



**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**  
Departamento de Engenharia Elétrica

HORTÊNCIA DINIZ DULTRA E SILVA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO  
LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA INDUSTRIAL E ACIONAMENTO DE MÁQUINAS -  
LEIAM

Campina Grande  
Agosto de 2024

HORTÊNCIA DINIZ DULTRA E SILVA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO  
LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA INDUSTRIAL E ACIONAMENTO DE MÁQUINAS -  
LEIAM

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Orientador:  
Alexandre Cunha Oliveira, Dr.

Campina Grande  
Agosto de 2024

HORTÊNCIA DINIZ DULTRA E SILVA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO  
LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA INDUSTRIAL E ACIONAMENTO DE MÁQUINAS -  
LEIAM

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

---

Alexandre Cunha Oliveira, Dr.  
UFCG

---

Talvanes Meneses Oliveira,  
Dr.  
UFCG

Campina Grande  
Agosto de 2024

# AGRADECIMENTOS

Arthur Sales, meu amado noivo e companheiro de vida, tem sido uma presença essencial ao longo desta jornada. Nossos últimos anos, juntos, foram marcados por grandes vitórias e desafios superados, fortalecendo ainda mais nosso amor. Seu apoio emocional, aliados à sua compreensão, paciência e respeito, foram fundamentais para que eu pudesse concluir esta fase da minha vida, com conforto e dedicação total ao curso. Desde que o conheci, meu amor e admiração por você só crescem.

À minha mãe, Maria Dalva, que sempre confiou em mim e nunca hesitou em apoiar os meus estudos, e à minha irmã, Alynnye, expresso minha sincera gratidão por terem contribuído financeiramente para minha educação durante o ensino médio, pré-vestibular e início do ensino superior, mesmo diante de todas as dificuldades.

Ao meu sobrinho Moisés, cujo amor pelos números é admirável, expresso meu profundo carinho. Sua pureza e alegria contagiante iluminam os momentos de brincadeira, tornando-os ainda mais especiais.

Também expresso minha gratidão à minha avó paterna, Terezinha, por suas constantes orações em meu favor, e aos meus tios maternos - Leila e Júnior, Francisca e Josenildo, Jacira e Zé, Francileide e Idinho - que, de diversas maneiras, contribuíram para minha educação na infância. À minha tia paterna, Lutinha, agradeço pelo seu apoio financeiro durante o ensino fundamental e pré-vestibular.

À minha amiga de infância, Júlia, aos meus amigos de longa data em Campina Grande - Maitê, Bruno, Bia, Amanda, Letícia Marinho, Manu e Larissa - além de Vanessa, amiga quando morei em Nova Iorque. Agradeço por estarem sempre presentes e por acreditarem em mim, independentemente da distância.

Ao meu professor e orientador, Alexandre, expresso minha profunda gratidão por fazer este trabalho tornar-se possível. Também gostaria de registrar meu profundo agradecimento a Alysson, por apoiar e esclarecer questões relacionadas a este trabalho.

Expresso minha sincera gratidão ao meu amigo de longa data, Ícaro Meneses, que tem sido uma fonte constante de apoio, orientação e conhecimento desde o início do curso.

Por fim, aos amigos e colegas que conheci ao longo do curso - Lucas, Lara, Marina, Juliana, Nívia, Leiry, Caio, Josias, Guilherme - agradeço pela companhia e pelo apoio que tornaram essa jornada mais leve.

# RESUMO

Neste relatório, descrevem-se as atividades realizadas pela aluna Hortência Diniz Dultra e Silva durante o período de estágio supervisionado no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas. Este trabalho desenvolve um guia e explica o funcionamento do *software* RT-LAB e o *hardware* OPAL-RT, que é uma plataforma de simulação em tempo real, integrada com o *MATLAB/Simulink*.

**Palavras-chave:** RT-LAB, OPAL-RT, MATLAB, Simulink.

# ABSTRACT

In this report, the activities carried out by the student Hortência Diniz Dultra e Silva during the supervised internship at the Laboratory of Industrial Electronics and Machine Control are described. This work develops a guide and explains the operation of the RT-LAB software and the OPAL-RT hardware, which is a real-time simulation platform integrated with MATLAB/Simulink.

**Keywords:** RT-LAB, OPAL-RT, MATLAB, Simulink.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Clique em <b>Edit</b> para abrir o <i>MatLab/Simulink</i> .	16
Figura 2 – Interface do projeto <b>rtdemo1</b> .	17
Figura 3 – <i>Schematic</i> do circuito Buck, realizado dentro do bloco <b>SM</b> .	17
Figura 4 – Interface para visualização dos sinais de saída com o auxílio do bloco <i>Scope</i> .	18
Figura 5 – Nova interface do modelo após alterar as entradas do bloco <b>OpComm</b> para Corrente e Tensão.	18
Figura 6 – Parâmetros do bloco <b>powergui</b> .	19
Figura 7 – Estrutura final da interface do projeto no <i>Simulink</i> .	19
Figura 8 – Execução do modelo clicando no <i>play</i> (1) e retorno para a tela onde estão os subsistemas clicando na seta azul (2).	19
Figura 9 – Clique em <i>Scope</i> para mostrar a corrente e a tensão do conversor Buck do exemplo.	20
Figura 10 – Corrente e tensão do conversor Buck após simulação utilizando apenas o <b>RT-LAB</b> .	20
Figura 11 – Executar a sequência de passos a seguir para criar um novo projeto sem precisar sair do <b>RT-LAB</b> : File > New > RT-LAB Project.	20
Figura 12 – Dê um nome ao seu novo projeto e clique em <i>Next</i> .	21
Figura 13 – Clique em <b>Edit</b> para abrir o <i>MatLab/Simulink</i> .	21
Figura 14 – Interface do <i>MatLab/Simulink</i> imediatamente após clicar em <b>Edit</b> , aqui encontram-se os subsistemas.	22
Figura 15 – Interface com interconexões e blocos removidos.	22
Figura 16 – Interface após dar um duplo clique no subsistema <b>SM_Master</b> .	23
Figura 17 – Interface do subsistema <b>SM_Master</b> após remover todas as interconexões e blocos que não serão necessários para o novo exemplo.	23
Figura 18 – <i>Schematic</i> do conversor Buck.	24
Figura 19 – Parâmetros da simulação no subsistema <b>SM_Master</b> .	24
Figura 20 – Parâmetros do bloco <i>powergui</i> .	25
Figura 21 – Interface após dar um duplo clique no subsistema <b>SC_Console</b> .	25
Figura 22 – Clicar em Salvar.	26
Figura 23 – Clicar em OK.	26
Figura 24 – Subsistema <b>SC_Console</b> depois das alterações.	26
Figura 25 – Corrente e tensão visualizadas pelo osciloscópio.	27

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
LEIAM	Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas
MATLAB	<i>MATrix LABORatory</i>



# SUMÁRIO

<b>Lista de ilustrações</b>	6
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	9
<b>1.1 Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas - LEIAM</b>	9
<b>1.2 Objetivos</b>	9
<b>1.3 Organização do Trabalho</b>	10
<b>2 MATERIAIS UTILIZADOS</b>	11
<b>2.1 MATLAB/Simulink</b>	11
<b>2.2 RT-Lab</b>	11
<b>2.3 Opal-RT</b>	12
<b>3 RELATO DE ATIVIDADES</b>	14
<b>3.1 Análise de Arquivos</b>	14
<b>3.2 Elaboração do Guia</b>	14
<b>3.2.1 Sumário do Guia</b>	14
<b>3.3 Simulações</b>	16
<b>3.3.1 Exemplo de Aplicação Utilizando o <i>Software</i></b>	16
<b>3.3.1.1 Conversor Buck</b>	16
<b>3.3.2 Exemplo de Aplicação Utilizando o <i>Hardware</i></b>	20
<b>3.3.2.1 Conversor Buck</b>	20
<b>4 MELHORIAS FUTURAS</b>	28
<b>5 CONCLUSÕES</b>	29
<b>REFERÊNCIAS</b>	30

# 1 INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta uma análise detalhada das atividades desenvolvidas pela aluna Hortência Diniz Dultra e Silva durante o estágio no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas - LEIAM da Universidade Federal de Campina Grande. O estágio ocorreu no período de 18 de março de 2024 a 18 de junho de 2024, totalizando uma carga horária de 240 horas.

As atividades tiveram como objetivo a elaboração de um guia do usuário para o software OPAL-RT, especialmente projetado para a subdivisão 4500. O guia foi desenvolvido para auxiliar novos usuários desta ferramenta de simulação em tempo real em suas aplicações de controle de energia elétrica e sistemas de potência.

