

FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

RÉRISSON RODRIGUES PINTO

CONTROLADOR FUZZY APLICADO À UM CONVERSOR CHOPPER

**CARATINGA
2018**

RÉRISSON RODRIGUES PINTO
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

CONTROLADOR FUZZY APLICADO À UM CONVERSOR CHOPPER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica das Faculdades Doctum de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Novas tecnologias.

Orientador: Prof. Guilherme Cassimiro de Araújo Borges.

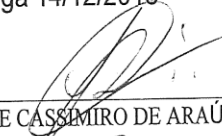
CARATINGA
2018

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: CONTROLADOR FUZZY APLICADO A UM CONVERSOR CHOPPER, elaborado pelo(s) aluno(s) RÉRISSON RODRIGUES PINTO foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

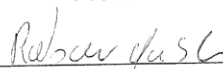
Caratinga 14/12/2018



GUILHERME CASSIMIRO DE ARAÚJO BORGES
Prof. Orientador



RICARDO BOTELHO CAMPOS
Prof. Avaliador 1



ROBSON DA SILVA
Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Deus por tudo o que tenho hoje, amigos, saúde e uma família maravilhosa.

À minha família, por sempre confiar e me dar apoio, sem eles não teria a força que eu tenho hoje. Em especial aos meus pais, na qual me derem sempre apoio e sem eles eu não teria essa oportunidade de estudo.

Aos meus colegas de faculdade, que muitos eu levarei como amigos para a vida toda.

À Rede Doctum (Caratinga), organização que me proporcionou aprendizado e oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas da qual levarei como amigos para toda a vida.

À minha namorada, por todo apoio e estar ao meu lado, foi um ano muito difícil tanto na vida pessoal quanto na faculdade.

Ao meu orientador, por estar disponível para me ajudar, na minha formação e meu aprendizado.

LISTA DE IMAGEM

Figura 1: Diagrama do Conversor Buck	18
Figura 2: Diagrama do conversor Buck com Controlador PI.....	18
Figura 3: Simulação da tensão com entrada de 12V (PI).....	19
Figura 4: Simulação de tensão com entrada de 24V (PI).....	19
Figura 5: Simulação de tensão com entrada de 50V (PI).....	20
Figura 6: Diagrama do conversor Buck com controlador PID.....	20
Figura 7: Simulação da tensão com entrada 12V (PID).....	21
Figura 8: Simulação da tensão com entrada 24V (PID).....	22
Figura 9: Simulação da tensão com entrada de 50V (PID).....	22
Figura 10: Diagrama do conversor Buck com controlador Fuzzy.....	23
Figura 11: Simulação da tensão com entrada 12V (Fuzzy)	24
Figura 12: Simulação da tensão com entrada 24V (Fuzzy)	24
Figura 13: Simulação da tensão com entrada 50V (Fuzzy)	25
Figura 14: Simulação da tensão com entrada 12V (Fuzzy)	25
Figura 15: Diagrama do Conversor Boost.....	29
Figura 16: Diagrama do conversor Boost com controlador PI	30
Figura 17: Simulação da tensão com entrada 12V (PI Boost).....	30
Figura 18: Simulação da tensão com entrada 8V (PI Boost)	31
Figura 19: Simulação da tensão com entrada de 4V (PI Boost).....	31
Figura 20: Diagrama do conversor Boost com controlador PID	32
Figura 21: Simulação da tensão com entrada 12V (PID Boost).....	32
Figura 22: Simulação da tensão com entrada 8V (PID Boost)	33
Figura 23: Simulação da tensão com entrada 4V (PID Boost)	34
Figura 24: Diagrama do conversor Boost com controlador Fuzzy	34
Figura 25: Simulação da tensão com entrada 12V (Fuzzy Boost)	35
Figura 26: Simulação da tensão com entrada de 8V (Fuzzy Boost).....	35
Figura 27: Simulação da tensão com entrada de 4V (Fuzzy Boost).....	36
Figura 28: Simulação da tensão com entrada 12V (resistor alterado).....	36

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1: Gráfico comparativo dos controladores (12V).....	26
Gráfico 2: Gráfico comparativo dos controladores (24V).....	27
Gráfico 3: Gráfico comparativo dos controladores (50V).....	27
Gráfico 4: Gráfico comparativo dos controladores (resistor modificado)	28
Gráfico 5: Gráfico comparativo dos controladores (12V).....	37
Gráfico 6: Gráfico de comparação dos controladores (8V)	38
Gráfico 7: Gráfico comparativo dos controladores (4V)	39
Gráfico 8: Gráfico comparativo dos controladores (resistor alterado)	40

LISTA DE SIGLAS

CC-CC – Corrente Contínua

PI – Proporcional Integral

PID – Proporcional Integral Derivativo

R – Resistor

L – Indutor

C – Capacitor

V – Voltage

H – Unidades de Medida Henry

F – Unidade de Medida Faraday

OHM – Unidade de Medida Ômicos

PINTO, Rérisson Rodrigues. **CONTROLADOR FUZZY APLICADO A UM CONVERSOR CHOPPER**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Caratinga, 2018.

RESUMO

Os sistemas de controle são extremamente importantes em produções industriais, geração de energia e até mesmo em locais mais simples como um sistema de abastecimento de água. Neste trabalho visamos demonstrar lógica de controle Fuzzy, é um sistema criado para analisar e controlar dados de circuitos, onde se exige grande precisão. Este projeto tem o intuito de demonstrar a funcionalidade do controlador Fuzzy, obtendo dados que permitem determinar, se é realmente aplicável a conversores choppers. O sistema Fuzzy será aplicado a um conversor Buck e Boost, tendo em vista o objetivo de controlar esses conversores, com uma precisão melhor e com mais eficiência. Para isso foi montado simulações, que permitem visualizar a eficiência e comparar com outros controladores, visando esclarecer se ele é realmente preciso ou apresenta respostas próximas a de outros sistemas de controle.

Palavras chave: Sistemas de Controle. Conversores Choppers. Simulações.

PINTO, Rérisson Rodrigues. **CONTROLADOR FUZZY APLICADO A UM CONVERSOR CHOPPER**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Caratinga, 2018.

ABSTRACT

Control systems are extremely important in industrial production, power generation and even in simpler locations such as a water supply system. In this work we aim to demonstrate Fuzzy control logic, a system created to analyze and control circuit data, where high precision is required. This project has the purpose of demonstrating the functionality of the Fuzzy controller, obtaining data to determine if it is really applicable to choppers. The Fuzzy system will be applied to a Buck and Boost converter, in order to control these converters with better accuracy and more efficiently. For this, simulations were set up, which allow visualizing efficiency and comparing with other controllers, in order to clarify if it is really accurate or presents responses close to that of other control systems.

Key words: Control Systems. Converters Choppers. Simulations.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Sistema Fuzzy	12
2.2 Sistema de Controle Inteligente	13
2.3 Utilizando a Lógica Fuzzy	13
2.4 Princípios básicos da lógica Fuzzy	13
2.5 Controlador Fuzzy Aplicado a um Conversor Buck-Boost	14
2.6 Simuladores	15
2.6.1 Matlab.....	15
2.6.2 Simulink.....	15
3. DESENVOLVIMENTO	17
3.1 Simulações	17
3.2 Simulação do conversor Buck no Simulink	17
3.2.1 Conversor Buck conectado ao controlador PI	17
3.2.2 Conversor Buck conectado ao controlador PID.....	20
3.2.3 Conversor Buck conectado ao controlador Fuzzy	22
3.2.4 Comparação da simulação dos controladores	26
3.3 Simulação do conversor Boost	28
3.3.1 Conversor Boost conectado ao controlador PI	29
3.3.2 Conversor Boost conectado ao controlador PID	32
3.3.3 Conversor Boost conectado ao controlador Fuzzy	34
3.3.4 Comparação da simulação dos controladores	37
4. CONCLUSÃO	41
4.1 Trabalhos Futuros	42
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Iniciando do princípio de novas tecnologias surgiu a proposta de testar a funcionalidade de um controlador, que não é tão comentado, mais sua cronologia o mostra como bastante completo e eficaz (Sistema Fuzzy). Os controladores são peças fundamentais, são sistemas que permitem organizar e controlar qualquer tipo de produção ou geração de energia. Existem vários tipos de sistemas de controle, os principais usados são o PI (Proporcional Integral), PID (Proporcional Integral Derivativo), Fuzzy (tradução: Confusão) que será detalhado neste projeto. Decidiu-se fazer vários testes em simuladores, aplicando seu controle a algo que esteja sendo bem utilizado nos dias atuais (conversores CC-CC), que são utilizados em geração de energia, tanto eólica como a solar. Neste projeto decidiu-se fazer o controle de um conversor Chopper com sistema Fuzzy, de modo que alterando os dados do circuito, o controle continua atuando e tentando ficar o mais próximo possível do valor requerido, permitindo solucionar várias dúvidas: porque não é tão utilizado? É um sistema mais eficaz e preciso que os outros?

Para o desenvolvimento desse projeto foi utilizado o programa Matlab, que tem um aplicativo dentro dele (Simulink), que nos permite fazer circuitos de maneiras diferente, de modo que você possa montar da sua maneira, e com o âmbito que quiser. Por ser um aplicativo do Matlab bem completo, sua biblioteca é bem vasta, assim podendo aplicar controladores à circuitos (que é o intuito desse projeto).

O sistema Fuzzy foi aplicado a vários testes, nos permitindo ver sua funcionalidade, e realmente testar se é eficaz, para testes decidiu-se escolher dois conversores, de modo que ficasse padronizado e pudesse ser usado para comparação dos resultados, os conversores utilizados, foram o Buck (Abaixador de tensão) e o Boost (Elevador de tensão). Para ter parâmetros de comparação decidiu-se utilizar controladores que tem a mesma função do controlador Fuzzy, que são até mais utilizados para controles mais simples por sua fácil aplicação, porém teoricamente não tem tanta precisão quanto o sistema em questão, os controladores utilizados para teste foram PI (Proporcional Integral) e o PID (Proporcional Integral Derivativo), que desempenham a função de controlar a tensão de saída dos conversores. A partir disso obtivemos vários resultados que nos permitiu sanar as dúvidas existentes no início deste projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A área de inteligência artificial tem se estabelecido em diversas frentes nos últimos anos. O uso de componentes como: computadores, microcontroladores, processadores digitais, aliados a técnica de controle, tem permitido a aplicação de complexos algoritmos em locais que exigem métodos bem eficazes e de grande precisão. Desta forma sistemas de controles existente, obtiveram grande funcionalidade no meio tecnológico sendo utilizado, em processos antes não viáveis devido à sua grande complexidade. Em meio a vários sistemas de controle inteligentes, o controle e modelagem Fuzzy, encontrou um campo fértil na aplicação em sistemas de geração de energia renováveis, na interação com a rede de distribuição e transmissão de energia elétrica e na modelagem de sistemas não lineares (SIMOES, 2007).

2.1 Sistema Fuzzy

A lógica Fuzzy é um elemento fundamental em diversos sistemas, sendo uma técnica de grande funcionalidade no universo computacional. O sistema Fuzzy pode ser compreendido como uma situação em que não se pode responder simplesmente “sim” ou “não”, mesmo que se conheça as informações sobre a situação, seja mais apropriado responder um “talvez” ou “quase” (CHENCI, 2011).

Diferente da lógica Booleana que admite apenas valores booleanos, ou seja, verdadeiro ou falso, que trata valores que variam entre 0 e 1. Desse modo uma pertinência de 0.5 pode representar meio verdade, logo 0.9 e 0.1, representam quase verdade e quase falso (SILVA, 2005).

2.2 Sistema de Controle Inteligente

Sistemas de controle trabalham com uma função, que permite enviar um dado, passar por uma função de transferência e obter a resposta de modo rápido. Sistemas chamados de inteligentes são aqueles que fornecem respostas que solucionam problemas mesmo que sejam inesperadas ou novas, mais específicas ao conteúdo que se deseja. O funcionamento de sistemas inteligentes geralmente é associado a analogias como por exemplo: uma pessoa tomando decisões ou reconhecendo padrões. Atualmente a possibilidade de soluções que as máquinas computacionais proporcionam é superior aos seres humanos, devido ao fato que as

peças raciocinam de forma incerta, difusa, imprecisa ou nebulosa, enquanto as máquinas são movidas por raciocínio preciso e binário (SIMOES, 2007).

2.3 Utilizando a Lógica Fuzzy

Novas tecnologias são inventadas devido às necessidades específicas. O surgimento da lógica Fuzzy foi causada pela necessidade de um método eficaz e capaz de expressar de uma maneira sistemática quantidades imprecisas, vagas ou mal definidas. Em vez de se utilizar um modelo matemático, os controladores baseados na lógica Fuzzy podem conter o conhecimento de operadores treinados, gerando uma ação tão boa quanto a deles e sempre consistente (SIMOES, 2007).

O sistema Fuzzy é muito útil em tarefas de tomar decisão, onde as variáveis individuais não são definidas em termos exatos. Quando há sequenciamento de tarefas de produção industrial, ou na aplicação em logística e planejamento de manutenção, o uso da lógica Fuzzy pode gerar vantagens adicionais devido à facilidade de implementação e custo benefício (SIMOES, 2007).

Um fator interessante a se notar é que a cultura ocidental é fundamentada na lógica binária, que embora resolva de forma eficaz muitos problemas, ela está baseada somente entre ser ou não ser, entre claro e escuro, devido a isso é necessário que se preencha os espaços não adequadamente endereçados pelo método da lógica binária. Neste sentido, a lógica Fuzzy permitiria ver os espaços em sistemas binários e preenche-los de forma eficaz e com bastante exatidão (SIMOES, 2007).

