Acesso e Monitoramento



Fonte: Acervo do projeto.

3.2 Estudo de desenvolvimento para *Hardware in the Loop*

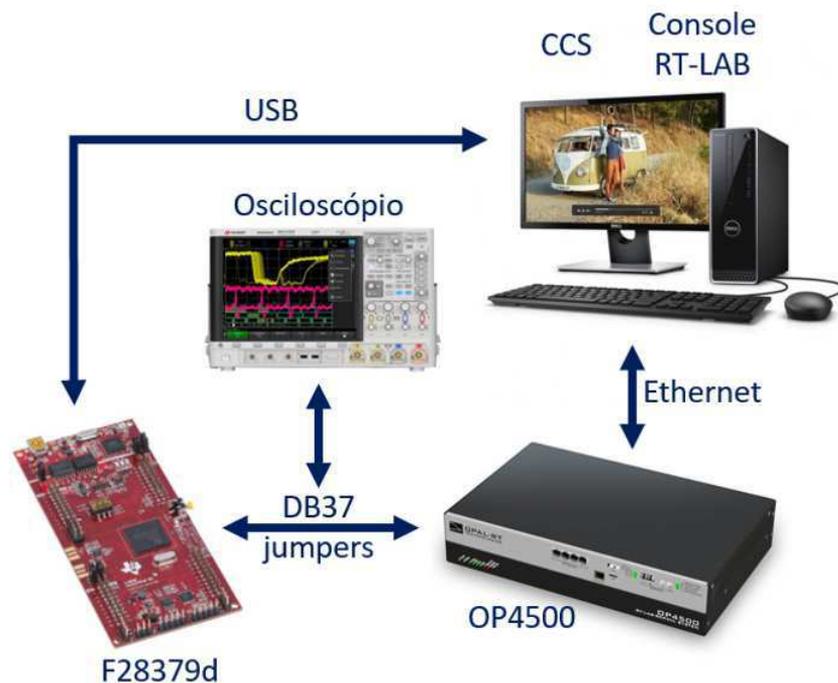
Nesta atividade o estagiário ficou responsável, juntamente com outros membros da equipe de QA, por realizar o estudo e implementação de simulações voltadas para *hardware in the loop*. O teste de *hardware in the loop* (HIL) possui como objetivo replicar o fluxo de um processo, ao realizar a substituição do sistema físico desenvolvido por um modelo equivalente em um ambiente de simulação controlado, executado em tempo real por um equipamento como o Opal-RT. Com isso, pode-se averiguar a interação entre sinais provenientes de circuitos de controle, com uma planta de simulação de um sistema real, permitindo avaliar as funcionalidades e aumentar a escalabilidade da cobertura de testes.

De modo geral, o objetivo da tarefa é a capacitação dos envolvidos em implementações de processos HIL, para futuras aplicações de testes de *hardware* nos projetos do Virtus, desenvolvendo um processo que permita emular sistemas complexos, como conversores de potência, por exemplo, via simulação integrada ao ambiente do Simulink, interagindo com o *firmware* de controle a partir de uma placa de desenvolvimento.

Esta atividade em particular possui grande potencial, visto que permitiria desacoplar a dependência do término do desenvolvimento de *hardware* para execução de testes, pois, seria possível emular em condições realistas, o comportamento do sistema e validar

as implementações de *firmware* sem a presença de um protótipo. Além disso, a otimização do processo permitiria ganhos em termos de custo, ao se validar de forma mais ágil implementações de projeto, identificando precocemente possíveis falhas. Na Figura 7, mostra-se um esquema básico do relacionamento entre os componentes utilizados para a atividade.