Durante o estágio, foi dedicado tempo ao estudo dos documentos de treinamento fornecidos pela empresa desenvolvedora do OPAL-RT e RT-LAB. Esses documentos consistiam principalmente em slides em inglês, os quais a estudante foi responsável por analisar. Além disso, ela consultou outros usuários da plataforma para identificar e incluir no guia as informações necessárias para torná-lo didático e acessível a novos usuários desta ferramenta de simulação em tempo real, permitindo que eles realizem simulações básicas.

## 1.1 LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA INDUSTRIAL E ACIONAMENTO DE MÁQUINAS - LEIAM

O Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCCG), foi criado em 1976 a partir de pequenos projetos desenvolvidos em outro laboratório, o de Máquinas Elétricas, por um grupo de professores capacitados na França.

Atualmente, o LEIAM realiza pesquisas nas seguintes áreas: Acionamento de Máquinas Elétricas; Estrutura de Conversores a Tiristores, Transistores e IGBT; Estrutura Magnética de Máquinas; e Comando de Máquinas Elétricas por Microcomputadores (UFCCG, 1976).

## 1.2 OBJETIVOS

As atividades desenvolvidas no estágio tiveram os seguintes objetivos:

- Análise do funcionamento do *software* RT - Lab;

- Análise do funcionamento da plataforma em tempo real OPAL-RT, na subdivisão OP4500 e série 400, que é utilizado para simulação de rede elétrica;
- Elaboração de um guia para novos usuários das ferramentas citadas acima.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente relatório está estruturado em quatro capítulos, sendo este introdutório o Capítulo 1, com os demais listados a seguir:

No Capítulo 2, serão apresentados os materiais utilizados para a elaboração do guia.

No Capítulo 3, serão abordadas as atividades realizadas pela estagiária.

Por fim, no Capítulo 4, apresenta-se a conclusão sobre o trabalho.

## 2 MATERIAIS UTILIZADOS

Nesta seção será apresentado o ferramental utilizado para construção deste estágio.

### 2.1 MATLAB/SIMULINK

O MATLAB (abreviação de *MATrix LABoratory*) é um ambiente de programação e linguagem de computação numérica desenvolvido pela MathWorks, amplamente utilizado em diversas disciplinas. Ele oferece um conjunto abrangente de ferramentas para análise de dados, modelagem matemática, visualização e computação numérica. Além disso, conta com uma Interface de Desenvolvimento Integrada (IDE), que permite a escrita de *scripts* e o desenvolvimento de algoritmos, sendo uma ferramenta essencial no campo da engenharia, adotada em ambientes acadêmicos, de pesquisa e industriais. Dada a extensa aplicabilidade e popularidade da ferramenta MATLAB, sua adoção como parte do ambiente de plataformas de simulação em tempo real, como o OPAL-RT, auxilia no uso deste tipo de plataforma, tendo sido o OPAL-RT a plataforma de simulação em tempo real utilizada pela estagiária em seu trabalho.

O *Simulink*, também desenvolvido pela *MathWorks* e integrado ao MATLAB, oferece uma abordagem gráfica para a representação de sistemas. Em vez de escrever códigos, o usuário cria modelos interligando blocos que representam funções, operações ou componentes de um sistema, tornando o processo mais intuitivo e visual.

Outra característica essencial do *Simulink* é a capacidade de realizar simulações em tempo contínuo ou discreto, permitindo ao usuário observar o comportamento do sistema ao longo do tempo. É possível ajustar parâmetros e condições iniciais e, assim, avaliar como essas mudanças afetam o desempenho do sistema. Essa ferramenta é especialmente vantajosa para lidar com sistemas complexos, como no desenvolvimento de sistemas de controle para motores elétricos. No *Simulink*, é possível modelar motores, sensores, controladores e outros componentes, conectando-os de maneira lógica e gráfica. Neste trabalho, utilizou-se o MATLAB/*Simulink* para executar o modelo de um conversor Buck.

### 2.2 RT-LAB

O RT-LAB funciona de maneira integrada com o MATLAB/*Simulink*. Essa integração, os modelos desenvolvidos no *Simulink* podem ser carregados e executados em plataformas de tempo real, como o OPAL-RT. Isso permite a execução de simulações

complexas que requerem alta capacidade computacional e respostas rápidas, como as encontradas em sistemas de potência e controle.

Uma das características mais notáveis do RT-LAB é sua capacidade de dividir modelos complexos em várias partes, executando-as em paralelo em diferentes núcleos de processamento. Essa técnica possibilita a execução de simulações que seriam inviáveis em um único processador, devido às limitações de tempo e recursos computacionais. Dessa forma, integrado ao *Simulink*, com o RT-LAB e o OPAL-RT, é possível realizar a simulação de grandes sistemas em tempo real, como uma rede elétrica completa, incluindo todos os seus componentes e interações.

A configuração para realizar uma simulação em tempo real é composta por dois principais componentes: o *host computer* e o *target computer*. No *host computer*, o modelo é desenvolvido e ajustado no *Simulink*, enquanto o *target computer* é responsável pela execução desse modelo em tempo real. Esta ferramenta foi utilizada pela estagiária para elaborar o primeiro exemplo básico do guia, que consistiu na simulação de um conversor Buck.

## 2.3 OPAL-RT

Criada em 1997, no Canadá, pelos desenvolvedores do *software* RT-Lab, a plataforma OPAL-RT destaca-se por sua capacidade de realizar simulações em tempo real, ou seja, as simulações são executadas na mesma escala de tempo em que o sistema funcionaria no mundo real. Isso é particularmente importante em áreas como a eletrônica de potência, onde o comportamento dos sistemas precisa ser testado sob condições operacionais reais antes de sua implementação física. Com o OPAL-RT, engenheiros podem testar e validar modelos de sistemas físicos em um ambiente seguro, controlado e de baixo custo, sem os riscos de danos ou falhas que poderiam ocorrer em testes físicos diretos.

O guia elaborado pela estagiária foca na subdivisão OP4500, conhecida por sua alta fidelidade e desempenho na simulação em tempo real de sistemas de potência elétrica e controle. O OP4500 possui quatro configurações padronizadas de entradas e saídas:

- Série 100: voltada para o desenvolvimento básico de modelos no *Simulink*;
- Série 200: direcionada a sistemas de Eletrônica de Potência;
- Série 300: para simulação rápida de sistemas de Eletrônica de Potência;
- Série 400: utilizada neste guia, para simulação de Redes Elétricas.

Os sistemas OP4500 são amplamente empregados em aplicações que demandam simulação precisa e rápida, como sistemas de energia elétrica, testes de sistemas de prote-

ção, estudos de estabilidade de sistemas de potência e desenvolvimento de controles para redes elétricas inteligentes. Esta ferramenta foi utilizada pela estagiária para complementar o primeiro exemplo, agregando à plataforma RT-Lab o uso do OPAL-RT.

## 3 RELATO DE ATIVIDADES

Nesta seção, são descritas as atividades realizadas pela estagiária durante o período de estágio no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM).

### 3.1 ANÁLISE DE ARQUIVOS

Os arquivos analisados para a construção deste trabalho foram deixados pelo grupo de treinamento quando o LEIAM adquiriu a plataforma, por volta de 2012. Esse material consistia em slides em inglês com tópicos sobre a plataforma, muitas vezes apresentados sem uma sequência lógica que facilitasse a compreensão.

Como a estagiária não tinha experiência anterior nesse ambiente, foi necessário consultar estudantes de mestrado do LEIAM, que já utilizavam a plataforma, para esclarecer o que seria essencial incluir no guia.

Dessa forma, foi elaborado um guia didático para novos usuários da plataforma, que servirá de suporte importante para estudantes de graduação, mestrado, doutorado e pesquisadores na área da engenharia.