2.4 Princípios básicos da lógica Fuzzy

Os princípios básicos da lógica Fuzzy são de grande importância para o entendimento aprofundado desse sistema de controle, pois mostra sua reação a modos operante, independente do que esteja conectado a ele. Dentre seus princípios estão:

- a) bivalência: O atributo da bivalência significa a utilização de dois valores, algo que é verdadeiro ou não verdadeiro, branco ou preto ou um e zero (SIMOES, 2007);
- b) multivalência: Um considerável descompasso entre o mundo real e nossa visão bivalente do mesmo, a começar pelo fato que o mundo real contém um

número infinito de sombreamentos e graus de cinza entre as cores preta e branca (SIMOES, 2007);

- c) implicação lógica e regras de interferência: Um aspecto relevante na forma de pensar dos seres humanos, a implicação lógica, que consiste na formulação de uma conexão entre causa e efeito, ou uma condição e sua consequência (SIMOES, 2007).

2.5 Controlador Fuzzy Aplicado a um Conversor Buck-Boost

O conversor Buck-Boost (abaixador-elevador) de tensão, produz uma tensão de saída variando de zero até nove vezes sua tensão de entrada, e pelo princípio de conversão de energia, produz uma corrente de saída variando de acordo com a carga. Teoricamente esse tipo de conversor é concebido para possibilitar uma variação contínua de tensão na carga, variando de 0 até o valor de tensão que o circuito está alimentado (BARBI, 2000).

O Buck-Boost, apesar de possuir uma topologia simples, é um dos mais utilizados na eletrônica de potência, apresentando diversas funções. Na função de transformação de energia para alimentação de aparelhos eletrônicos, tais como celulares, notebooks, home-theater, o Buck-Boost é amplamente utilizado, por conter uma topologia mais simples de trabalhar e operar bem com grandes variações de tensão. O funcionamento do conversor Buck-Boost é separado em duas etapas em condição contínua. Dessa maneira a relação entre o tempo de condução da chave e o período de comutação, define a razão cíclica, e pode assumir valores entre 0 e 1 (MUHAMMAD, 1999).

O processo ao qual o conversor é submetido apresenta traços de não-linearidades. Para que isso ocorra, geralmente utilizam-se técnicas de controle linear, que consistem em descrever a função de transferência em um ponto de atenuação. Em situações na qual necessita-se de um sistema de controle mais preciso, é viável a utilização de uma metodologia de controle que considere essas não-linearidades. Com isso pode-se observar que o sistema Fuzzy é aplicado à várias áreas, no qual objetiva-se um modelo mais próximo do real, e deste modo, projetar controladores que possibilitam respostas com critério de desempenho especificado em projeto, mesmo em situações na qual a resposta do sistema se afasta de um ponto de operação desejado.

2.6 Simuladores

A simulação é uma área do conhecimento que trabalha de maneira complementar. O desenvolvimento de uma pesquisa a respeito de suas funções exige a introdução de conceitos básicos de diferentes áreas do conhecimento. Por isso estaremos utilizando um simulador para auxílio e montagem dos conversores e controladores, de modo que fique mais funcional e fácil de visualizar os dados.

Pode-se definir simulação como o processo de implementação de modelos que permitem a visualização e a manipulação de objetos em ambientes tridimensionais criados por computadores e transmitidos aos usuários através de periféricos (FEIJO, 2006).

2.6.1 Matlab

O Matlab é um sistema de computação algébrica, numérica e gráfica, desenhado para uso profissional na resolução de problemas que exigem métodos matemáticos. Apresenta soluções para resolução de problemas complexos, auxiliando no desenvolvimento tecnológico de produtos para as áreas: automotiva, aeroespacial, comunicações, serviços financeiros, biotecnologia, eletrônica, dentre outras. Auxiliando cientistas, engenheiros, professores e estudantes destas áreas. Convém observar que esse sistema não é desenhado especialmente para atingir objetivos pedagógicos, mas é projetado para atender às necessidades do profissional na resolução de problemas (NOBRE, 2005).

É certo que a utilização adequada desse sistema pode contribuir muito para cientistas, professores e alunos a nível de graduação ou profissional.

2.6.2 Simulink

O trabalho desenvolve-se totalmente com base nos softwares Matlab e Simulink, ambos amplamente utilizados pelas áreas de controle e processamento digital de sinais, por conter confiabilidade em suas simulações, e por ter facilidade de montagem de sistemas.

O Simulink é um ambiente de diagrama de blocos de um sistema, permitindo seu projeto, simulação, geração de código automática, bem como o teste de verificação contínua de sistemas embarcados. Fornece um editor gráfico, uma base de blocos que pode ser personalizada, e soluções para modelagem e simulação de

sistemas dinâmicos. Além disso, o fato de ser integrado ao Matlab, permite incorporar algoritmos nos modelos de Simulink e exportar resultados para o Matlab para realizar outras análises (BIAGIONI, 2013).

3 DESENVOLVIMENTO

Para a realização deste trabalho, foi feito pesquisas a vários assuntos que tem relação ao tema visando aprender os princípios básicos e entender o funcionamento de qualquer tipo de operação relacionada a controle Fuzzy e conversores CC-CC, para que se possa ter base científica, tendo então embasamento teórico científico e facilidade em procedimentos práticos para comprovação do tema.

3.1 Simulações

Para comprovação da funcionalidade do sistema Fuzzy, será feito e analisado seu funcionamento conectado a conversores, permitindo obter clareza de que seu funcionamento é eficiente, e de modo comparativo, mais eficaz que outros tipos de controladores como por exemplo: PI e PID. As simulações foram feitas no Simulink (aplicativo de montagem de circuitos), um aplicativo do Matlab que permite montar circuitos, agregar valores e aplicar controladores, vendo seu desempenho através de gráficos e dados em tempo real. Os controladores serão analisados conectados a conversores, permitindo assim avaliar seu desempenho e melhor meio de comparação de seus resultados.

3.2 Simulação do conversor Buck no Simulink

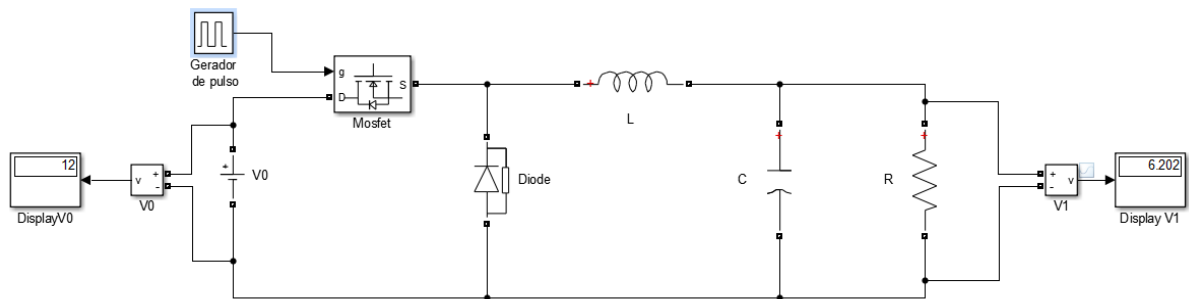
O conversor Buck tem a função de abaixar a tensão que passa por seu circuito, para o funcionamento do abaixador de tensão é necessário componentes específicos para compor o circuito, sendo assim os seguintes componentes: indutor, capacitor, resistor, diodo, mosfet e fonte de alimentação. Para obter o controle da tensão de saída precisamos de um estabilizador, de acordo com a necessidade, quando precisamos de uma tensão estável e sabemos que a tensão de entrada é regular, pode-se colocar o gerador de pulso que já atende aos requisitos. Usando uma entrada de tensão irregular precisamos de um controlador que estabilize a tensão na saída, com isso há necessidade de escolha de acordo com a função que se deseja.

Com o avanço das tecnologias, em todo os lugares procuramos algo que nos auxilie de modo geral, mais quando temos a possibilidade de escolha, procuramos sempre o mais funcional e o melhor aplicável a ocasião. Iremos apresentar

exemplos de controladores, que tem o intuito de mostrar sua funcionalidade e sua exatidão aplicados ao conversor Buck.

A seguir na figura 1, temos a imagem do conversor Buck montado no simulador.

Figura 1: Diagrama do Conversor Buck



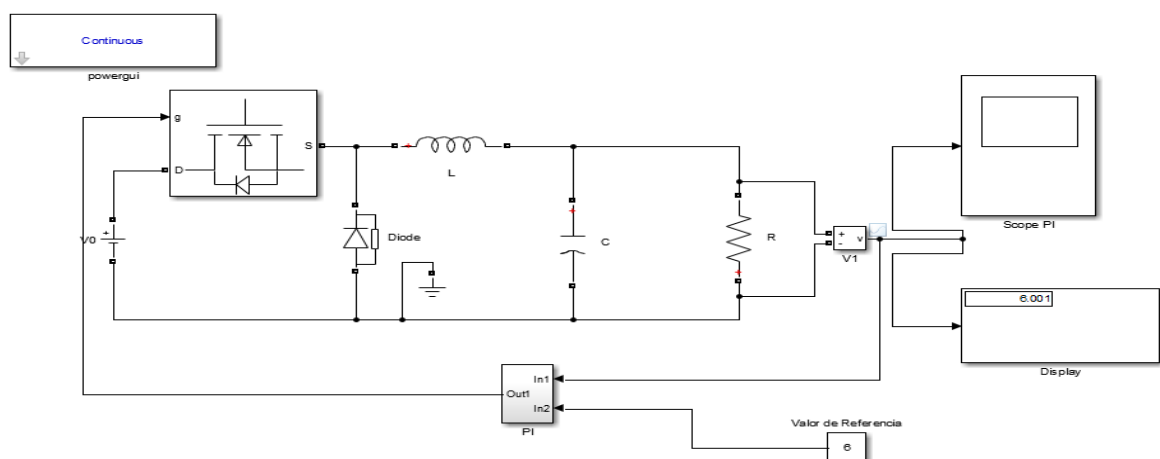
Fonte: Autor (2018)

3.2.1 Conversor Buck conectado ao controlador PI

O conversor Buck (figura 1), montado para uma entrada de tensão de 12V e saída de 6V, a partir disso foi conectado ao conversor o controlador PI com parâmetros de estabilização da tensão em 6V, mais para que possamos ver melhor seu funcionamento e sua ação para estabilização, iremos aplicar diferentes tensões na entrada do circuito para ter parâmetros de comparação de sua funcionalidade no sistema.

A seguir (figura 2) temos a imagem do conversor Buck conectado ao controlador PI.

Figura 2: Diagrama do conversor Buck com Controlador PI

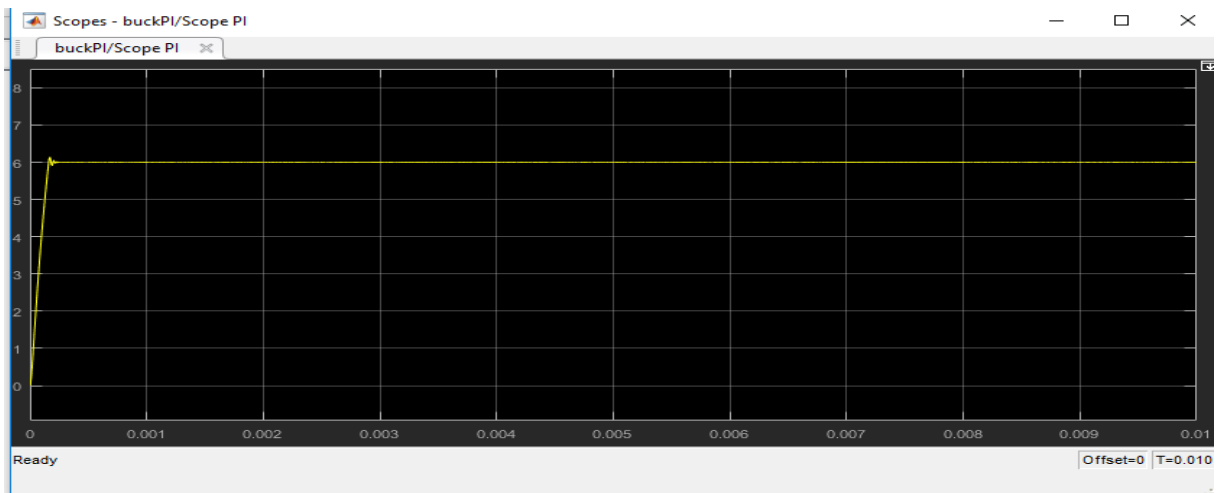


Fonte: Autor (2018)

Com o circuito montado, coletamos resultados que nos permite observar seu funcionamento, e analisar seus parâmetros. Há gráficos demonstrando a tensão, sendo aonde um terá uma tensão inicial diferente, para servir de parâmetro de comparação.

Na figura 3, mostramos o padrão de estabilização da tensão utilizando o controlador PI, com tensão de entrada de 12V, e saída estabilizada com 6V.

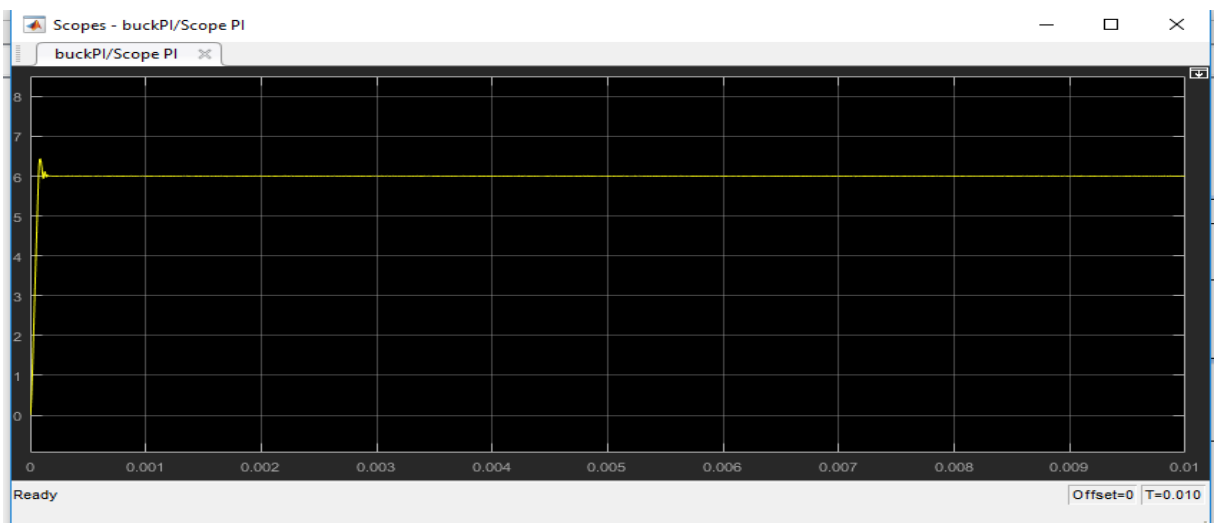
Figura 3: Simulação da tensão com entrada de 12V (PI)



Fonte: Autor (2018)

A figura 4, obtemos a estabilização da tensão utilizando o controlador PI, porém podemos observar que por ter a tensão maior na entrada (24V) a amplitude da onda de tensão é maior no início, pois exige do controlador.