Figura 7 – Diagrama de sistema para teste HIL



Fonte: Acervo do projeto

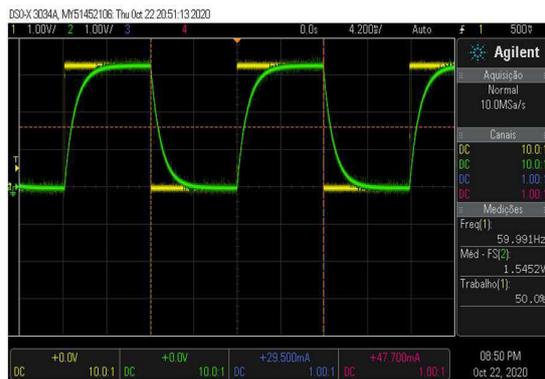
A seguir, são descritos alguns avanços obtidos durante o processo de aprendizagem.

Inicialmente, foi realizado um *ramp-up* da placa de desenvolvimento, para entender as funcionalidades disponíveis (módulos ePWM, ADC, DAC, entre outros), bem como fazer um paralelo acerca de como os recursos dela estavam sendo explorados no projeto atual. Para isto, o estagiário fez uso do manual da placa e dos *workshops online* disponibilizados pela própria fabricante, contendo exemplos de aplicação, ambos disponíveis em [3].

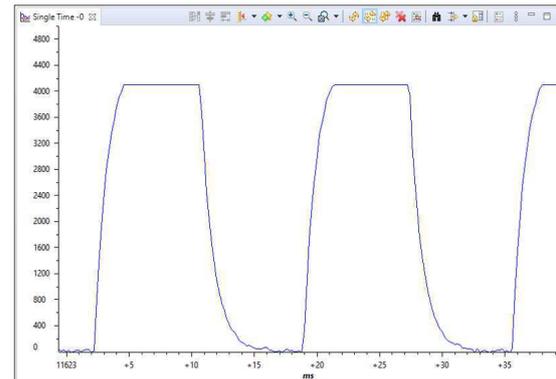
Em seguida, foram feitas implementações para validar a comunicação entre a *LaunchPad* e o simulador em tempo real. Para este fim, utilizaram-se dois módulos ePWM disponíveis da placa. O primeiro deles foi usado para gerar um sinal a 60 Hz, com um duty cycle de 50%, de modo a ser obtida na saída uma onda quadrada (0 - 3,3V). No segundo caso, utilizou-se o ePWM com frequência de amostragem de 5 kHz, para gerar o *trigger* do ADC0 utilizado para leitura. Este primeiro sinal foi colocado como fonte de alimentação

para um circuito RL implementado no Simulink, após a aplicação de um ganho para a fonte estar no *range* entre 0-20 V no simulador em tempo real OP4500, conforme Figura 8, onde são exibidas as formas de onda obtidas para a tensão (Amarelo) e corrente na carga (Verde). Na Figura 9 mostram-se as conexões físicas realizadas durante a execução da tarefa, com o uso de *jumpers* e de um conector DB37.

Figura 8 – Representação das telas do osciloscópio e CCS



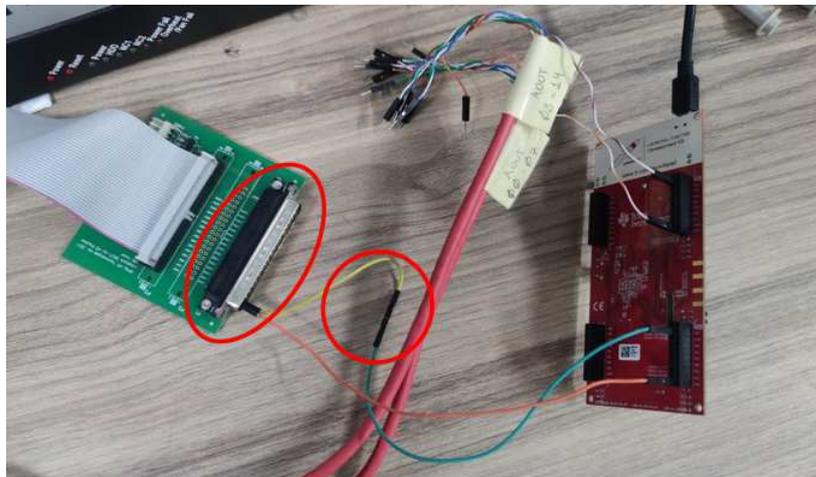
(a) Tensão e corrente (circuito RL)



(b) Gráfico CCS - corrente na carga RL

Fonte: Acervo do projeto.