### 3.2 ELABORAÇÃO DO GUIA

#### 3.2.1 SUMÁRIO DO GUIA

O guia foi organizado em:

- Introdução
  - Aplicações Comuns de um Sistema em Tempo Real
  - Arquitetura do Sistema RT-LAB
  - Modelagem no RT-LAB
    - \* Subsistemas
    - \* Bloco OpComm
    - \* Prioridade de Variáveis de Estado
    - \* Execução Paralela
    - \* Parâmetros do Tempo-Real
    - \* Execução *Offline*

- *Software: RT-LAB*
  - Criando Nova Pasta
  - Interface Principal
  - Criando Novo Projeto
  - ARTEMIS e RT-Events
    - \* Vantagens da Simulação
    - \* Limitações e Soluções Algébricas
    - \* Simulação em Tempo Real usando ARTEMIS
    - \* RT-Events para Gerar PWM
    - \* *RTeDrive*
  
- *Hardware: OPAL-RT*
  - Principais Características
  - Vista Traseira e Pinos I/O
  - FPGA Xilinx KINTEX 7
    - \* Controle do FPGA Utilizando Subsistemas
  - Blocos I/O do *Simulink* e Configurações
    - \* *Static Digital I/O - DIO*
    - \* *Pulse-Width Modulated I/O - PWMIO*
    - \* *Time-Stamped Digital I/O - TSDIO*
    - \* Associação entre os blocos I/O
  - Bloco Controlador no *Simulink* para o FPGA
  - Arquivo *Bitstream* e Configuração
  - Configuração dos Blocos I/O
    - \* Bloco de Entrada Analógica
    - \* Bloco de Saída Analógica
    - \* Bloco de Entrada Digital
    - \* Bloco de Saída Digital
    - \* Bloco de Entrada PWM
    - \* Bloco de Saída PWM
    - \* Bloco Detector de Evento/*EventDetector*
    - \* Bloco Gerador de Eventos/*EventGenerator*
  - Configuração do Ambiente (I/O)
    - \* Modo *Extra High Performance (XHP)*
    - \* Execução do Modelo



- Exemplo de Aplicação Utilizando o *Software*;
  - Conversor Buck
- Exemplo de Aplicação Utilizando o *Hardware*
  - Conversor Buck

Cada um desses capítulos contém informações imprescindíveis para o entendimento desta plataforma, incluindo imagens, comparações, exemplos e uma linguagem clara e objetiva.

## 3.3 SIMULAÇÕES

### 3.3.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE

#### 3.3.1.1 CONVERSOR BUCK

Partindo de um projeto básico, como o **rtdemo1**, que já está disponível no *software RT-Lab*, uma janela como a figura 1 surgirá. Nela, o projeto foi renomeado para **Ex\_Buck\_Partindo\_do\_rtdemo1** e em seguida, ao clicar em **Edit**, o *MatLab/Simulink* foi aberto.

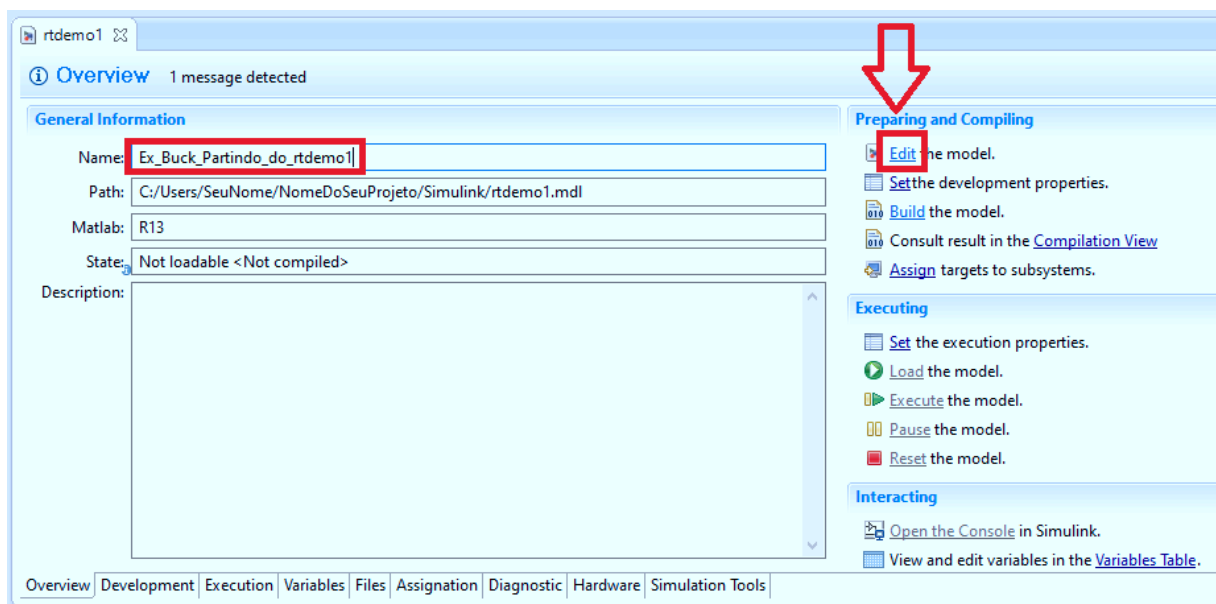


Figura 1 – Clique em **Edit** para abrir o *MatLab/Simulink*.

Após abrir o *MatLab/Simulink*, aparece a interface vista na figura 2.

A primeira tarefa feita após abrir a interface do projeto é salvá-la para que este arquivo novo seja salvo como uma cópia. Dessa forma, o arquivo original do **RT-Lab** é preservado e as alterações que foram feitas ficarão no arquivo gerado pelo usuário.

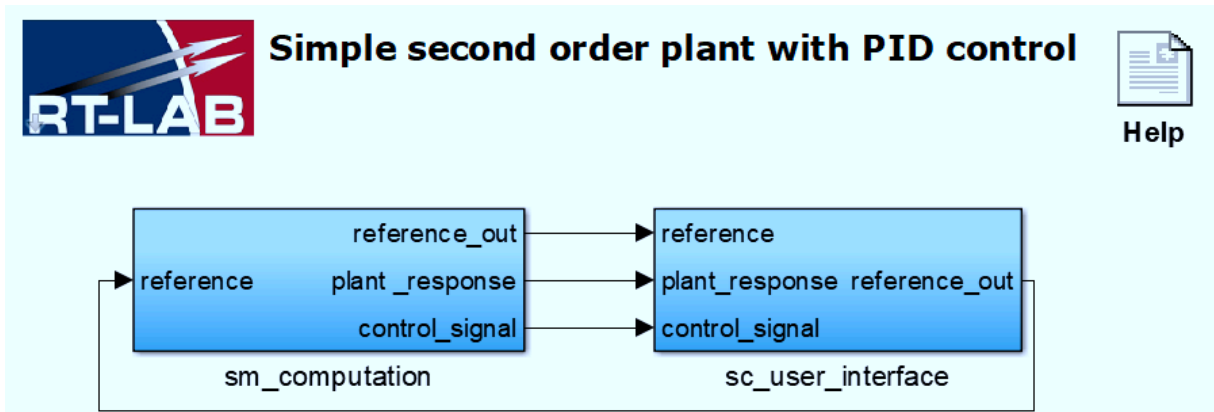


Figura 2 – Interface do projeto `rtdemo1`.

A partir da janela da figura 2, utilizou-se os blocos dos dois subsistemas **SM** (**Master Subsystem**) e **SC** (**Console Subsystem**) para construir o exemplo do conversor Buck.

O **SM** é utilizado para construir o *schematic* (como mostrado na figura 3), ou seja, o modelo a ser simulado e o **SC** é para visualizar os sinais de saída (como mostrado na figura 4).

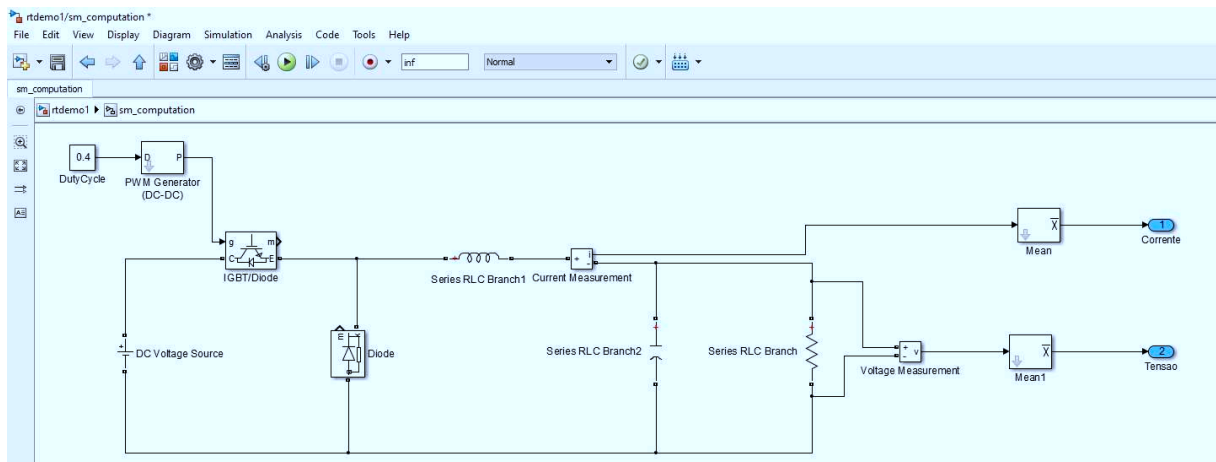


Figura 3 – *Schematic* do circuito Buck, realizado dentro do bloco SM.