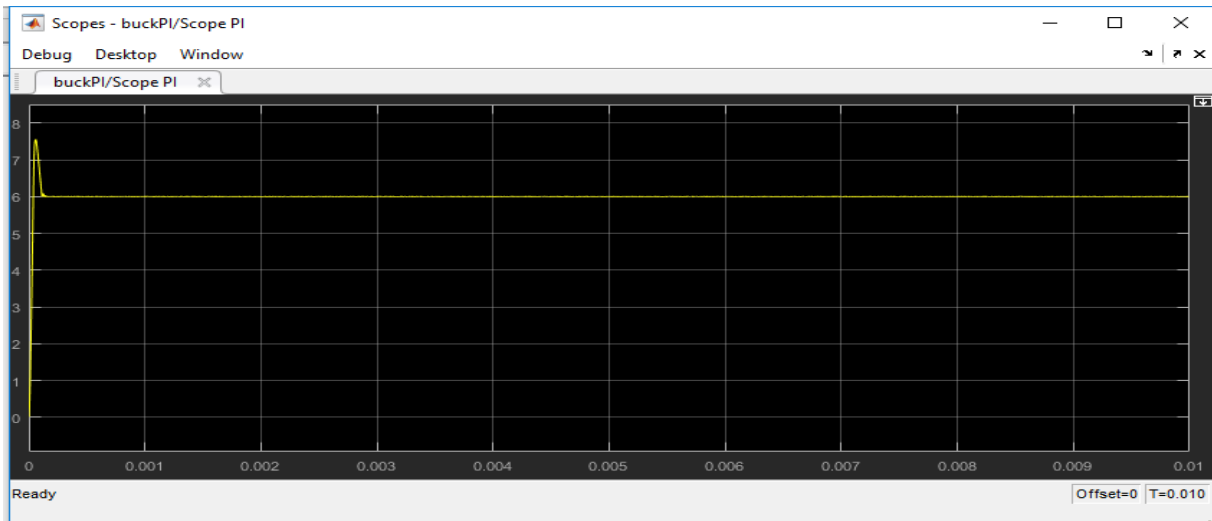
Figura 4: Simulação de tensão com entrada de 24V (PI)



Fonte: Autor (2018)

Na figura 5, mostramos a estabilização da tensão utilizando o controlador PI, porém podemos observar que por ter a tensão maior na entrada (50V) a amplitude da onda de tensão é maior no início, pois exige mais controlador.

Figura 5: Simulação de tensão com entrada de 50V (PI)



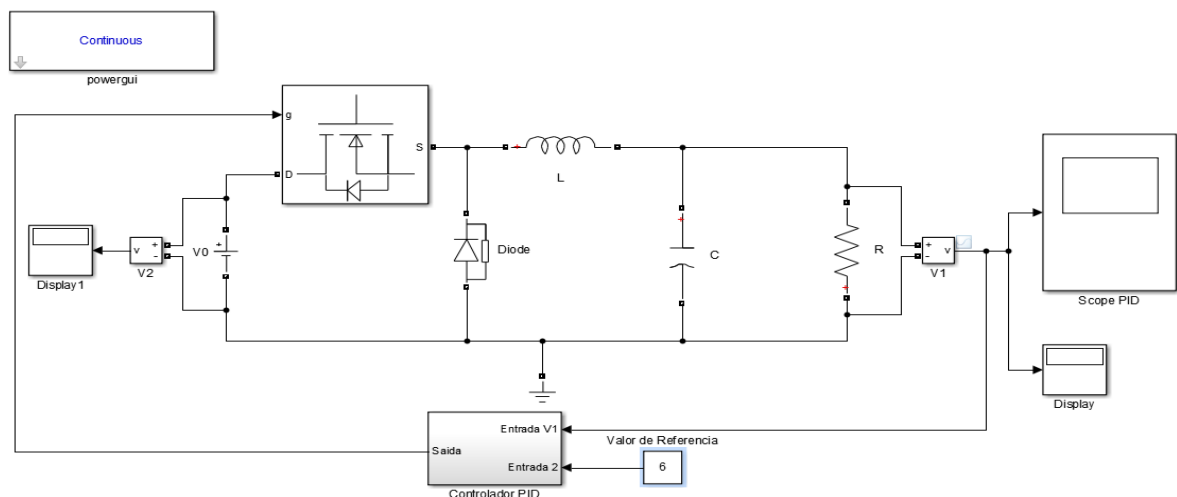
Fonte: Autor (2018)

3.2.2 Conversor Buck conectado ao controlador PID

Com o mesmo circuito pré-definido do conversor Buck, agora aplicaremos ao controlador PID, que tem a função de estabilizar a tensão de saída do circuito, porém, teoricamente possui melhor desempenho que o PI, sendo mais rápido e mais preciso na estabilização da tensão, mesmo ocorrendo variação na entrada.

A seguir temos a imagem (figura 6), do conversor Buck conectado ao controlador PID.

Figura 6: Diagrama do conversor Buck com controlador PID

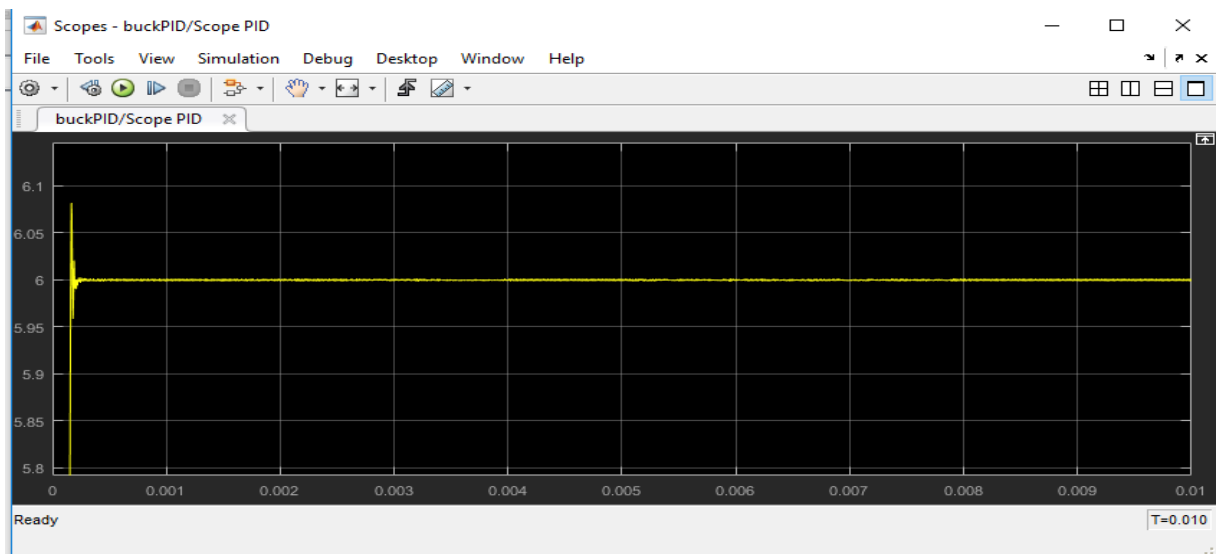


Fonte: Autor (2018)

Com o circuito montado, obtemos resultados que permitem observar seu funcionamento, e analisar seus parâmetros. Haverá gráficos demonstrando a tensão, cada simulação terá uma tensão inicial diferente, para servir de parâmetro de comparação.

A figura 7 mostra a estabilização da tensão no conversor conectado ao controlador PID.

Figura 7: Simulação da tensão com entrada 12V (PID)



Fonte: Autor (2018)

A figura 8, mostra o padrão da estabilização da tensão, quando aplicados a tensão de 24V na entrada do circuito. Visualizando a figura 8, observamos que apesar da tensão ser maior, a estabilidade foi quase a mesma do gráfico anterior.

Figura 8: Simulação da tensão com entrada 24V (PID)



Fonte: Autor (2018)

A figura 9 mostramos, que a estabilidade da tensão teve maior dificuldade inicial, porém mesmo com a tensão de entrada do circuito sendo 50V o controlador conseguiu estabiliza-la com 6V na saída.

Figura 9: Simulação da tensão com entrada de 50V (PID)



Fonte: Autor (2018)

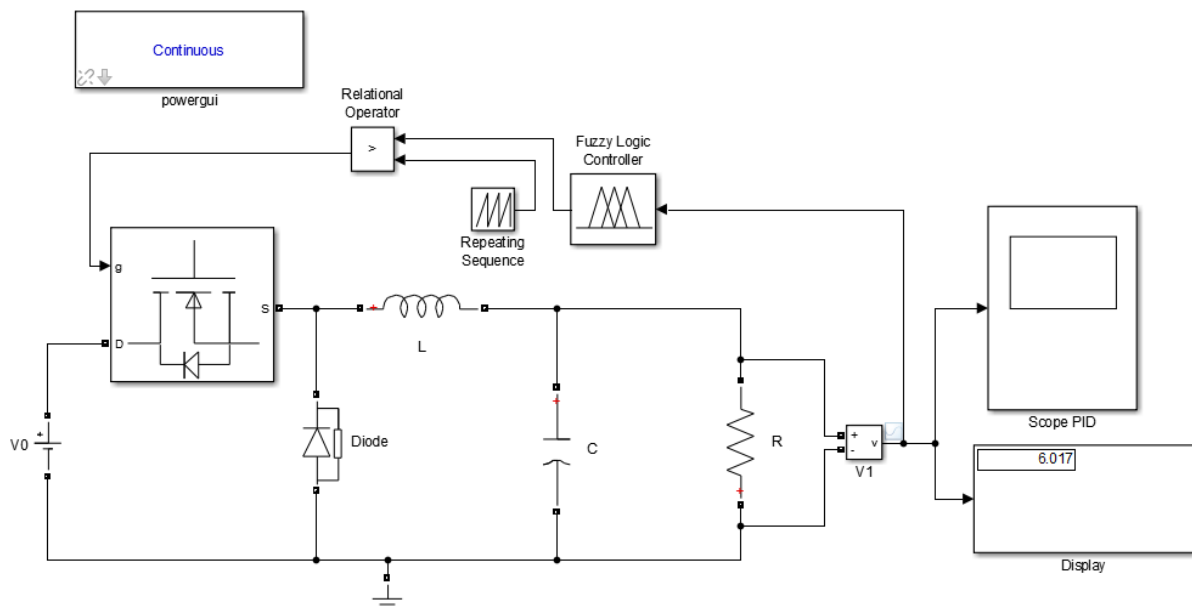
3.2.3 Conversor Buck conectado ao controlador Fuzzy

O conversor Buck conectado ao controlador Fuzzy permite visualizar à ação do controlador sobre o conversor, o controlador (Fuzzy) que teoricamente ganha de todos na estabilidade da tensão por ser desenvolvido para ser o mais preciso do

mercado, considerando seus aspectos levaremos os testes a um nível de dificuldade bem maior, com o intuito de mostrar e provar que seu sistema de controle resiste até a mudança de valores dos componentes, permanecendo estável a tensão de saída de acordo com a definição feita.

Abaixo, na imagem (figura 10), temos o conversor Buck conectado ao controlador Fuzzy.

Figura 10: Diagrama do conversor Buck com controlador Fuzzy

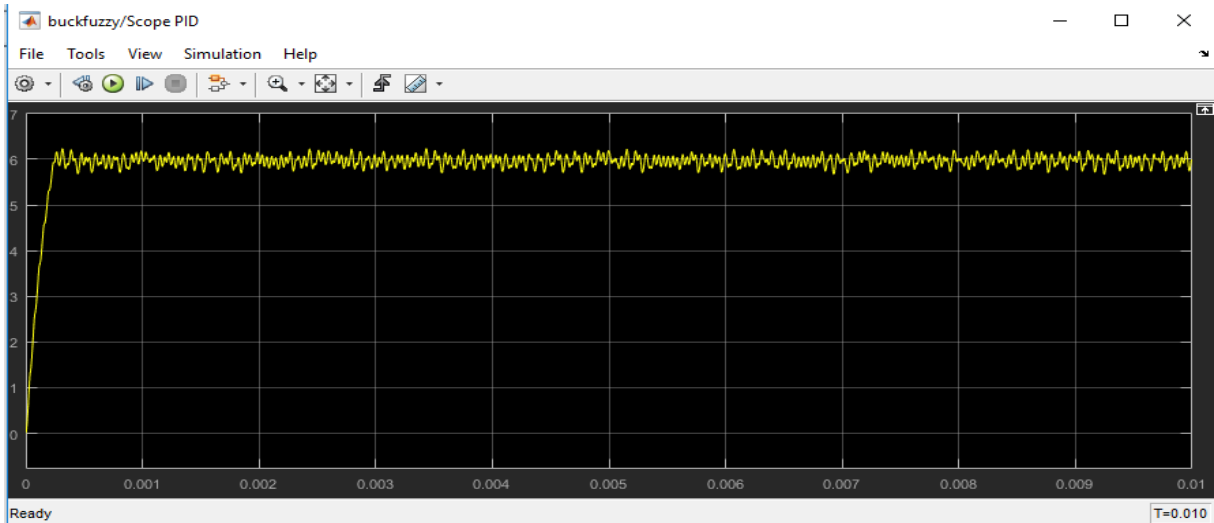


Fonte: Autor (2018)

Aplicado o circuito ao conversor, obtemos resultados que permite observar seu funcionamento, e analisar seus parâmetros.