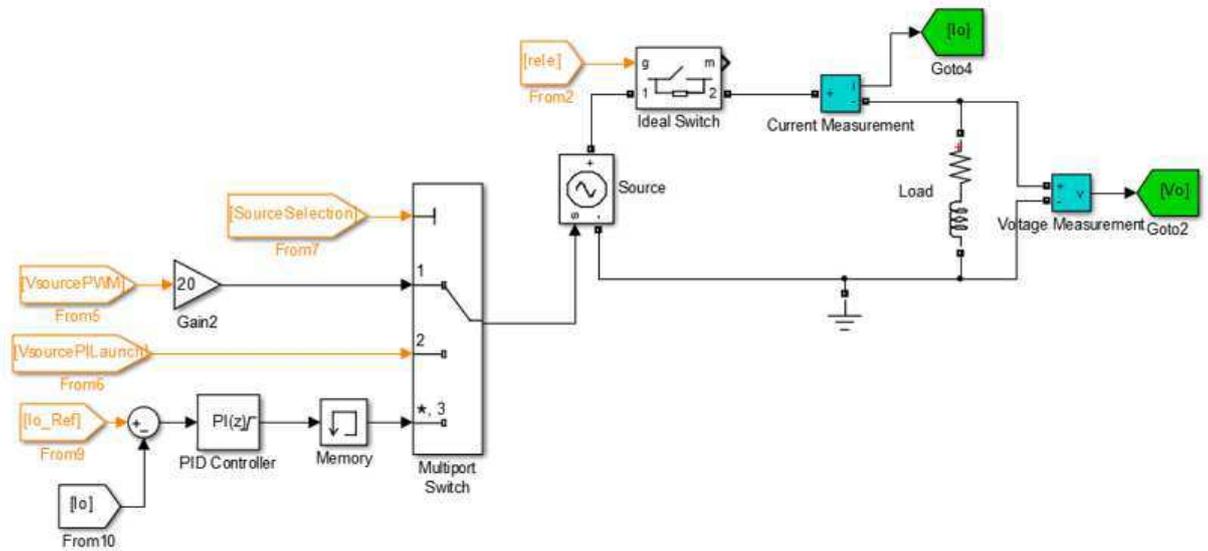
Figura 9 – Fotografia das conexões da placa com o simulador



Fonte: Acervo do projeto.

O circuito simulado em questão é apresentado na Figura 10, onde é possível verificar as opções de entrada distintas para as simulações, abrangendo o sinal quadrado de tensão mencionado, o controle por meio do PI da placa de desenvolvimento e um controlador implementado no próprio Simulink.