Os parâmetros desse circuito são:  $D = 0.4$ ;  $F_s = 20 \text{ kHz}$ ;  $DC = 50 \text{ V}$ ;  $L = 100\text{e-}6 \text{ H}$ ;  $C = 200\text{e-}6 \text{ F}$ ;  $R = 20 \Omega$ .

Neste modelo, foram implementadas alterações, que serão descritas a seguir.

Na interface do bloco **SC**, foram alteradas as entradas do bloco **OpComm** para Corrente (1) e Tensão (2).

Após a realização dessa mudança, a nova interface do *MatLab/Simulink* para o projeto seguirá conforme a figura 5.

Assim, com esta nova interface, é necessária a adição do bloco **powergui**. Após encontrá-lo na biblioteca do *Simulink* e arrastá-lo para onde estão os outros blocos

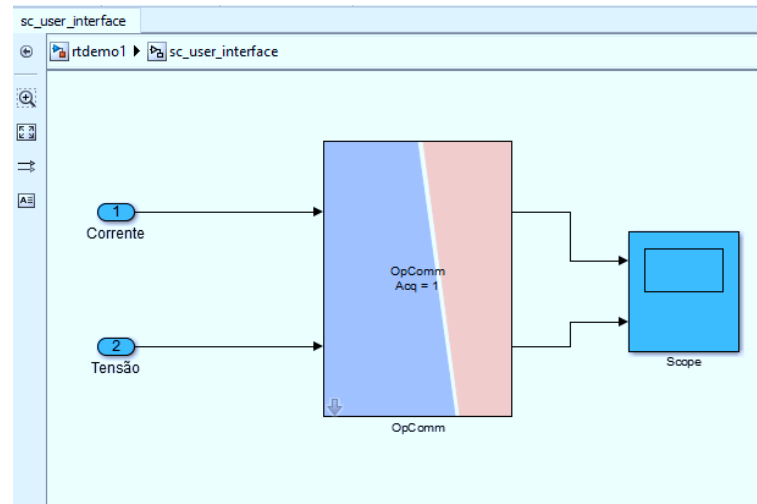


Figura 4 – Interface para visualização dos sinais de saída com o auxílio do bloco *Scope*.

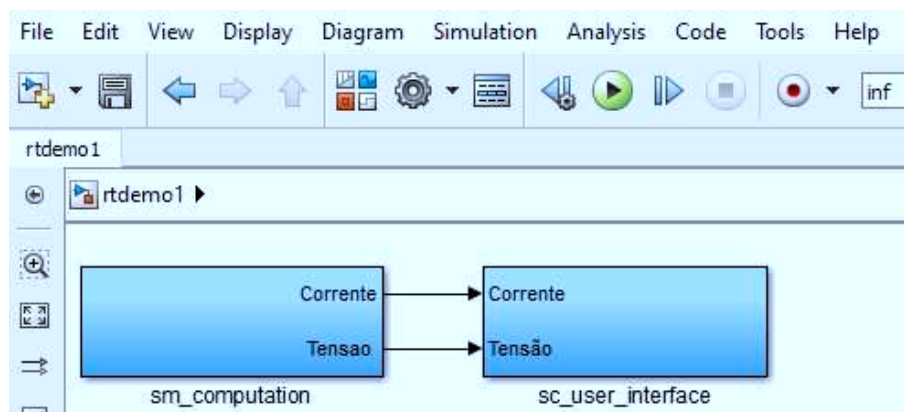


Figura 5 – Nova interface do modelo após alterar as entradas do bloco **OpComm** para Corrente e Tensão.

**sm\_computation** e **sc\_user\_interface**, é dado um duplo clique no **powergui** e seguiu-se os 5 passos da figura 6 para inserir os parâmetros.

Por fim, após clicar em **OK**, a estrutura da nova interface do projeto deverá estar conforme a figura 7.

Após finalizar a estrutura, o projeto é executado dando um duplo clique no bloco **sm\_computation** e executando o *schematic* clicando em *play*, após isso, retorna-se para o ambiente dos subsistemas (veja a figura 8).

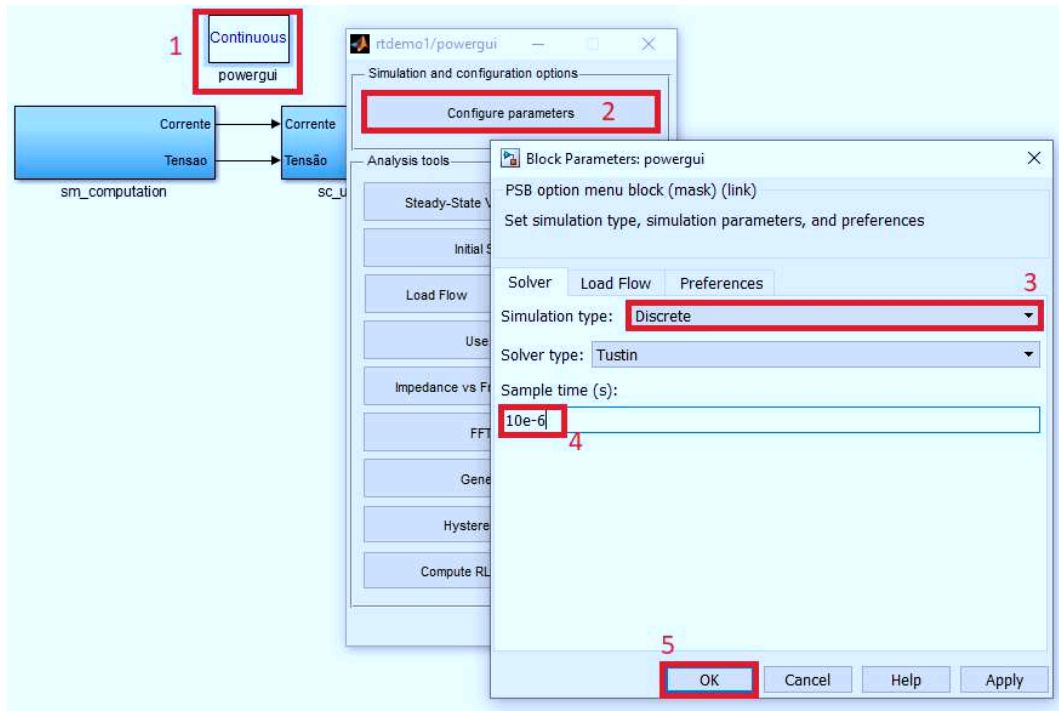


Figura 6 – Parâmetros do bloco **powergui**

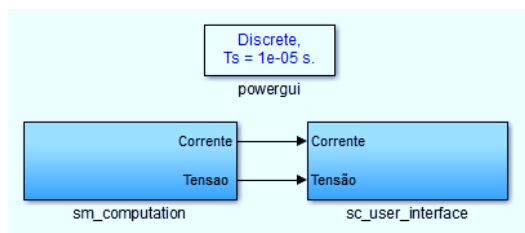


Figura 7 – Estrutura final da interface do projeto no *Simulink*.

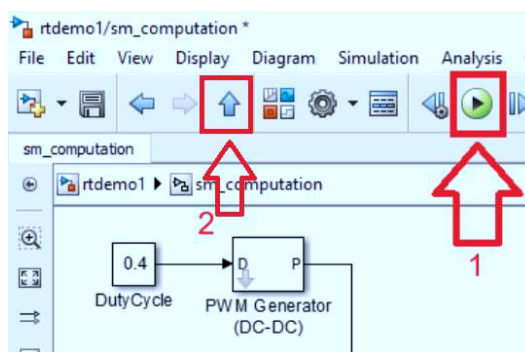


Figura 8 – Execução do modelo clicando no *play* (1) e retorno para a tela onde estão os subsistemas clicando na seta azul (2).

Ao voltar para os subsistemas e seguir a sequência de passos a seguir: **sc\_user\_interface** > *Scope* (veja a figura 9), é mostrado na tela do *host computer* as formas de onda do conversor Buck (veja a figura 10).

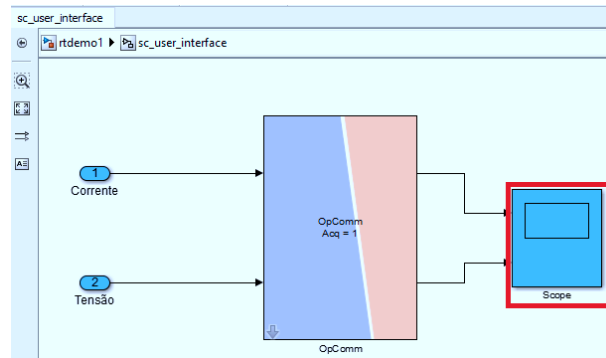


Figura 9 – Clique em *Scope* para mostrar a corrente e a tensão do conversor Buck do exemplo.