Na figura 11 teremos a estabilização da tensão, utilizando o controlador Fuzzy, que tem na entrada do circuito 12V, com isso podemos observar que a estabilização da tensão é quase imediata, porém permanece um ruído, que permite ver a variação do controle.

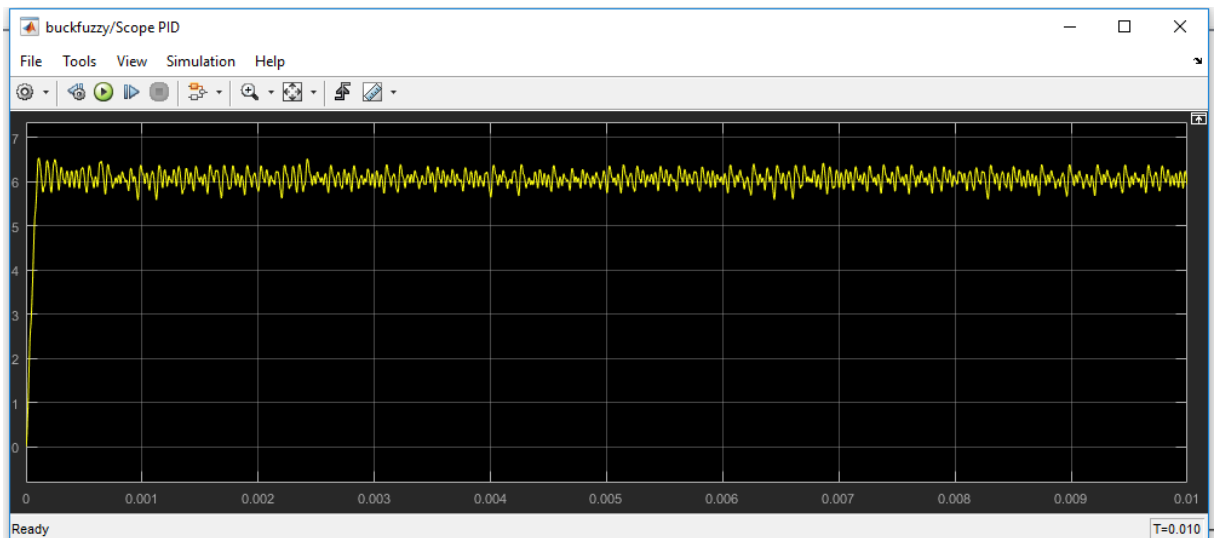
Figura 11: Simulação da tensão com entrada 12V (Fuzzy)



Fonte: Autor (2018)

A figura 12 mostra a estabilização da tensão quase imediata da tensão, que mesmo aumentando a tensão fornecida ao circuito conseguiu aproximar do requerido com menos tempo que os outros controladores.

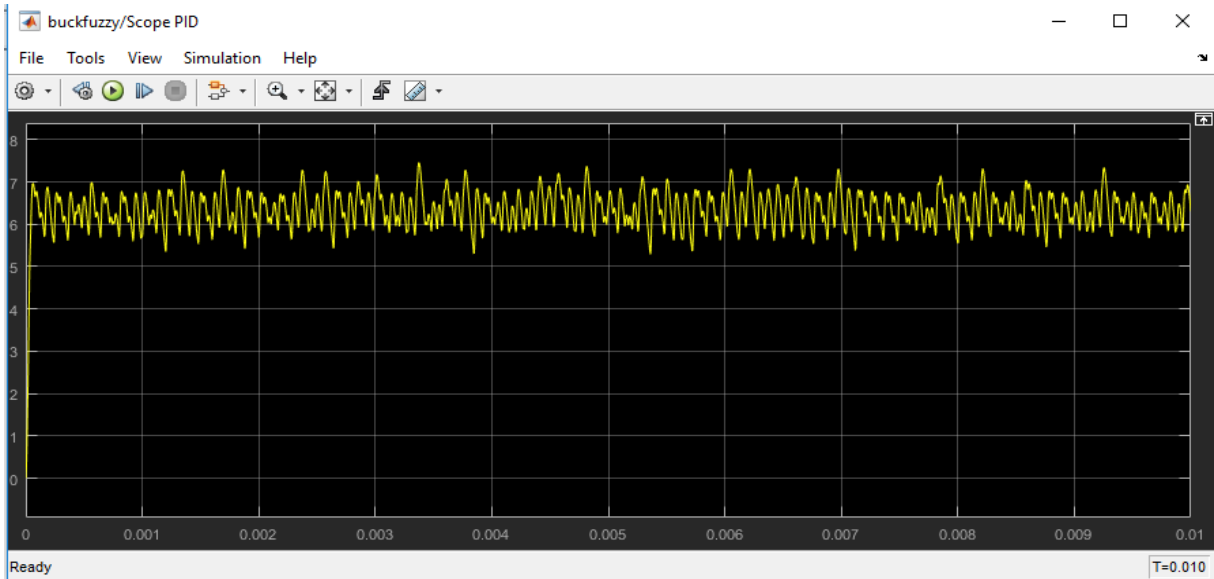
Figura 12: Simulação da tensão com entrada 24V (Fuzzy)



Fonte: Autor (2018)

A figura 13 mostra a tensão que foi gerada pelo circuito, porém com ruído maior, mostrou que o controlador teve dificuldade para tentar estabilizar a tensão no circuito que agora está com 50V na entrada.

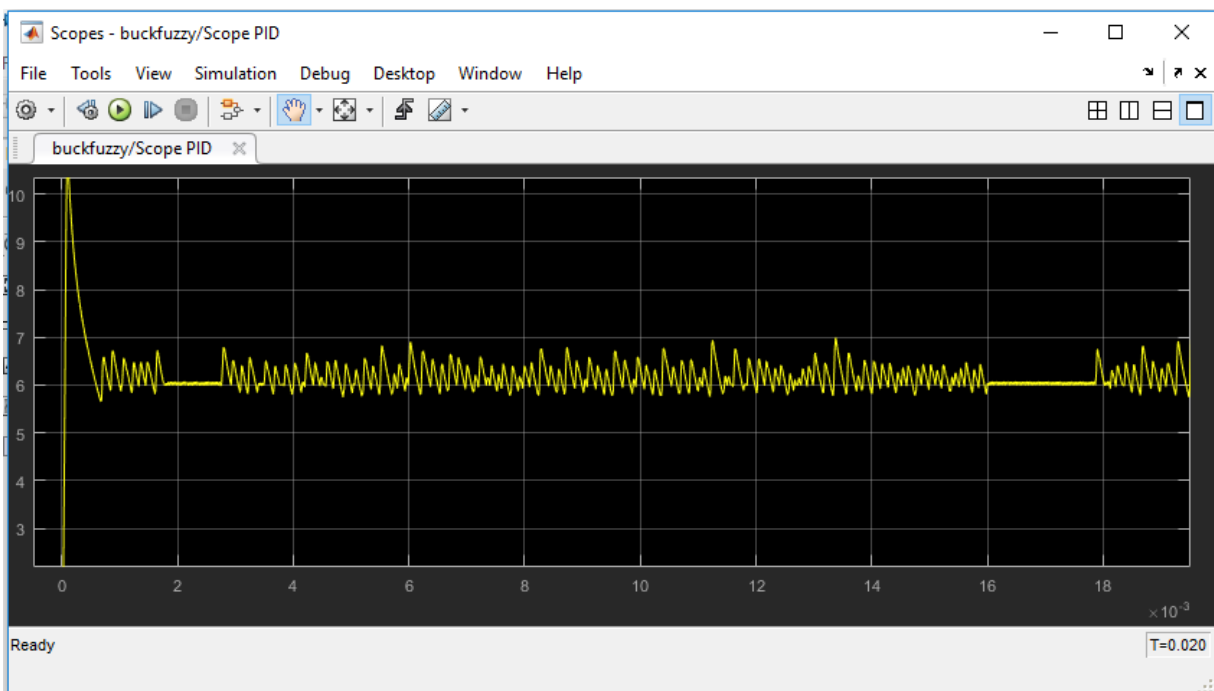
Figura 13: Simulação da tensão com entrada 50V (Fuzzy)



Fonte: Autor (2018)

Na figura 14, mostraremos a estabilização da tensão, porém nessa simulação foi alterado o valor do resistor que era 10 ohms no circuito inicial, agora está com 1000 ohms. Observamos que o controlador demonstrou maior dificuldade para estabilizar. Com o controlador Fuzzy podemos mudar o valor do componente que mantém a estabilidade da tensão de saída do circuito.

Figura 14: Simulação da tensão com entrada 12V (Fuzzy)



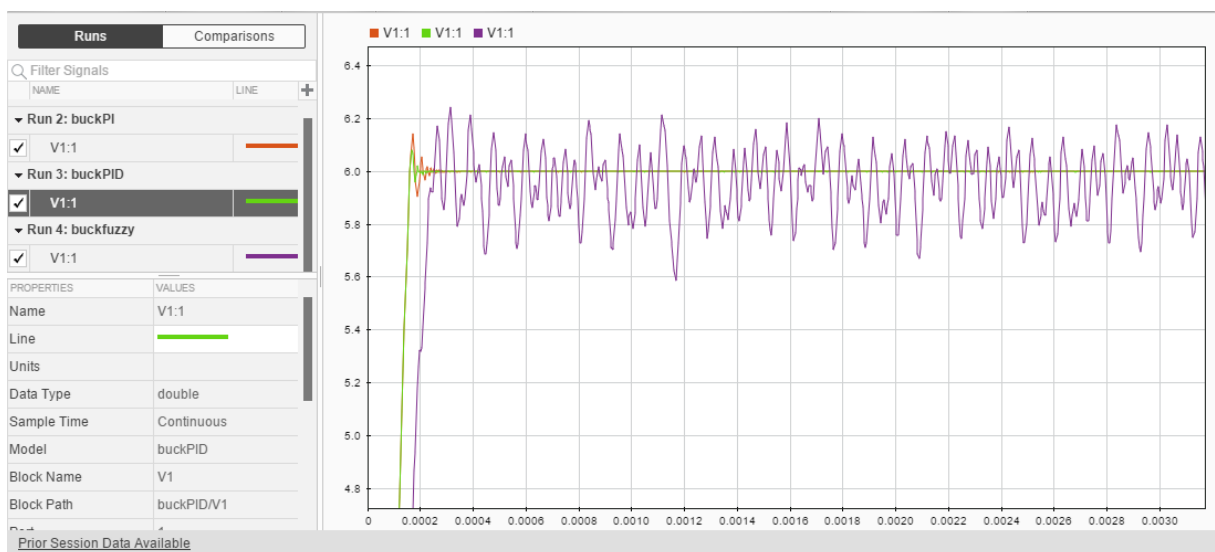
Fonte: Autor (2018)

3.2.4 Comparação da simulação dos controladores

Comparando os dados obtidos nas simulações anteriores, utilizaremos várias imagens de simulação, sempre ordenadas na sequência de controladores: PI, PID e Fuzzy, de modo que fique organizado e funcional. Será utilizado controladores conectados ao conversor Buck.

Primeira comparação de simulação: Entrada de tensão de 12V e saída com 6V. No gráfico 1, o controlador PI está na cor laranja, o PID na cor verde e o Fuzzy na cor roxa.

Gráfico 1: Gráfico comparativo dos controladores (12V)



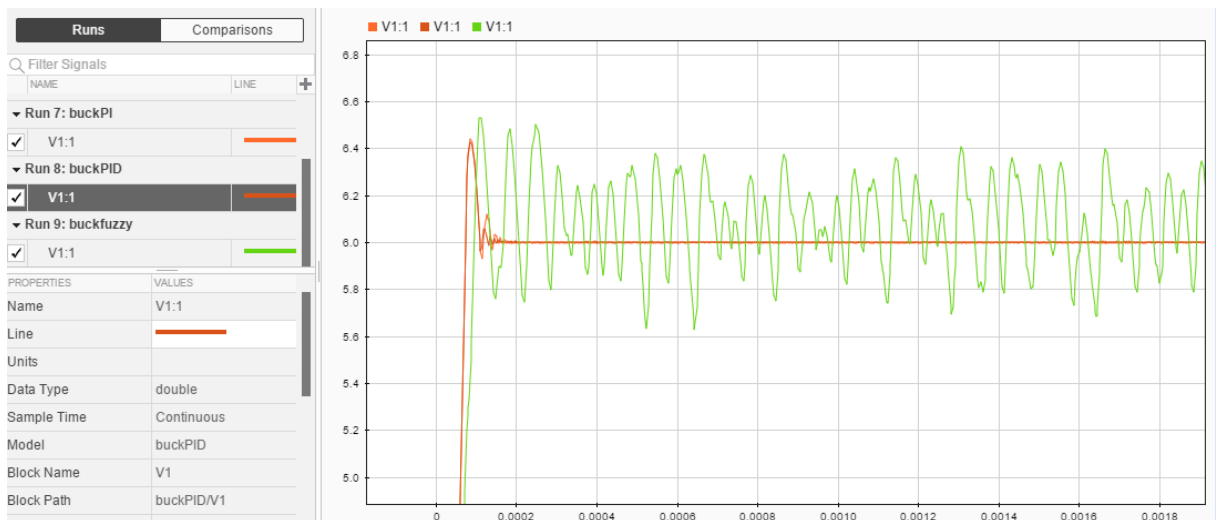
Fonte: Autor (2018)

No gráfico 1 foi possível observar que com circuito com parâmetros já definidos, e os controladores montados, de acordo com o desejado, o controlador Fuzzy perdeu a linearidade de sua estabilização para os controladores PI e PID, e também é possível observar que o tempo necessário foi maior para o Fuzzy do que para os outros em questão.

Na próxima simulação, teremos a tensão de entrada do circuito alterada de 12V para 24V, possibilitando visualizar a reação dos controladores a essa mudança. A tensão de saída permanece sendo 6V.

No gráfico 2 o controlador PI está na cor laranja, o PID na cor vermelha e o Fuzzy na cor verde.