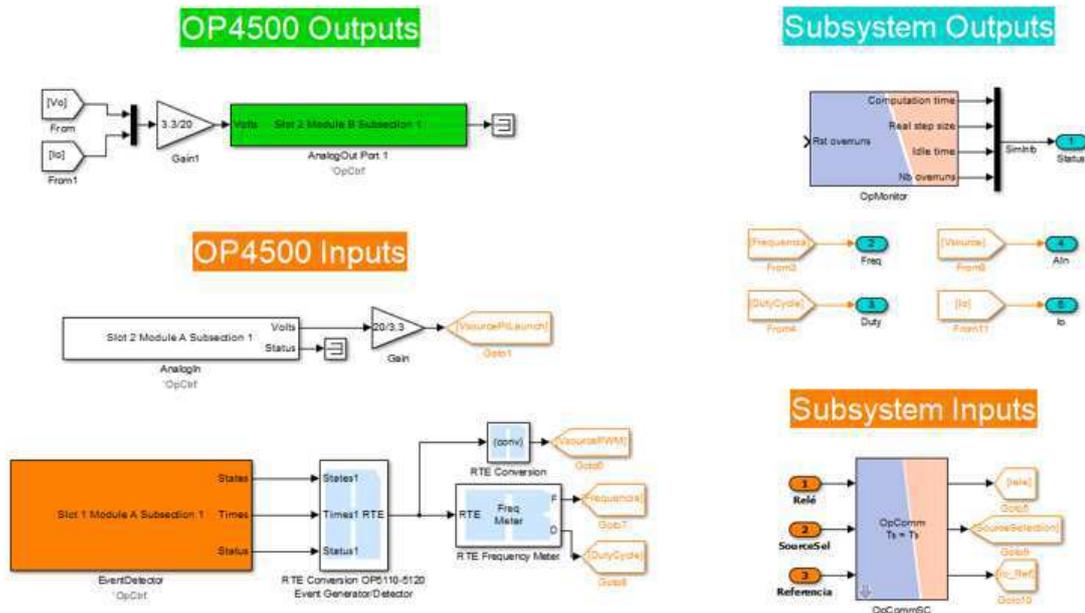
Figura 10 – Diagrama do circuito RL controlado via LaunchPad



Fonte: Acervo do projeto.

Outro detalhe a ser mencionado é o fato de que além da montagem do circuito em si, se faz necessário configurar os blocos de conexão entre o simulador e *launchPad* e entre o console e modelo, de modo a possibilitar que o OP4500 receba e consiga executar as tarefas, além de interagir com sinais externos. Na Figura 11, mostra-se um exemplo deste tipo de configuração.

Figura 11 – Representação do blocos de conexão

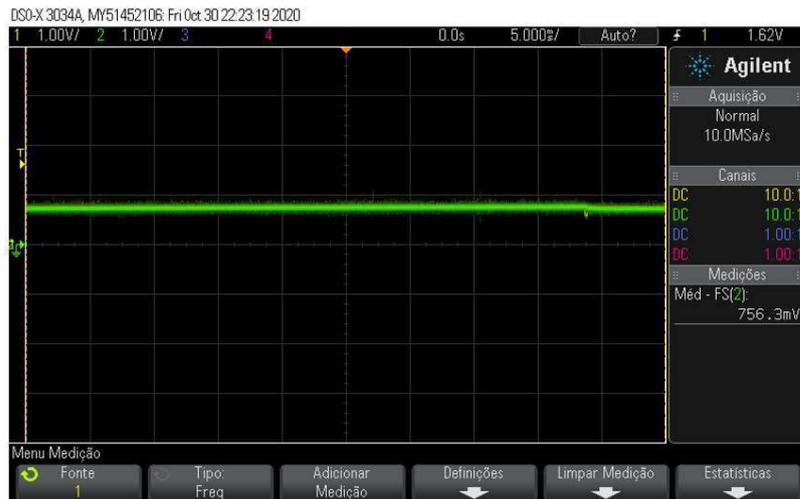


Fonte: Acervo do projeto.

Posteriormente, dentro da função de interrupção do código, foi incluída a chamada do controlador PI. O objetivo da atividade foi alimentar o circuito RL presente no simulador em tempo real, com a saída de um controlador PI implementado na placa F28379D, com posterior leitura da corrente na carga. Para visualizar os resultados, foram definidas variáveis globais no código do CCS, para que alterações em tempo de execução pudessem ser observadas. Assim, foram modificados os valores de corrente desejados para a variável de referência rk , de forma que ao entrar na interrupção implementada, a nova referência de corrente fosse passada ao controlador PI, e o resultado fosse calculado e atualizado via DAC para o circuito.

A seguir, nas Figuras 12 e 13, são apresentados os valores de tensão obtidos para o caso com corrente de 5A no circuito (aproximadamente 0,8 V), verificados no osciloscópio, bem como o registro dos valores alterados durante a execução do código no CCS.

Figura 12 – Representação da tensão Osciloscópio - 5A na carga



Fonte: Acervo do projeto.