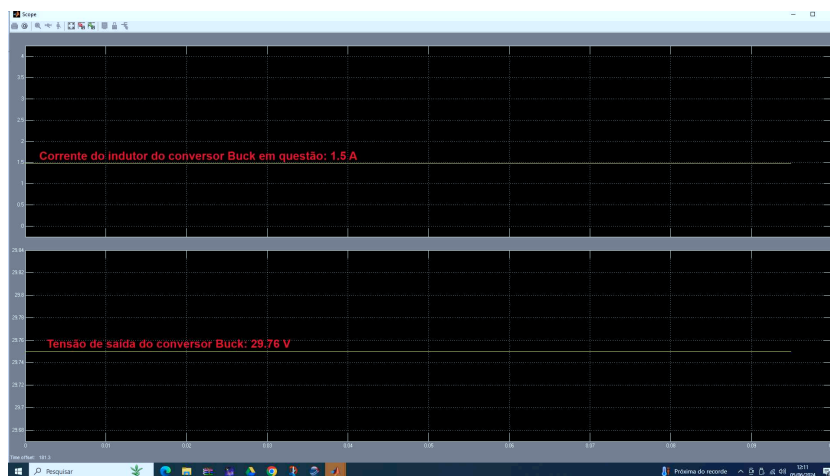


Figura 10 – Corrente e tensão do conversor Buck após simulação utilizando apenas o **RT-LAB**.

### 3.3.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO UTILIZANDO O *HARDWARE*

#### 3.3.2.1 CONVERSOR BUCK

Neste caso, foi utilizado o mesmo exemplo que o anterior, a diferença é que agora não somente há o *software*, como também o *hardware*.

Para isso, o primeiro passo foi a criação de um novo projeto no **RT-LAB**, como mostra a figura [11](#).

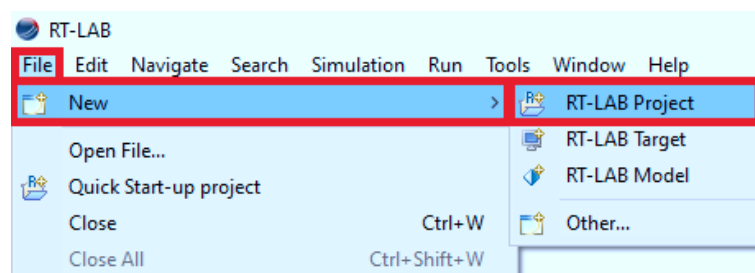


Figura 11 – Executar a sequência de passos a seguir para criar um novo projeto sem precisar sair do **RT-LAB**: File > New > RT-LAB Project.

Em seguida, este novo projeto recebeu um nome, como mostrado na figura 12.

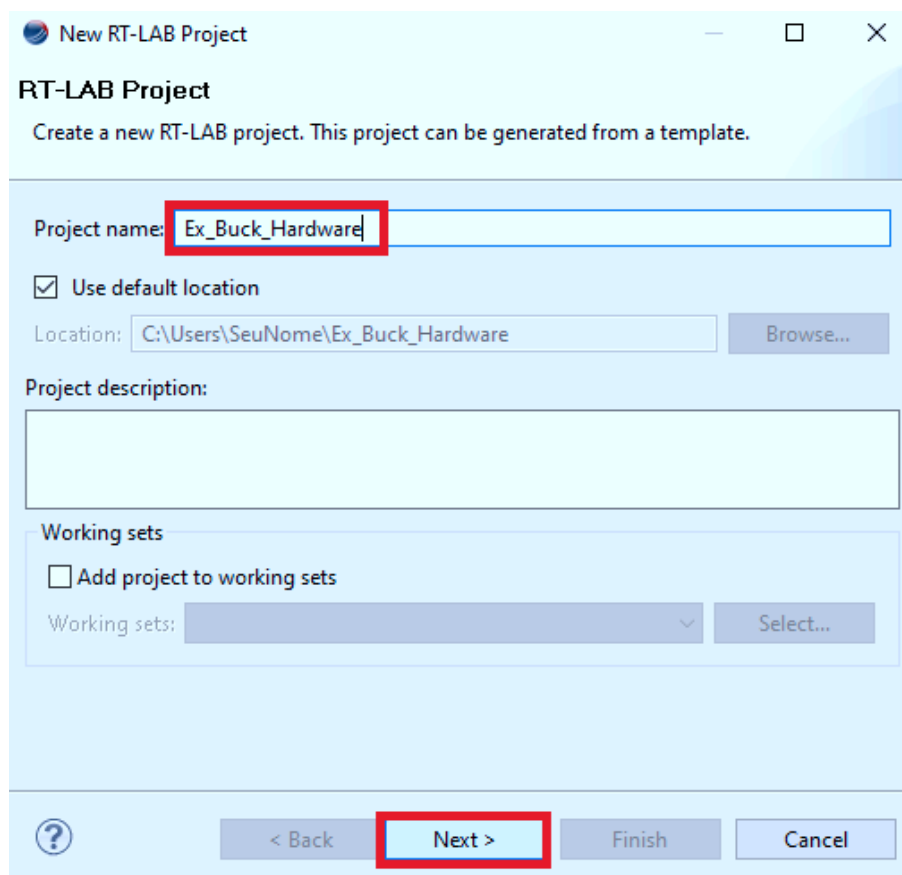


Figura 12 – Dê um nome ao seu novo projeto e clique em *Next*.

Após isso, executam-se os seguintes passos: IO > Opal-RT > OP4500-EX1 > OP4500\_Serie400\_Integration\_Example > Finish. Assim, um *template* IO é selecionado e gerado para este projeto.

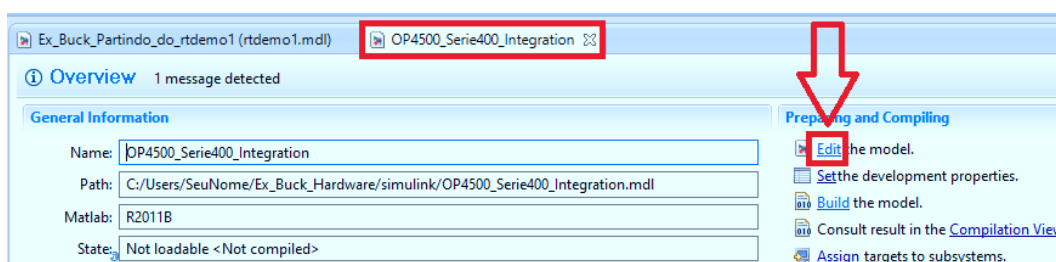


Figura 13 – Clique em **Edit** para abrir o *MatLab/Simulink*.

Ao clicar em Edit, conforme a figura 13, será aberto o *MatLab/Simulink* e sua interface será a mesma que mostrada na figura 14.

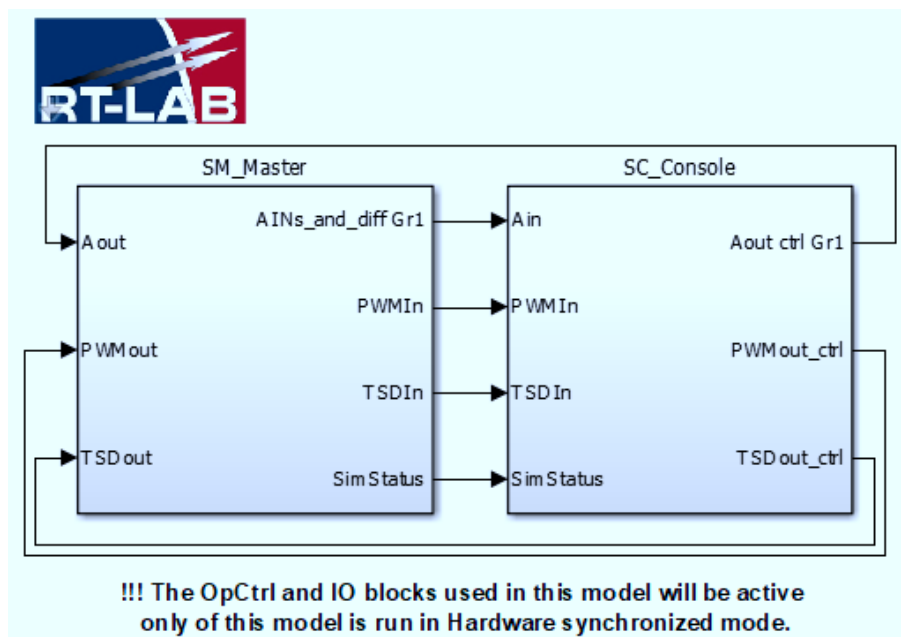


Figura 14 – Interface do *MatLab/Simulink* imediatamente após clicar em Edit, aqui encontram-se os subsistemas.