Gráfico 2: Gráfico comparativo dos controladores (24V)



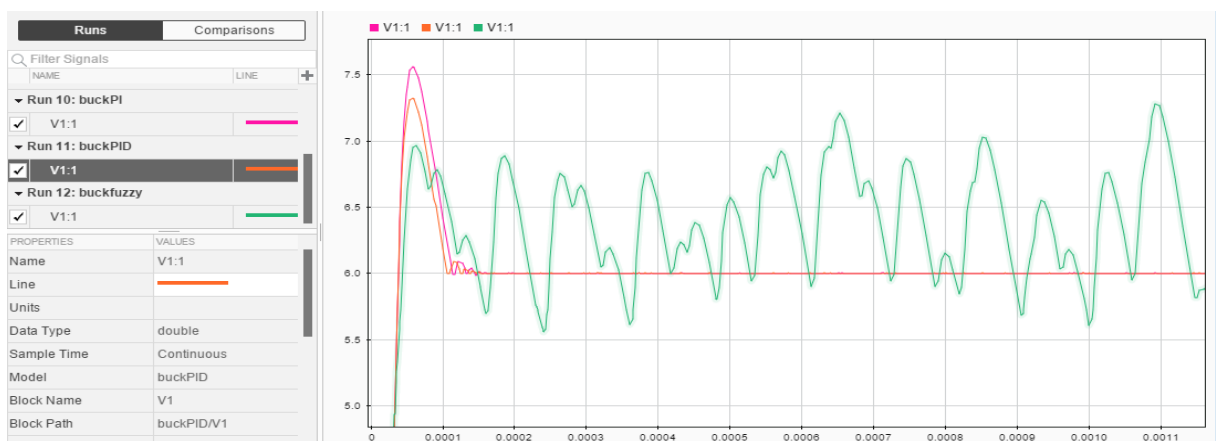
Fonte: Autor (2018)

No gráfico 2 podemos observar que os controladores estabilizaram a tensão simultaneamente, porém a atuação do Fuzzy foi um pouco mais retrógrada do que os outros controladores em questão, mais a diferença foi quase nula (desconsiderando a discrepância do Fuzzy).

Na próxima simulação, teremos tensão de entrada do circuito alterada de 24V para 50V, assim será possível visualizar a reação dos controladores a essa mudança. A tensão de saída permanece sendo 6V.

No gráfico 3, o controlador PI está na cor rosa, o PID na cor laranja e o Fuzzy na cor verde.

Gráfico 3: Gráfico comparativo dos controladores (50V)



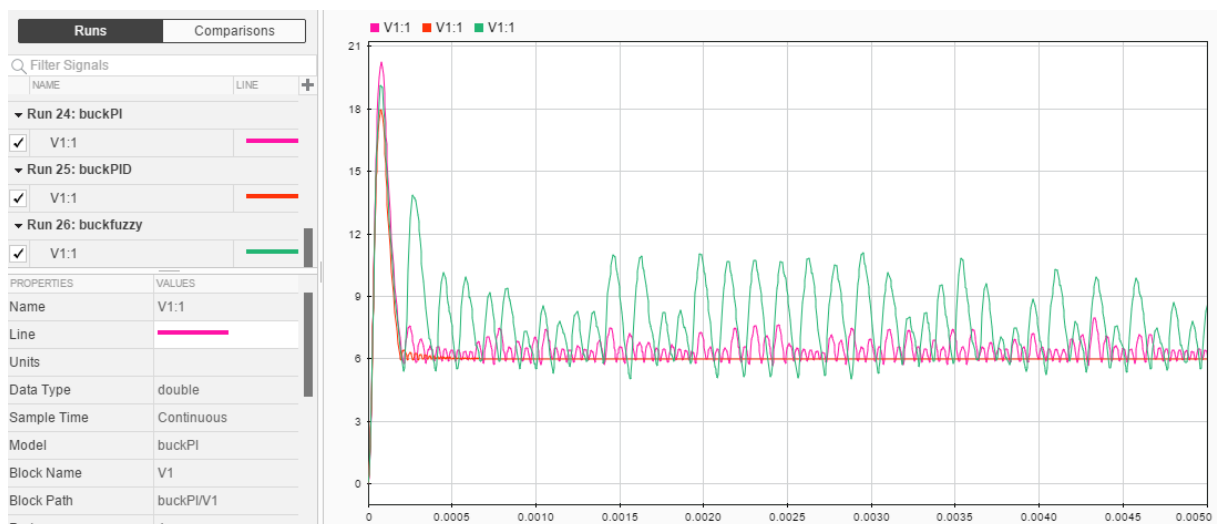
Fonte: Autor (2018)

No gráfico 3 foi possível observar, que a estabilização da tensão foi simultânea, porém os controladores tiveram dificuldades para a estabilização no estágio inicial da simulação.

Na simulação seguinte, teremos a tensão de entrada do circuito retornada para 12V, sendo possível visualizar a reação dos controladores a essa mudança. A tensão de saída permanece 6V. A reação dos controladores nos dirá se ele consegue estabilizar a tensão mesmo que seja preciso modificar o valor de um componente do circuito, o teste será feito com a alteração do valor do resistor que de 10 ohms, irá para 100 ohms.

No gráfico 4, o controlador PI está na cor rosa, o PID na cor laranja e o Fuzzy na cor verde.

Gráfico 4: Gráfico comparativo dos controladores (resistor modificado)



Fonte: Autor (2018)

No gráfico 4 podemos observar que a alteração do valor de um componente do circuito gerou dificuldade para todos os controladores, que mesmo após um tempo de simulação todos não obtiveram linearidade na tensão, deixaram ruído durante toda simulação.

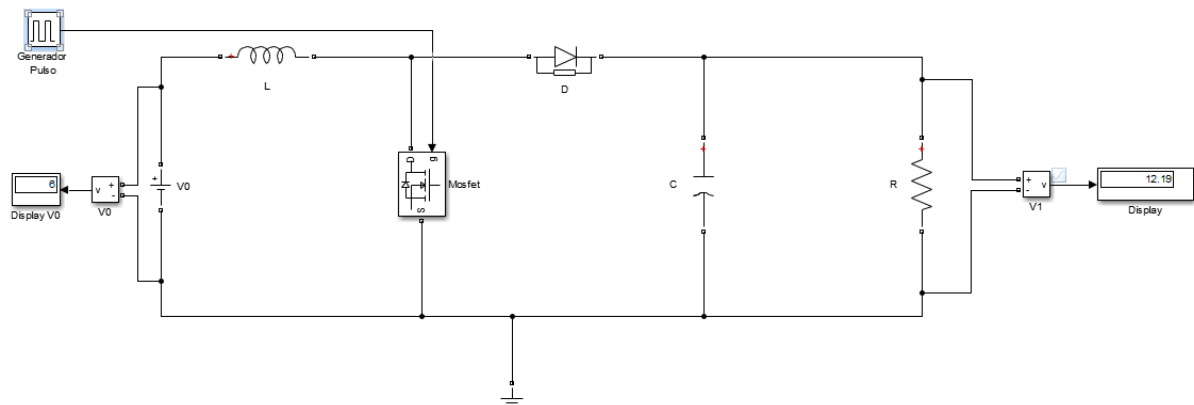
3.3 Simulação do conversor Boost

O conversor Boost é um conversor de corrente contínua, que tem função de aumentar tensão, para que isso ocorra são necessários componentes que possibilitam montar o circuito de elevação de tensão, os componentes são: indutor,

capacitor, resistor, diodo, mosfet e fonte de tensão, porém a posição de montagem se diferem do conversor Buck, para terem a função de elevar a tensão. Para a estabilização da tensão usaremos três tipos de controladores para testes, sendo que cada um será analisado individualmente para melhor visualização dos valores e dados obtidos do sistema.

A seguir teremos a imagem do conversor Boost montado no simulador.

Figura 15: Diagrama do Conversor Boost



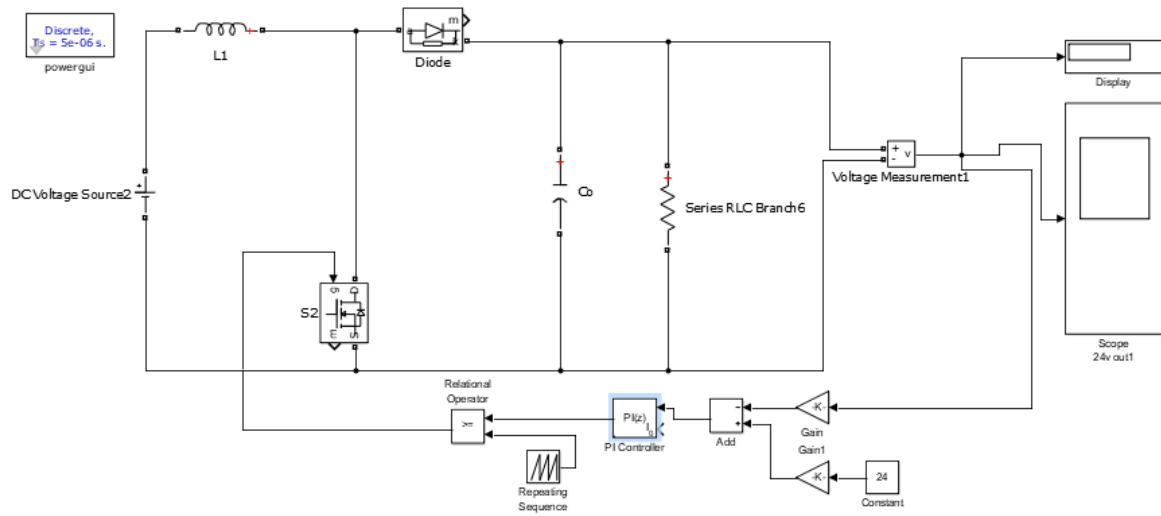
Fonte: Autor (2018)

3.3.1 Conversor Boost conectado ao controlador PI

O conversor Boost tem a função de aumentar a tensão, montamos o circuito para estabelecermos valores aos componentes, todo o circuito foi montado para que obtivesse 12V de entrada, e tentando estabilizar 24V na saída. Para obtermos essa saída estável utilizaremos como controlador o PI. Para testes será variada a tensão de entrada para melhor análise do controlador e para comparação dos dados obtidos.

A seguir temos a imagem (figura 16) do conversor Boost conectado ao controlador PI.

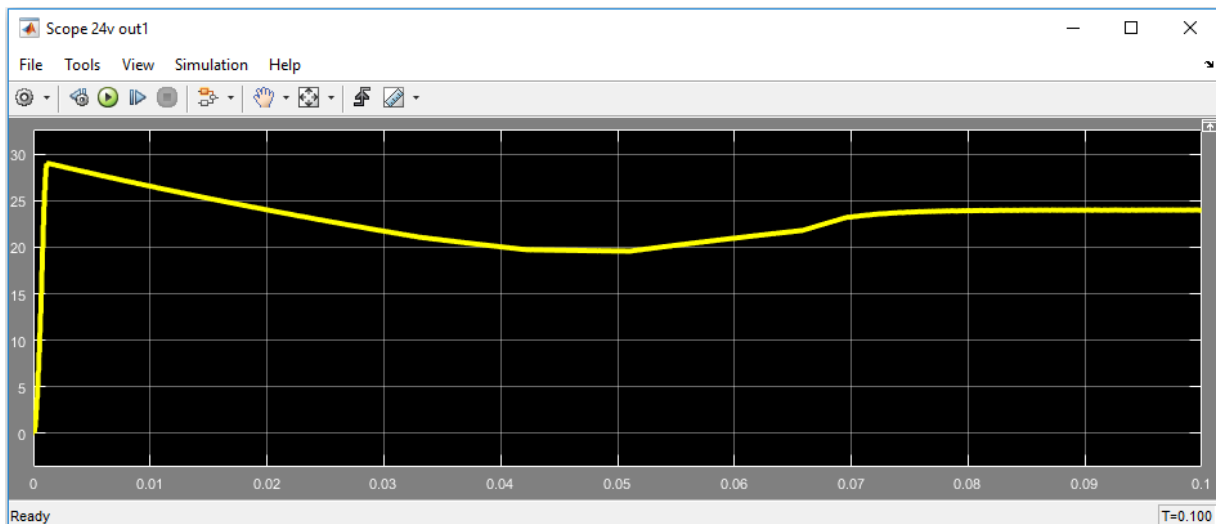
Figura 16: Diagrama do conversor Boost com controlador PI



Fonte: Autor (2018)

Na figura 17 mostraremos a estabilidade da tensão no circuito, que tem a entrada de 12V e saída de 24V, o controlador utilizado é o PI. Podemos observar que o controlador oscila um pouco antes da estabilização total da tensão.

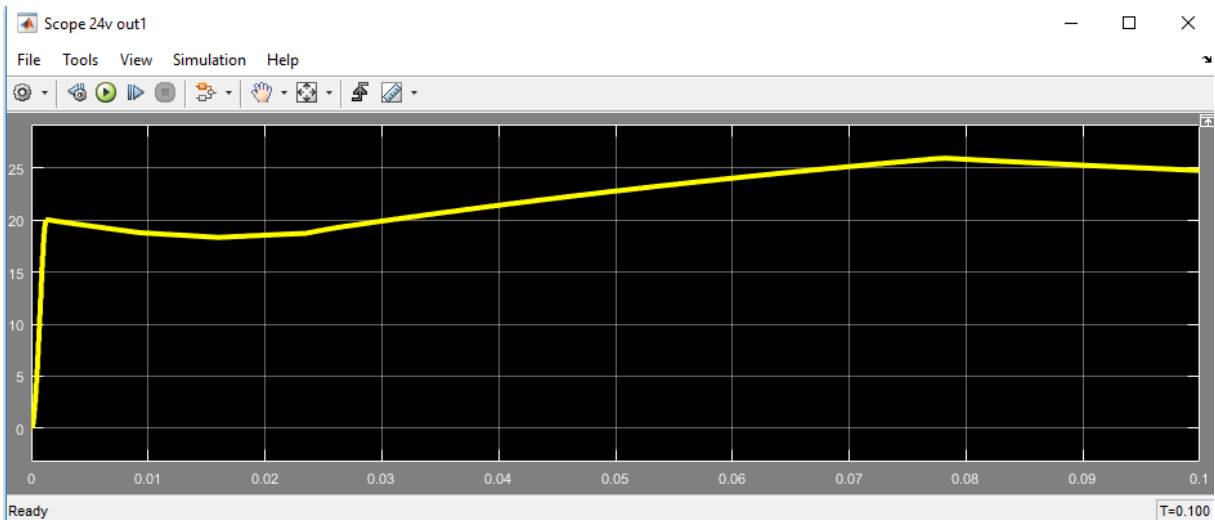
Figura 17: Simulação da tensão com entrada 12V (PI Boost)



Fonte: Autor (2018)

Na figura 18, será modificado o valor da tensão de entrada de 12V para 8V, podendo então visualizar se haverá alteração na estabilização da tensão.