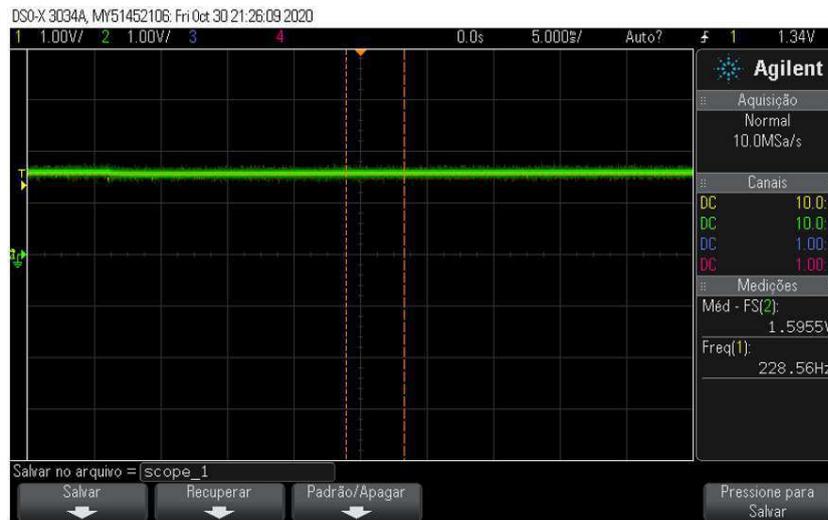
Figura 13 – Representação de alteração das variáveis no CCS - 5A

Expression	Type	Value	Address
(x) result	float	1064.88354	0x0000AB02@Data
(x) dacVal	unsigned int	1067	0x0000AD80@Data
(x) rk	float	5.0	0x0000AD82@Data
(x) yk[index]	float	4.82184458	0x0000A936@Data
(x) kp	float	1.0	0x0000AD8A@Data
(x) ki	float	0.899999976	0x0000AD88@Data
Add new expression			

Fonte: Acervo do projeto.

O mesmo procedimento é mostrado nas Figuras 14 e 15, onde o valor de 10A definido para a corrente no CCS equivale ao valor de aproximadamente 1,6 V na medição.

Figura 14 – Representação da tensão Osciloscópio - 10A na carga



Fonte: Acervo do projeto.

Figura 15 – Representação de alteração das variáveis no CCS - 10A

Expression	Type	Value	Address
(0) result	float	2212.31592	0x000A802@Data
(0) dacVal	unsigned int	2214	0x000AD80@Data
(0) rk	float	10.0	0x000AD82@Data
(0) yk[index]	float	9.81684971	0x000A970@Data
(0) kp	float	1.39999998	0x000AD8A@Data
(0) ki	float	0.899999976	0x000AD88@Data
Add new expression			

Fonte: Acervo do projeto.

No mesmo contexto, foi desenvolvida a simulação de um conversor chaveado *Half-Bridge* com controle de corrente, sendo os resultados preliminares satisfatórios. Entretanto, esta solução ainda não foi integrada ou validada com o *setup* envolvendo o uso do OP4500. A continuidade desta atividade está prevista, porém no momento encontra-se repriorizada, devido a outras demandas do projeto.

3.2.1 Placa de Desenvolvimento

Para a atividade, utilizou-se a *Launchpad F28379D* da Texas Instruments, presente na Figura 16. Trata-se de uma placa bastante robusta, contendo duas CPU's para uso, duas CLA's (Control Law Accelerator), 4 módulos de conversores Analógico/Digitais com resolução de 12/16 bits, 3 módulos de conversores Digitais/Analógicos de 12 bits, clock de 200 MHz e inúmeros periféricos para uso geral.

Figura 16 – Fotografia da LaunchPad F28379D



Fonte: o próprio autor.