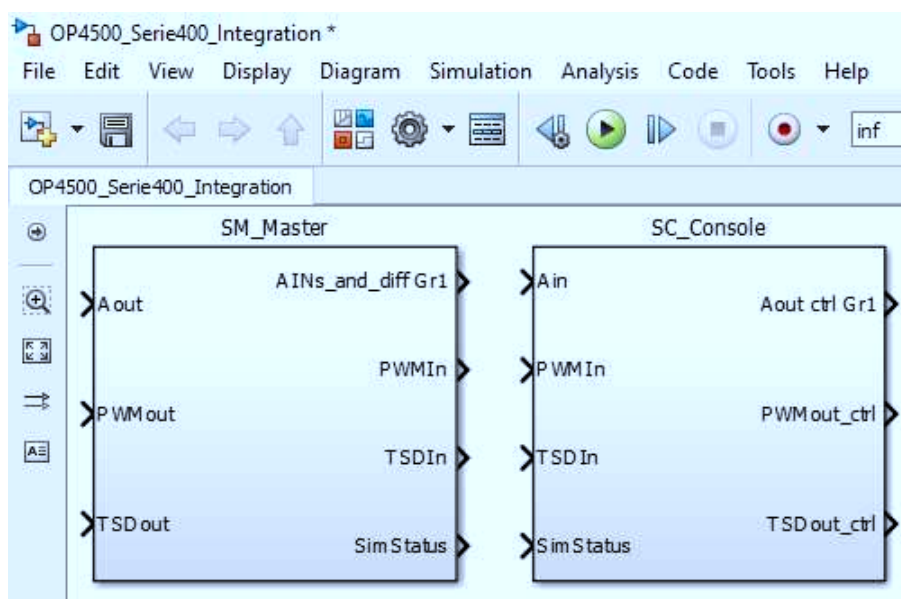


Figura 15 – Interface com interconexões e blocos removidos.

A partir deste ponto será verificado cada subsistema do modelo (SM\_Master e SC\_Console) para exclusão do que não será necessário para o exemplo a ser implementado.

Começando pelo subsistema SM\_Master, após dar um duplo clique, observa-se uma interface conforme a figura 16.

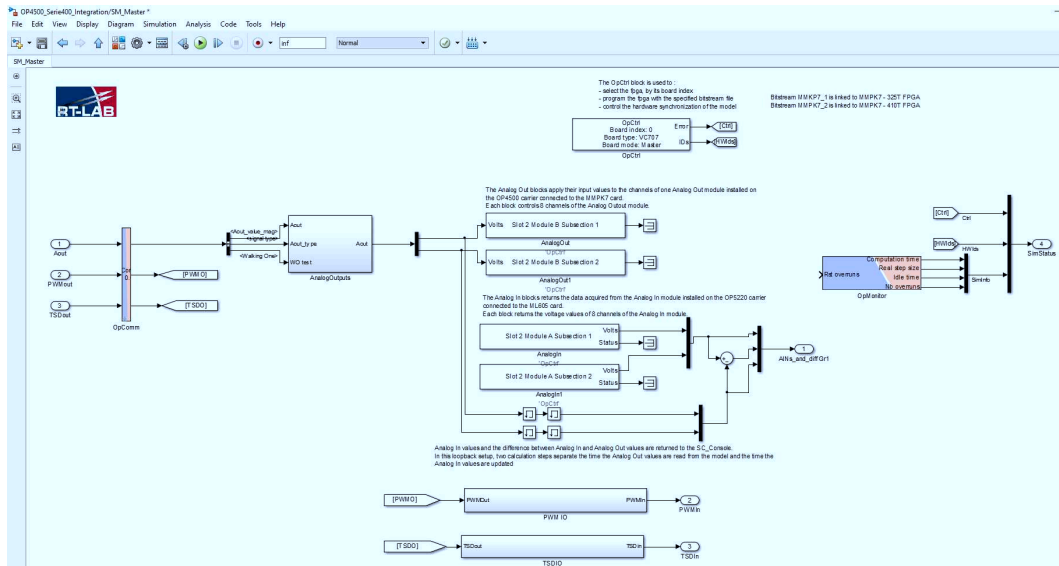


Figura 16 – Interface após dar um duplo clique no subsistema SM\_Master.

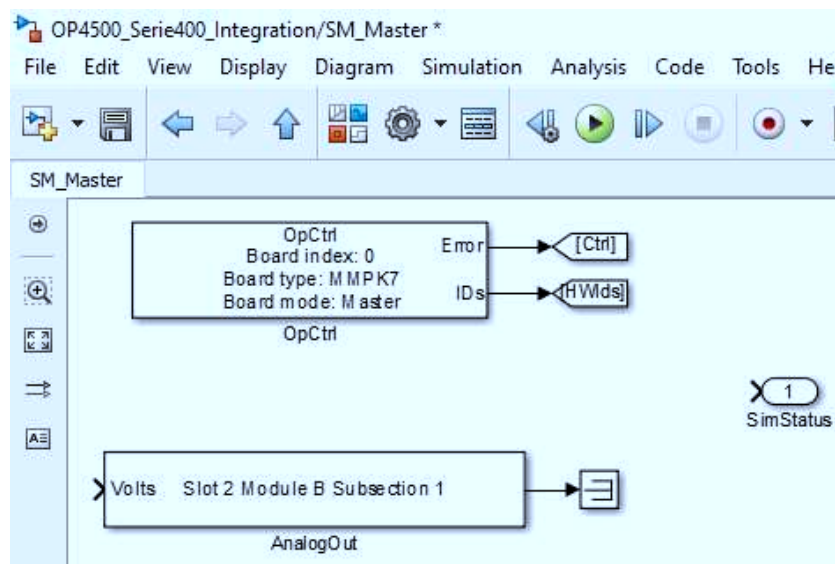


Figura 17 – Interface do subsistema SM\_Master após remover todas as interconexões e blocos que não serão necessários para o novo exemplo.

Ainda dentro do subsistema SM\_Master, o esquemático do circuito Buck do exercício anterior é incluído, conforme a figura 18, com os seguintes parâmetros:  $D = 0.4$ ;  $F_s = 20 \text{ kHz}$ ;  $DC = 50 \text{ V}$ ;  $L = 100\text{e-}6 \text{ H}$ ;  $C = 200\text{e-}6 \text{ F}$ ;  $R = 20 \Omega$ .

Neste esquemático, tem-se a adição de um bloco *gain*, um MUX, um *Saturation* e o bloco *AnalogOut* fica na saída do circuito.

O bloco *gain* está configurado para  $1/10$ , fazendo com que a tensão de saída seja normalizada. Isso acontece porque o *hardware* não suporta tensão maior que  $16 \text{ V}$ , caso contrário, o equipamento é danificado.



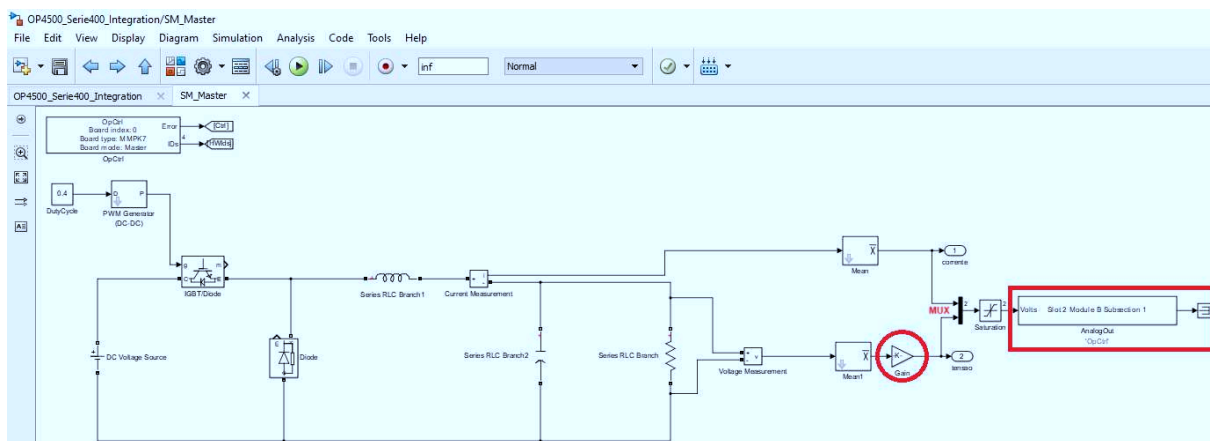


Figura 18 – Schematic do conversor Buck.