Figura 18: Simulação da tensão com entrada 8V (PI Boost)

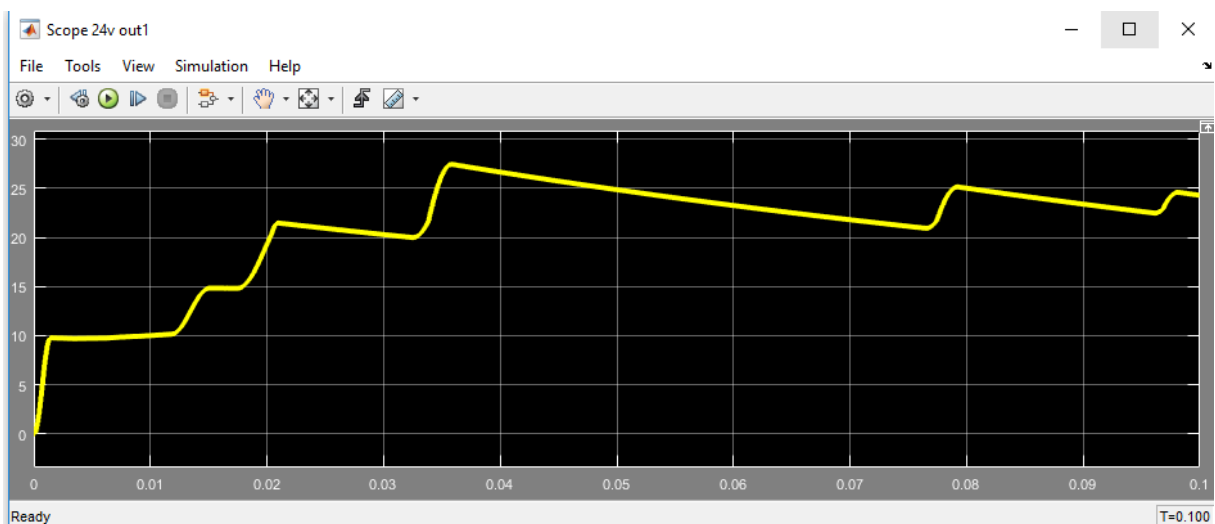


Fonte: Autor (2018)

Na figura 18, observamos que, a estabilização da tensão demorou, a tensão menor de entrada gerou dificuldade na estabilização da tensão.

Na próxima simulação, modificaremos a tensão novamente, teremos a tensão de entrada 4V, mantendo 24V na saída, podendo assim visualizar a estabilização da tensão no circuito.

Figura 19: Simulação da tensão com entrada de 4V (PI Boost)



Fonte: Autor (2018)

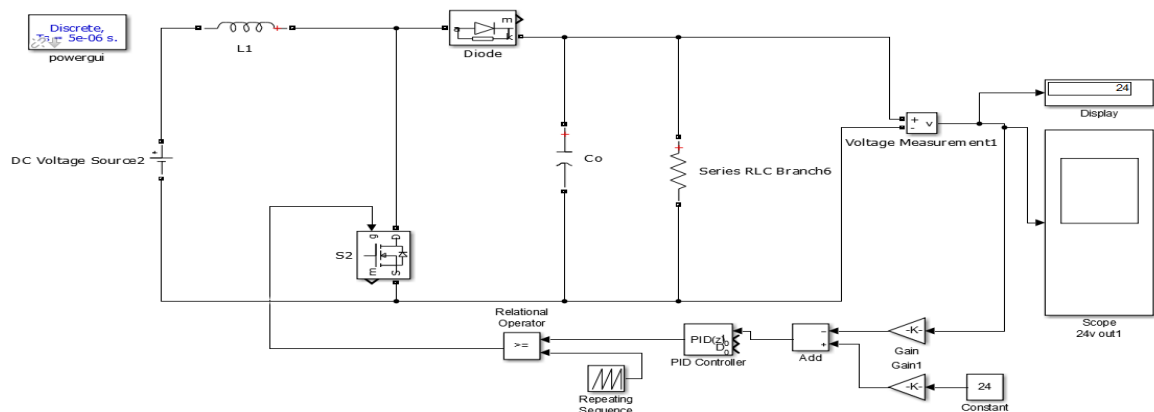
Na figura 19, a tensão de entrada reduzida no circuito, fez o controlador ter grande dificuldade para concluir a estabilização da tensão. O tempo para aproximação da estabilidade da tensão foi bem superior à da simulação anterior.

3.3.2 Conversor Boost conectado ao controlador PID

Em outra análise, utilizaremos o controlador PID conectado ao conversor Boost, de modo que manteremos todos os parâmetros do circuito anterior, com isso teremos os dados do controle e analisaremos os dados para comparação com outros controladores. Para teste iremos modificar a tensão de entrada.

Na figura 20 temos o conversor Boost conectado ao controlador PID.

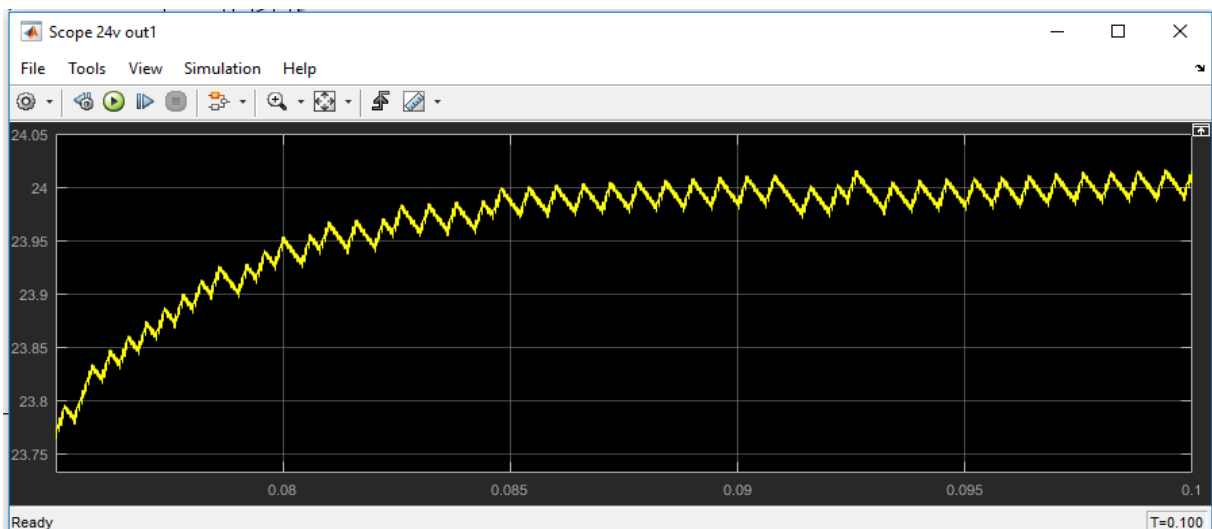
Figura 20: Diagrama do conversor Boost com controlador PID



Fonte: Autor (2018)

Nas simulações mostraremos o funcionamento do controlador PID conectado ao conversor Boost, onde iremos analisar sua funcionalidade e sua capacidade de estabilização da tensão no circuito.

Figura 21: Simulação da tensão com entrada 12V (PID Boost)

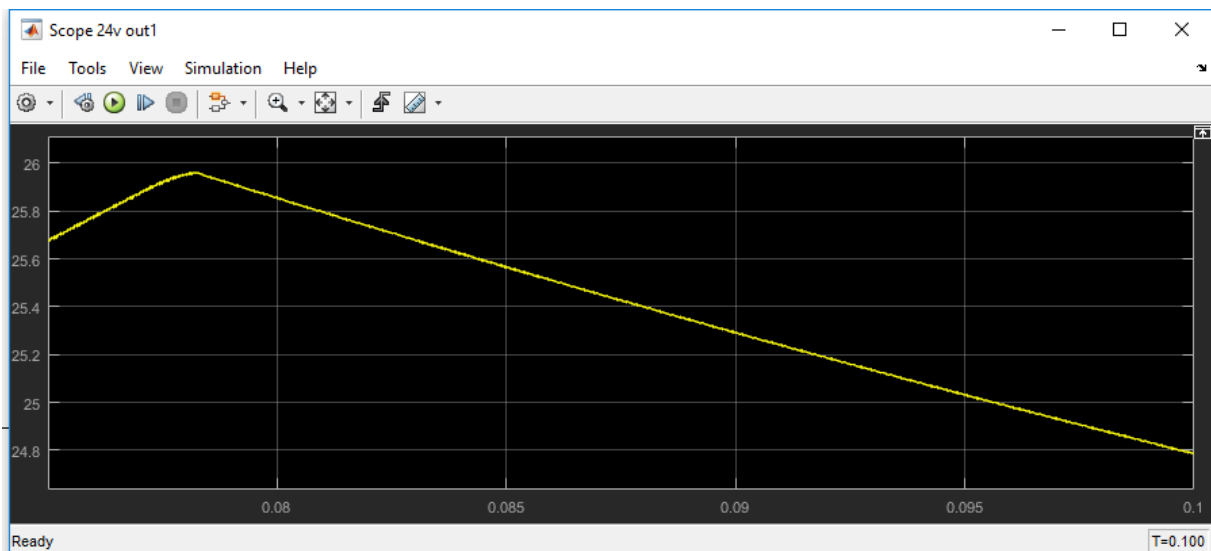


Fonte: Autor (2018)

Na figura 21 observamos, que a estabilização da tensão demorou 0.08 segundos para chegar a tensão desejada na saída. O circuito foi alimentado com 12V e tem saída de 24V, o controlador usado é o PID.

Na simulação da figura 22 será mudado a tensão de entrada do circuito de 12V para 8V, podendo assim visualizar se desempenho e sua estabilização da tensão de saída que permanece 24V.

Figura 22: Simulação da tensão com entrada 8V (PID Boost)

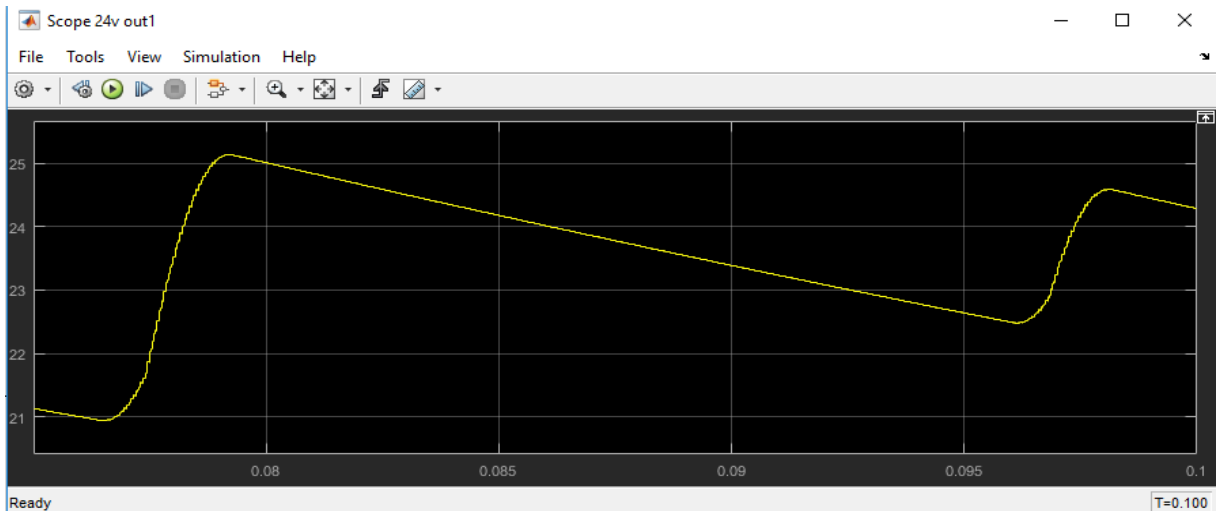


Fonte: Autor (2018)

Na figura 22 observamos que o controlador obteve maior dificuldade para estabilizar a tensão, pois a entrada de alimentação do circuito diminuiu, sendo assim o tempo necessário para estabilização aumentou.

Na simulação da figura 23, a tensão de entrada do circuito de 12V para 8V, podendo visualizar se desempenho e sua estabilização da tensão de saída que permanece 24V.

Figura 23: Simulação da tensão com entrada 4V (PID Boost)



Fonte: Autor (2018)

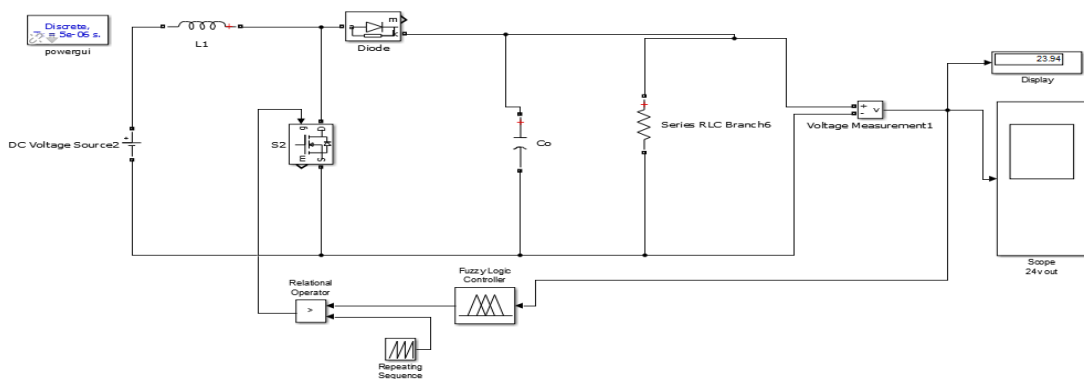
Na figura 23, visualizamos que o controlador obteve dificuldade para estabilizar a tensão do circuito, a tensão de entrada do circuito foi para 4V, a estabilização não foi obtida totalmente, ficou oscilando próximo de 23.5V.