O ambiente de desenvolvimento utilizado para a *LaunchPad* foi o Code Composer Studio (CCS), uma IDE de suporte para microcontroladores da Texas Instruments, em conjunto com as ferramentas, bibliotecas e *drivers* disponibilizadas pelo ControlSuite e C2000Ware. Devido a falta de experiência com o uso do CCS, uma das etapas da atividade foi alocada para familiarização com a plataforma. Também foram utilizados recursos presentes na biblioteca de controle digital (DCL), disponibilizada pela própria Texas, que possibilita o uso de diversas estruturas de controladores já existentes.

3.2.2 Simulador em Tempo Real

O equipamento empregado para executar os circuitos, interagindo com dispositivos externos foi o OP4500, da fabricante OPAL-rt Technologies (Figura 17). O simulador possui as seguintes características:

- Processador: 1 CPU Intel Xeon 2,5GHz (4 núcleos)
- 16 Entradas Analógicas - $\pm 16V/2,5\mu s$ de atualização.
- 16 Saídas Analógicas - $\pm 16V/1\mu s$ de atualização.
- 24 Entradas Digitais - Nível baixo: (0 - 0,8)V, nível alto (4,2 - 30)V.
- 24 Saídas Digitais - Range (5 - 15)V
- 8 Entradas digitais em modo diferencial - (3,3 - 5)V
- 8 Saídas digitais em modo diferencial - (3,3 - 5)V

Por meio dele, foi possível embarcar os circuitos desenvolvidos no Simulink, de forma a interagir externamente com os dispositivos conectados. Uma das limitações encontradas para este equipamento é que a compatibilidade dele com o *software* Matlab se dá somente para versões mais antigas, como a versão 2013.

Figura 17 – Fotografia do OP4500 Series 400



Fonte: Site do fabricante.

No capítulo seguinte, serão apresentadas as considerações finais do estagiário em relação a ao trabalho desenvolvido.

4 Considerações Finais

A execução desta componente curricular trouxe ao estagiário, e ainda traz, visto que o projeto em questão se mantém em andamento, uma experiência profissionalmente enriquecedora. A partir das atividades realizadas e do envolvimento com o ambiente deste projeto, foi possível a aplicação na prática de alguns conceitos vistos durante as disciplinas teóricas do curso, como Eletrônica de Potência, Circuitos Elétricos e Análise de Sinais e Sistemas.

Também foi possibilitado ao aluno, além do contato com o LEIAM, que normalmente não faz parte das disciplinas da grade curricular, o uso de diversos equipamentos disponibilizados no laboratório, ajudando na construção de experiência que normalmente é escassa para alunos próximos ao término do curso.

Além disso, o acompanhamento dos processos burocráticos que envolvem a execução de um projeto para desenvolvimento de novas soluções, a necessidade de cumprimento de prazos, reuniões, discussões técnicas com profissionais da área e dificuldades encontradas nas atividades, acabam estimulando o desenvolvimento de competências e maturidade necessárias para a inserção no mercado de trabalho.

Referências

- [1] OPAL-rt. Hardware in the loop. Acessado em: 23 de outubro de 2020. [Online]. Available: <https://www.opal-rt.com/hardware-in-the-loop/>
- [2] INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION (ISO). ISO/IEC 25010:2011. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models.
- [3] Design Resources - Texas Instruments. C2000 Delfino MCU F28379D LaunchPadTM development kit. Acessado em: 30 de outubro de 2020. [Online]. Available: <https://www.ti.com/tool/LAUNCHXL-F28379D>
- [4] Design Resources - Texas Instruments. Code Composer Studio (CCS) Integrated Development Environment (IDE). Acessado em: 30 de outubro de 2020. [Online]. Available: <https://www.ti.com/tool/CCSTUDIO>
- [5] Design Resources - Texas Instruments. C2000Ware for C2000 MCUs. Acessado em: 02 de novembro de 2020. [Online]. Available: <https://www.ti.com/tool/C2000WARE>
- [6] DC Power Supply - ITECH. CIT6000C Bidirectional Programmable DC Power Supply. Acessado em: 27 de novembro de 2020. [Online]. Available: <http://www.itech.sh/en/product/dc-power-supply/IT6000C.html>