Ainda nesta página, os parâmetros da engrenagem são observados, observe a figura 19. Necessita-se de atenção para o parâmetro *fixed-step size (fundamental sample time)*, pois ele deverá ser, obrigatoriamente, igual ao valor do *Sample time* no bloco *powergui* da figura 20. Caso contrário, a simulação não funcionará.

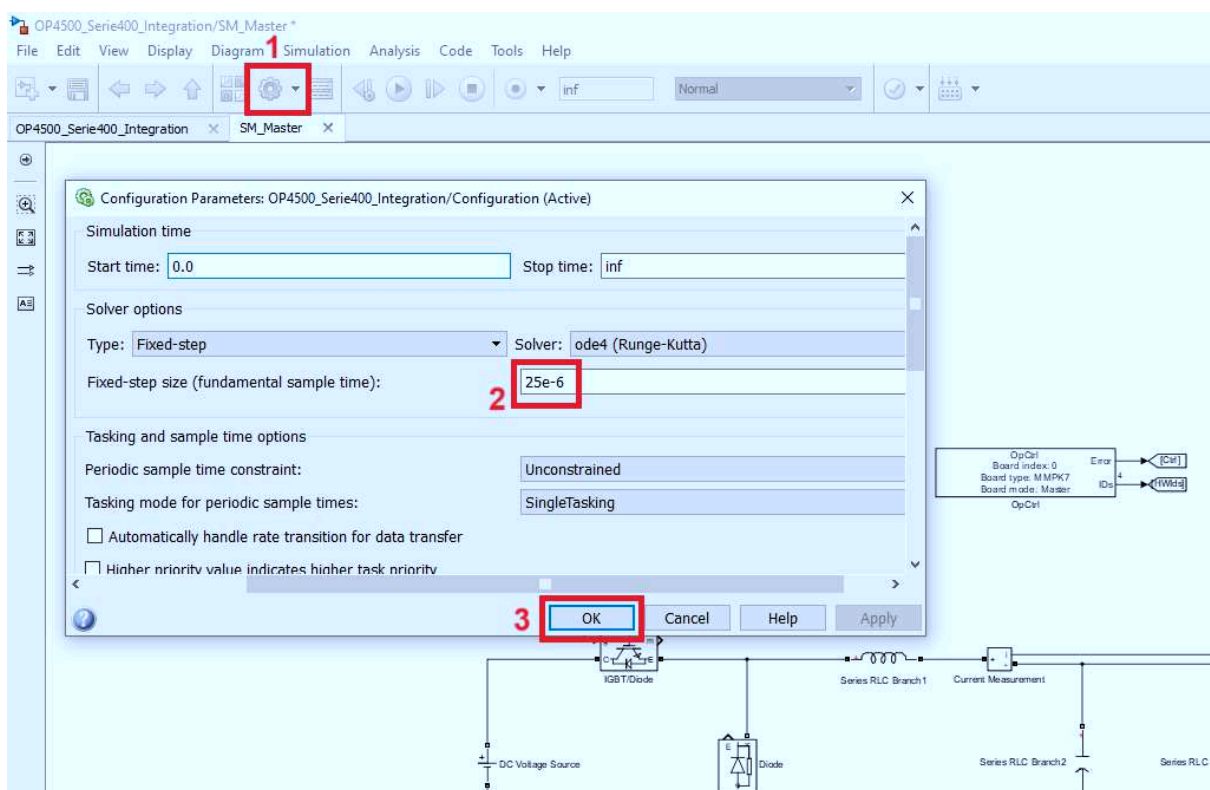


Figura 19 – Parâmetros da simulação no subsistema SM\_Master.

Após montar o modelo desejado dentro do bloco SM\_Master (neste caso, foi o conversor Buck) deve-se retornar à interface do **RT-Lab** e carregar o modelo no **Opal-RT** executando os seguintes passos: Build, Load e Execute.

Voltar para o ambiente onde se encontram os dois subsistemas, adicionar o bloco *powergui* e fazer a configuração dele como mostra a figura 20. Depois disso, entrar no SC\_Console. Ao dar um duplo clique no bloco, será apresentada uma interface conforme a figura 21.

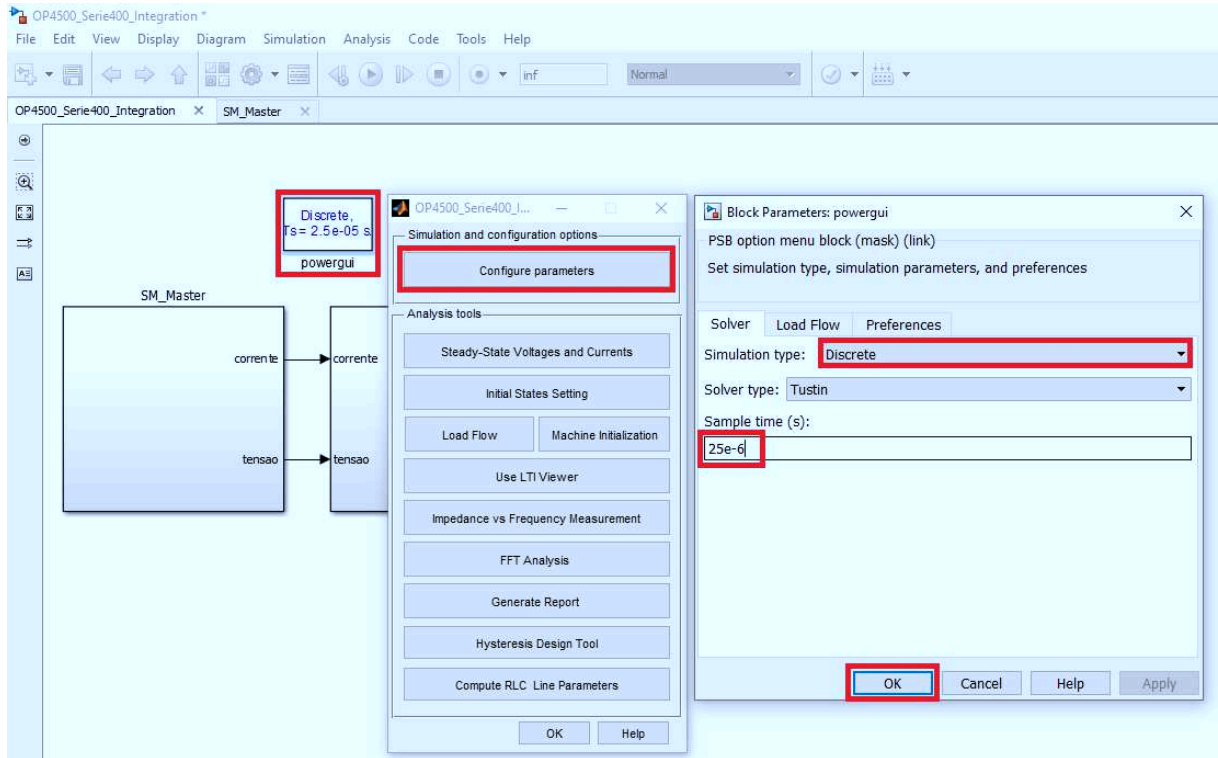


Figura 20 – Parâmetros do bloco *powergui*.

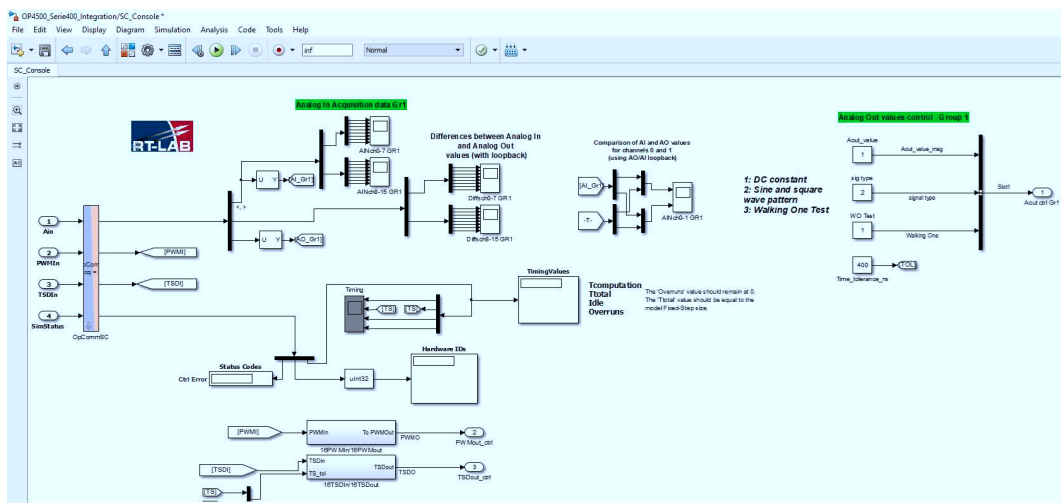


Figura 21 – Interface após dar um duplo clique no subsistema SC\_Console.