3.3.3 Conversor Boost conectado ao controlador Fuzzy

Conectando o conversor Boost ao controlador Fuzzy, manteremos os dados do circuito inicial, porem para melhores simulações do controlador, iremos variar a tensão de entrada e mudaremos valores de componentes do circuito, dificultando a estabilização da tensão, provando então a melhor aplicabilidade do controlador em questão a sistemas que exigem precisão ao seu funcionamento.

A seguir na figura 24 temos o conversor Boost conectado ao controlador Fuzzy.

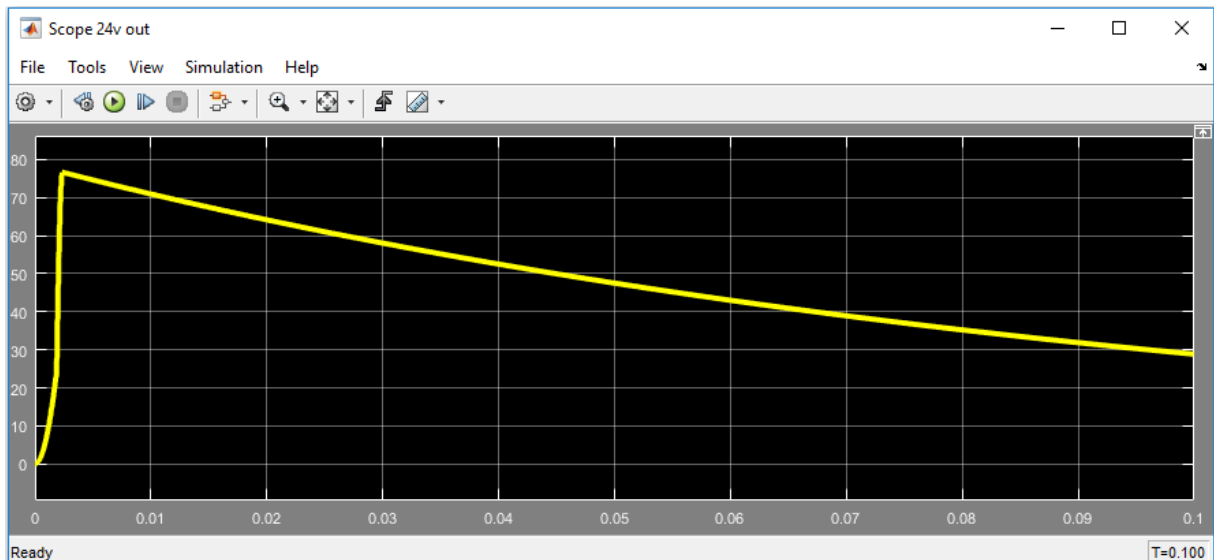
Figura 24: Diagrama do conversor Boost com controlador Fuzzy



Fonte: Autor (2018)

Nas simulações, estaremos mostrando o funcionamento do controlador Fuzzy conectado ao controlador Boost, onde iremos analisar sua funcionalidade e sua capacidade de estabilização da tensão no circuito.

Figura 25: Simulação da tensão com entrada 12V (Fuzzy Boost)

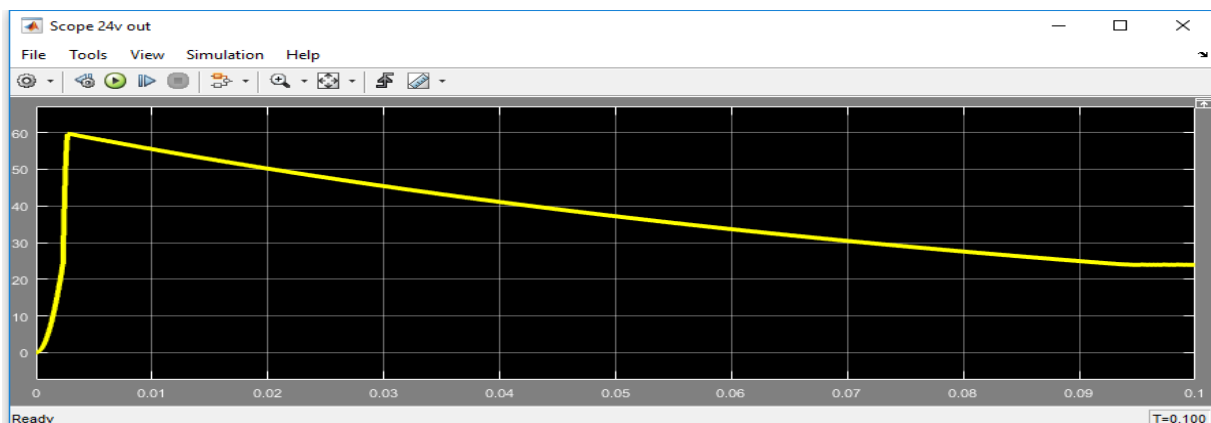


Fonte: Autor (2018)

Na figura 25 podemos observar que a estabilização da tensão no circuito foi ágil e precisa, de forma que o controlador não teve grandes dificuldades em sua estabilização.

Na próxima simulação (figura 26), será modificada a tensão de entrada do circuito de 12V para 8V, visualizaremos se haverá alguma modificação na estabilização da tensão no circuito.

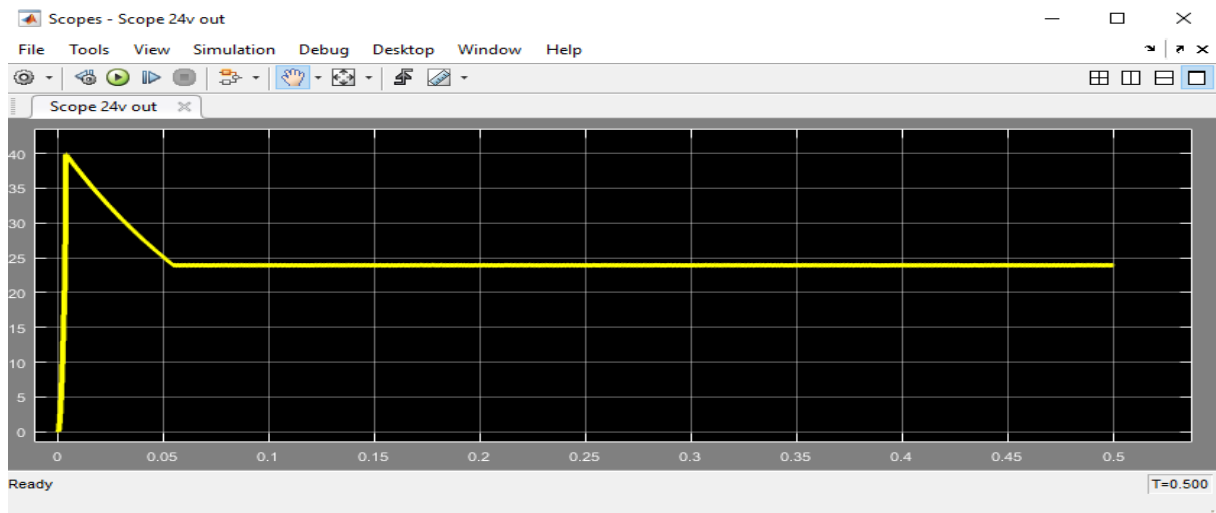
Figura 26: Simulação da tensão com entrada de 8V (Fuzzy Boost)



Fonte: Autor (2018)

Na figura 26 observamos, que a estabilização da tensão foi bem rápida, demorando praticamente quase o mesmo tempo que a simulação da figura 25, porém nessa simulação podemos observar que a tensão no início subiu menos, antes de estabilizar do que na figura 25.

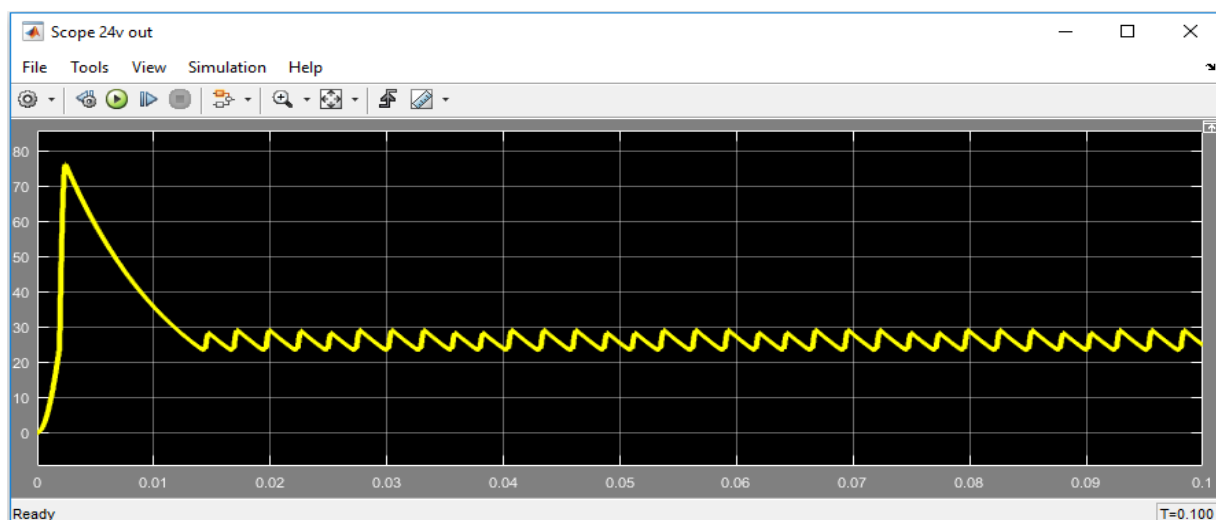
Figura 27: Simulação da tensão com entrada de 4V (Fuzzy Boost)



Fonte: Autor (2018)

Na figura 27 podemos visualizar que ocorreu uma elevação da tensão inicial, que não passou dos 40V, sendo que a simulação anterior teve níveis elevados e seu tempo foi maior para estabilizar, comparado a simulação da figura 26.

Figura 28: Simulação da tensão com entrada 12V (resistor alterado)



Fonte: Autor (2018)

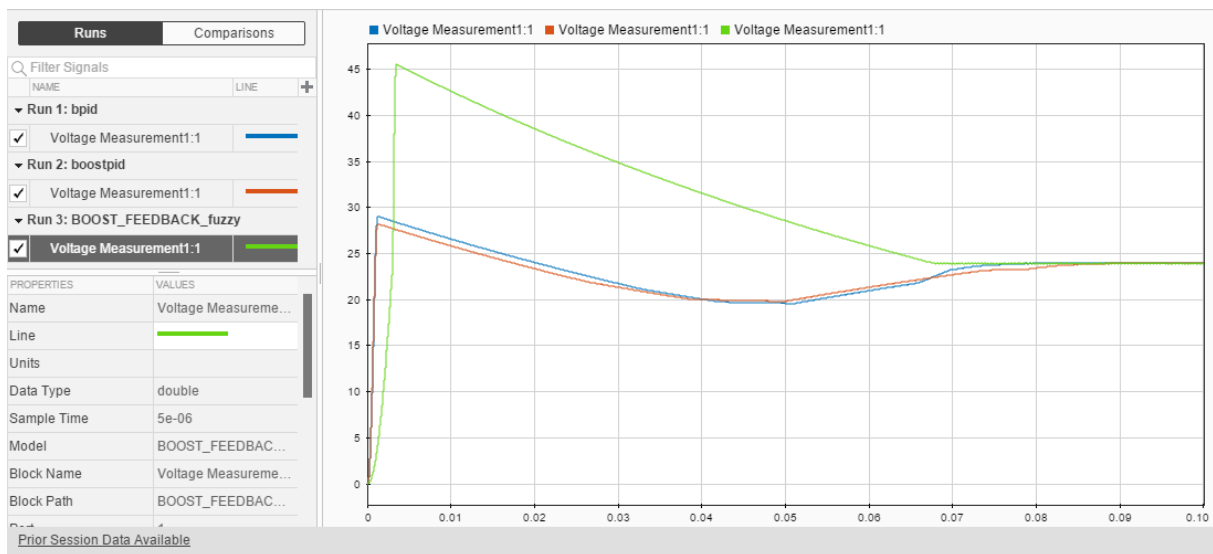
Na figura 28 podemos observar que alterando o valor de um componente do circuito fez a tensão não estabilizar, ficou oscilando de 23V a 27V durante quase todo o tempo que foi feito a simulação.

3.3.4 Comparação da simulação dos controladores

Obtendo parâmetros de comparação, utilizaremos várias imagens de simulação, sempre ordenadas na sequência de controladores: PI, PID e Fuzzy, de modo que fique organizado e funcional. Será utilizado os controladores conectados ao conversor Fuzzy.

Primeira comparação de simulação: Entrada de tensão de 12V e saída com 24V. No gráfico 5 o controlador PI aparece na cor azul, o PID na cor vermelha e o Fuzzy na cor verde.

Gráfico 5: Gráfico comparativo dos controladores (12V)



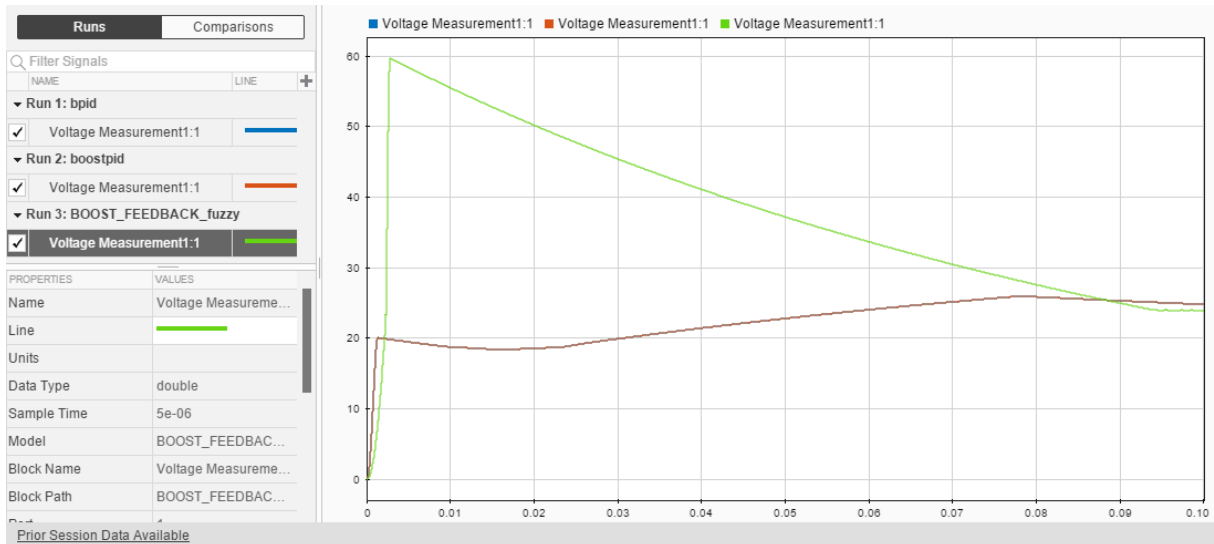
Fonte: Autor (2018)

No gráfico 5, podemos analisar os controladores agindo no circuito, a estabilização do PI e PID foram bem próximos um do outro, porém o PI demorou um pouco mais para estabilizar. O Fuzzy foi o mais rápido para estabilizar a tensão, porém teve uma oscilação maior no início, comparando os outros controladores.

Na simulação do gráfico 6 a tensão de alimentação será alterada de 12V para 8V, sendo possível visualizar a estabilização e fazer a comparação dos controladores.

Segunda comparação de simulação: Entrada de tensão de 8V e saída com 24V. No gráfico 6 o controlador PI aparece na cor azul, o PID na cor vermelha e o Fuzzy na cor verde.

Gráfico 6: Gráfico de comparação dos controladores (8V)



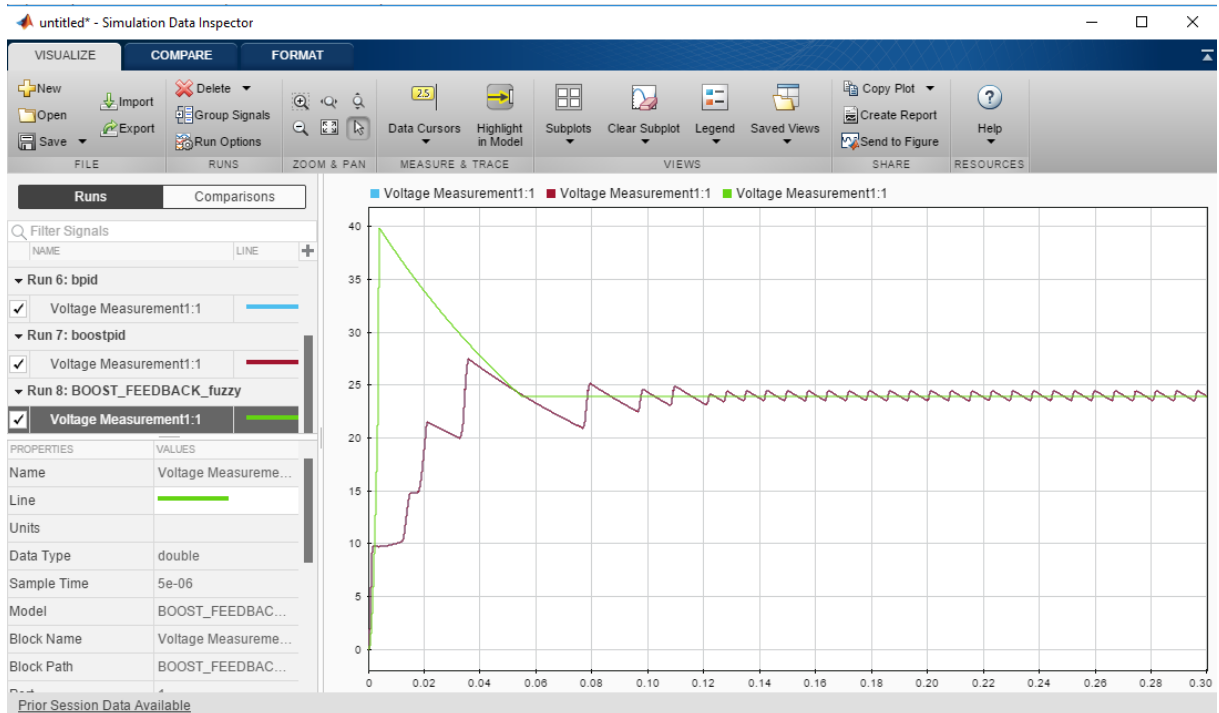
Fonte: Autor (2018)

No gráfico 6, foi possível visualizar que os controladores PI e PID foram simultâneos na estabilização, porém o Fuzzy estabilizou um pouco mais rápido. O Fuzzy no início teve uma oscilação maior, porém seu tempo de resposta foi melhor.

Na simulação do gráfico 7 a tensão de alimentação será alterada de 8V para 4V, com isso vai ser possível visualizar a estabilização e fazer a comparação dos controladores.

Comparação de simulação: Entrada de tensão de 4V e saída com 24V. No gráfico 7 o controlador PI aparece na cor azul, o PID na cor vermelha e o Fuzzy na cor verde.

Gráfico 7: Gráfico comparativo dos controladores (4V)



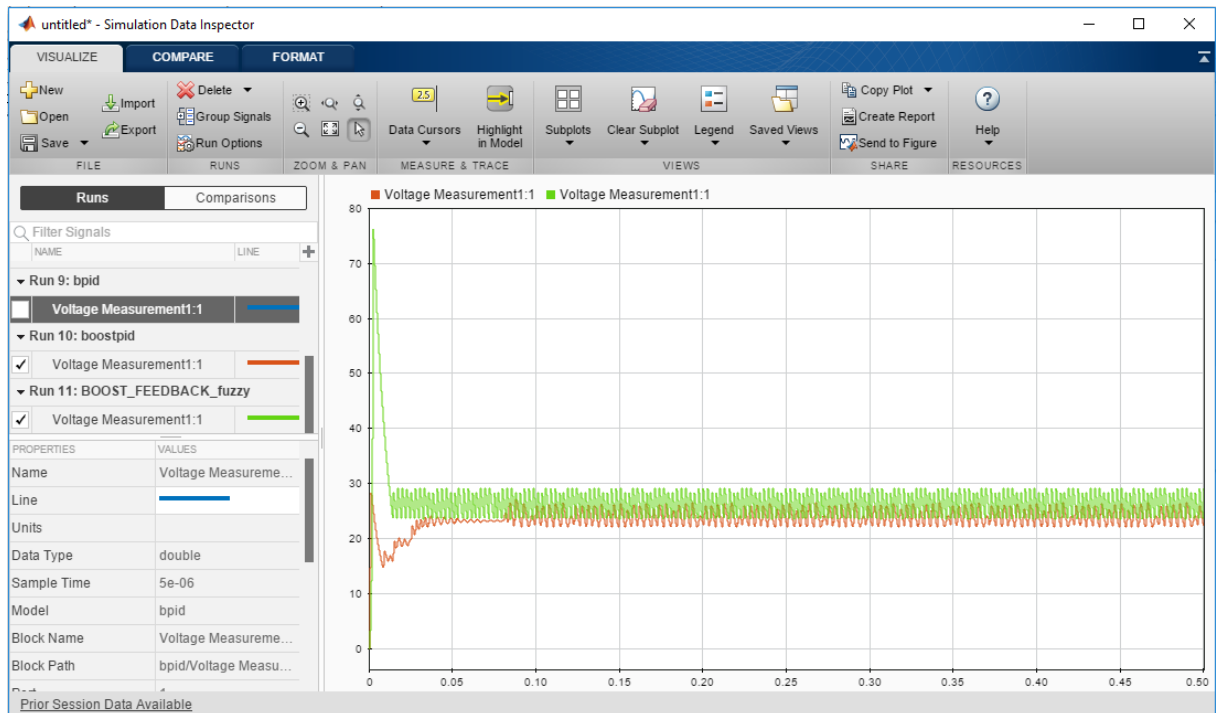
Fonte: Autor (2018)

No gráfico 7, pode-se observar que o controlador Fuzzy foi superior na estabilização da tensão, já os outros controladores oscilaram muito, mais conseguiram estabilizar, somente com tempo maior de simulação.

Na simulação do gráfico 8 a tensão de alimentação será de 12V com saída de 24V, com isso será possível visualizar a tensão e fazer a comparação dos controladores. O resistor será modificado o valor para ver o desempenho de cada controlador com uma dificuldade ou troca de componente no circuito.

Quarta comparação de simulação: Entrada de tensão de 12V e saída com 24V. No gráfico 8 o controlador PI aparece na cor azul, o PID na cor vermelha e o Fuzzy na cor verde.

Gráfico 8: Gráfico comparativo dos controladores (resistor alterado)



Fonte: Autor (2018)

No gráfico 8, o controlador Fuzzy atuou de maneira ágil, porém gerou um ruído maior que os demais controladores. Os controladores tiveram grande dificuldade para estabilizar a tensão pois foi mudado o valor do resistor de 1000 ohms para 100 ohms.

4 CONCLUSÃO

O sistema de controle é muito utilizado, em vários tipos de processos industriais, tendo objetivo de facilitar as produções. Neste trabalho mostramos um pouco disso, testando controladores, com um intuito principal (provar a funcionalidade do controlador Fuzzy). Para que fosse realizado testes e estudos, foi utilizado um programa que pudesse simular com clareza e confiabilidade, permitindo que houvesse dados comparativos, sendo assim todas as simulações contidas no Desenvolvimento foram feitas no aplicativo Simulink do programa Matlab.

Procurou-se ter parâmetros que facilitasse a comparação dos resultados, a partir disso decidiu-se fazer a simulação com várias tensões de entrada, e um simulação com o valor de um componente alterado, podendo assim ver com clareza qual dos controladores é o mais eficiente e funcional.

Com as simulações feitas no capítulo 4, obtemos resultados que nos permitiu sanar as dúvidas existentes.

Os controladores PI e PiD obtiveram resultados lineares conectados ao conversor Buck, tendo até uma rápida resposta de estabilização da tensão, porém quando se alterava o valor de entrada do circuito, demorava um pouco a mais para estabilizar e demonstrava uma curva maior inicial. Já o sistema Fuzzy apresentou uma resposta muito rápida para estabilização da tensão, porém ficou claro que ainda permanecia ruídos na tensão já estabilizada. Quando os controladores foram simulados com o valor do resistor alterado, todos tiveram dificuldade para estabilizar, dê mesmo modo o Fuzzy não demonstrou vantagem, ficando com o resultado bem próximo dos outros.

Conectados ao conversor Boost, os controladores conseguiram estabilizar a tensão com clareza e com facilidade, quando foi alterado o valor da tensão o sistema Fuzzy se destacou, pois foi o que estabilizou mais rápido e apresentou uma linearidade maior, não contendo ruído em sua simulação. Quando as simulações foram feitas com o valor do resistor alterado, pode-se perceber que o controlador PI e PID apresentaram a mesma dificuldade, e o controlador Fuzzy teve dificuldades, e não se mostrou bem eficiente na comparação com os outros controladores.

A partir de todos os dados obtidos, pode-se esclarecer que o sistema Fuzzy pode controlar conversores, e pode ser aplicado a várias funções. O controlador em questão é bem funcional, porém teve resultados que não demonstrou sua superioridade, ficando como um controlador com qualquer outro. Utilizando parâmetros simples o Fuzzy tem resultados bem próximos do PI e PID.

4.1 Trabalhos futuros

- a) Fazer o protótipo dos conversores conectados aos controladores;
- b) Aplicar o controlador Fuzzy a um sistema de geração de energia.

REFERÊNCIAS

Barbi, I. (2000). *Eletrônica de Potencia: conversores CC-CC básicos não isolados*, 1 edn, Ed. Do Autor. Carniato, A. A. (2009). *Modelagem Exata do Conversor CC-CC Boost via Modelos Fuzzy Takagi-Sugeno*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

BIAGIONI, Ivan Moraes, et al. *Implementação de controle adaptativo por simulink*. 2013. PhD Thesis. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

Chenci, Gabriel P., Diego GS Rignel, and Carlos A. Lucas. "Uma introdução á lógica Fuzzy." *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e de Gestão Tecnológica* 1.1 (2011).

CHISHTI, Muhammad, et al. *Method and system for incrementally moving teeth*. U.S. Patent No 5,975,893, 1999.

DE SOUZA MOREIRA, Elison; DOS REIS PEREIRA, Leandro. PROJETO E VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM CONVERSOR BUCK-BOOST.

FEIJO B., P. P. C. E. Visualização, simulação e games. *Anais da XXIV Jornada de Atualização em Informática do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, n. 1, p. 1313–1356, 2006.

Machado, E. R. M. D. (2003). *Modelagem e Controle de Sistemas Fuzzy Takagi-Sugeno*, Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica) - UNESP.

NOBRE, M. O uso do software Matlab para o estudo de alguns tópicos de álgebra linear. Universidade Católica de Brasília. Brasília: [s.n.]. 2005. p. <http://repositorio.ucb.br/jspui/handle/10869/1858>

SILVA, Renato Afonso Cota. *Inteligência artificial aplicada à ambientes de Engenharia de Software: Uma visão geral*. Universidade Federal de Viçosa, 2005.

Simoes, Marcelo Godoy, and Ian S. Shaw. "Controle e modelagem fuzzy." *Blucher: FAPESP, São Paulo, BRA* (2007).