O arquivo sempre deverá ser salvo conforme as figuras 22 e 23, assim, não haverá alteração do arquivo original do *template* que já vêm no **RT-Lab**.

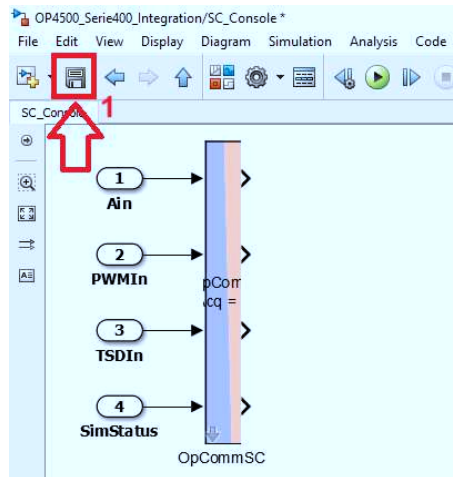


Figura 22 – Clicar em Salvar.

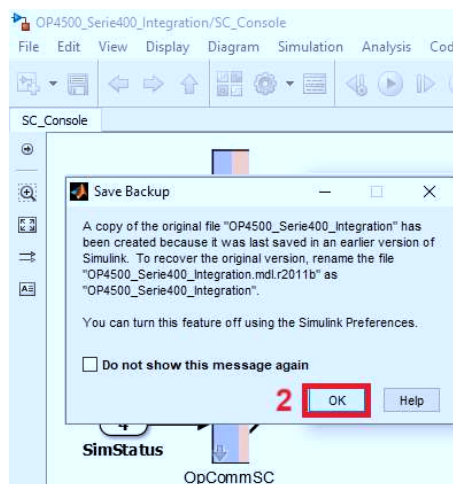


Figura 23 – Clicar em OK.

Ao dar um duplo clique no bloco OpComm, alterar o número de entradas e saídas, deixando somente o necessário para o exemplo, ou seja, duas entradas (corrente e tensão). Adicionar um bloco *Scope*, conforme a figura 24, para visualização do sinal de saída através dele.

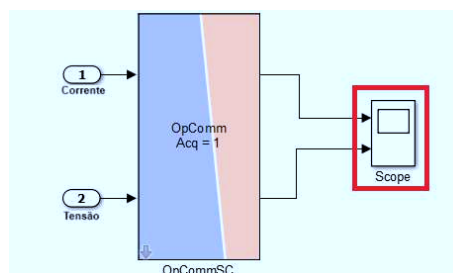


Figura 24 – Subsistema SC\_Console depois das alterações.

Após clicar em *Scope*, serão visualizados os sinais de corrente e tensão no osciloscópio conforme a figura 25.

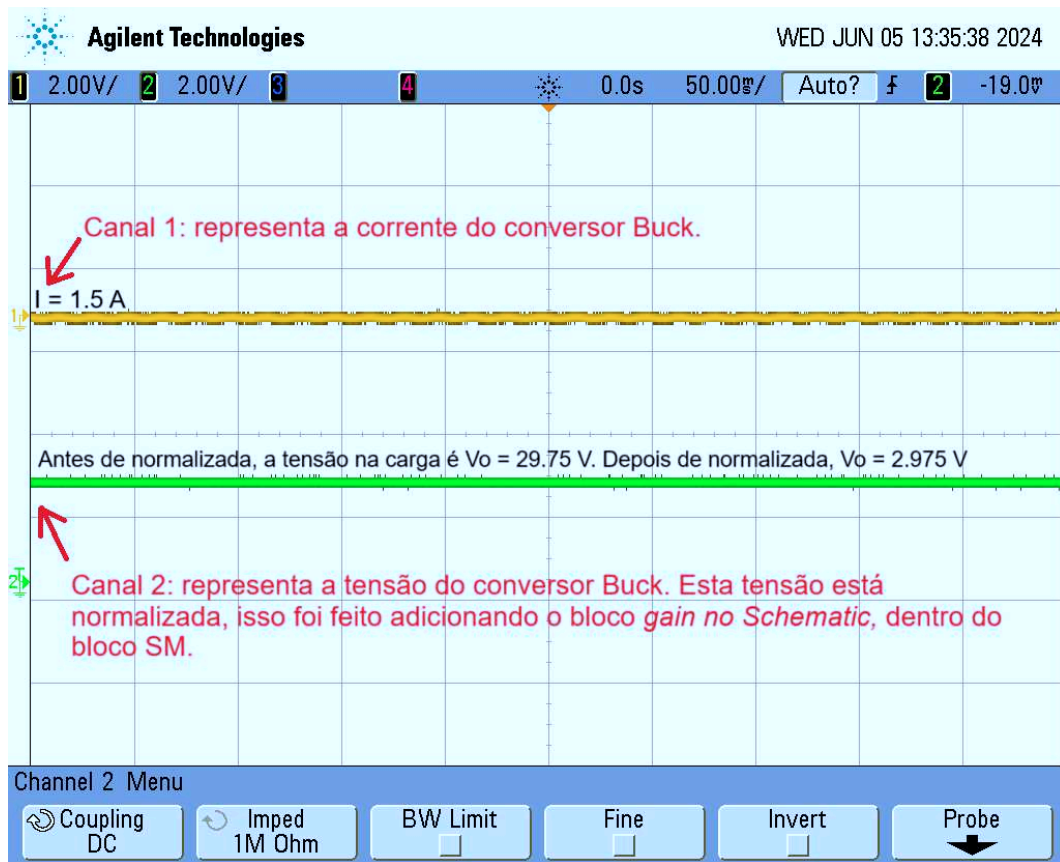


Figura 25 – Corrente e tensão visualizadas pelo osciloscópio.

Dessa forma, foi possível verificar que, em ambos os casos, os modelos implementados tanto no **RT-Lab** quanto no **Opal-RT**, obtiveram o mesmo resultado.

## 4 MELHORIAS FUTURAS

Embora o trabalho realizado tenha sido significativo, sempre há espaço para melhorias.

Os desafios encontrados durante o projeto envolveram limitações técnicas e de conhecimento, uma vez que, para executar a simulação em *Hardware in the Loop* (HIL), é necessário discretizar todo o sistema de controle, utilizando o tempo de amostragem e implementando o modelo em linguagem C no DSP (*Digital Signal Processing*).

Por essa razão, recomenda-se, para futuras iterações deste trabalho, a implementação do *Hardware in the Loop* (HIL), o que pode complementar e aprimorar o trabalho realizado. Esta técnica é essencial na engenharia, pois permite testar e desenvolver sistemas de controle e dispositivos de *hardware* em um ambiente simulado. Sua principal característica é a integração de componentes de *hardware* reais no *loop* de simulação, possibilitando a validação e verificação do desempenho do *hardware* sob condições realistas, sem a necessidade de um sistema completo ou em operação real.

Além disso, a inclusão de outros exemplos poderá enriquecer o guia e expandir o conhecimento para estudantes de projetos, graduação, mestrado e doutorado que utilizam a plataforma OPAL-RT.

## 5 CONCLUSÕES

Por fim, durante o período de estágio, a estagiária aprofundou seus conhecimentos no MATLAB/*Simulink*, ferramenta que já havia sido utilizada em outras disciplinas durante a graduação, e compreendeu a importância da plataforma de simulação em tempo real OPAL-RT para a engenharia. A oportunidade proporcionada pelo estágio permitiu a aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos ao longo da formação acadêmica, com um exemplo na eletrônica de potência: o conversor Buck.

O guia elaborado permitirá que mais estudantes e pesquisadores da área da engenharia iniciem o uso da plataforma e compreendam os aspectos essenciais para realizar simulações básicas. O material didático detalha os parâmetros de cada bloco necessário em cada simulação, facilitando a aprendizagem.

Além disso, acredita-se que as competências e o amplo conhecimento adquiridos ao longo do estágio desempenharão um papel crucial na carreira profissional da estagiária, proporcionando uma base sólida para enfrentar futuros desafios e alcançar conquistas na área.

# REFERÊNCIAS

UFCG. *LEIAM*. 1976. Acessado em: 26 de abril de 2024. Disponível em: <https://www.dee.ufcg.edu.br/in%ADcio/infraestrutura/laborat%B3rios-de-pesquisa/laborat%B3rio-de-eletr%B4nica-industrial-e-acionamento-de-m%C3%A1quinas#h.r2ehblyy7q9>. 