

DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL PARA FINS EDUCACIONAIS

DEVELOPMENT OF A PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER FOR
EDUCATIONAL PURPOSES

DESARROLLO DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE CON FINES
EDUCATIVOS

Micael dos Santos Almeida¹, Franarilly Coelho da Silva², Erick Aragão Gadelha de Oliveira³,
Daniel Carlos de Carvalho Crisóstomo⁴, Jan Erick Mont Gomery Pinto⁵, José Ailton Leão
Barboza Júnior⁶

DOI: 10.54899/dcs.v23i92.6144

Recibido: 10/06/2026 | Aceptado: 06/07/2026 | Publicación en línea: 13/07/2026.

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo e o desenvolvimento de um Controlador Lógico Programável (CLP) voltado para fins didáticos, utilizando uma fonte de alimentação baseada na topologia flyback. O dispositivo é composto por módulos de entrada, módulos de saída, uma fonte de tensão CC e um microcontrolador, possibilitando sua aplicação em práticas simples de automação industrial ou laboratorial. O projeto utilizou o microcontrolador PIC 16F876, que possui arquitetura RISC e memória EEPROM, permitindo gravações rápidas e múltiplas. Para a validação do estudo teórico, o circuito foi desenvolvido e testado por meio de simulações computacionais nos softwares PSIM e PROTEUS. Os resultados experimentais obtidos demonstraram-se satisfatórios, apresentando alta correlação com os dados simulados e confirmando a eficácia da conversão de tensão para os níveis de 24 V e 5 V. Conclui-se que o protótipo desenvolvido é uma ferramenta eficaz para o ensino de automação, aliando precisão elevada e dimensões reduzidas.

Palavras-chave: CLP. Flyback. Microcontrolador. Automação Didática.

¹ Bacharel em Ciências e Tecnologias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Caraúbas, Rio Grande do Norte, Brasil. E-mail: micael.almeida@alunos.ufersa.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-5557-2930>

² Bacharel em Ciências e Tecnologias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Caraúbas, Rio Grande do Norte, Brasil. E-mail: franarilly.silva@alunos.ufersa.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-1689-0217>

³ Bacharel em Ciências e Tecnologias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Caraúbas, Rio Grande do Norte, Brasil. E-mail: erick.oliveira64338@alunos.ufersa.edu.br

⁴ Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. E-mail: daniel.crisostomo@ufersa.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9752-688X>

⁵ Doutor em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Caraúbas, Rio Grande do Norte, Brasil. E-mail: jan.pinto@ufersa.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4383-506X>

⁶ Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará (UFC), Caraúbas, Rio Grande do Norte, Brasil.
E-mail: ailton.junior@ufersa.edu.br

ABSTRACT

This work presents the study and development of a Programmable Logic Controller (PLC) aimed at educational purposes, using a power supply based on the flyback topology. The device is composed of input modules, output modules, a DC voltage source, and a microcontroller, enabling its application in simple industrial or laboratory automation practices. The project used the PIC 16F876 microcontroller, which has a RISC architecture and EEPROM memory, allowing for fast and multiple recordings. For the validation of the theoretical study, the circuit was developed and tested thru computational simulations using the PSIM and PROTEUS software. The experimental results obtained were satisfactory, showing a high correlation with the simulated data and confirming the effectiveness of the voltage conversion to the levels of 24 V and 5 V. It is concluded that the developed prototype is an effective tool for teaching automation, combining high precision and compact dimensions.

Keywords: PLC. Flyback. Microcontroller. Didactic Automation.

RESUMEN

Este trabajo presenta el estudio y el desarrollo de un Controlador Lógico Programable (PLC) orientado a fines didácticos, utilizando una fuente de alimentación basada en la topología flyback. El dispositivo está compuesto por módulos de entrada, módulos de salida, una fuente de tensión CC y un microcontrolador, lo que posibilita su aplicación en prácticas simples de automatización industrial o de laboratorio. El proyecto utilizó el microcontrolador PIC 16F876, que posee arquitectura RISC y memoria EEPROM, permitiendo grabaciones rápidas y múltiples. Para la validación del estudio teórico, el circuito fue desarrollado y probado mediante simulaciones computacionales en los softwares PSIM y PROTEUS. Los resultados experimentales obtenidos demostraron ser satisfactorios, presentando una alta correlación con los datos simulados y confirmando la eficacia de la conversión de tensión para los niveles de 24 V y 5 V. Se concluye que el prototipo desarrollado es una herramienta eficaz para la enseñanza de automatización, combinando alta precisión y dimensiones reducidas.

Palabras clave: PLC. Flyback. Microcontrolador. Automatización Didáctica.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, o homem busca tornar os processos produtivos mais rápidos e confortáveis, impulsionando a evolução constante da tecnologia e da sociedade. A Revolução Industrial, no século XVIII, marcou a transição da produção artesanal para a mecanizada, introduzindo máquinas para substituir o trabalho pesado. Os primeiros controles foram os reguladores mecânicos de James Watt (1788), seguidos pela instrumentação pneumática

e hidráulica.

Após a Segunda Guerra Mundial, surgiram os reguladores eletrônicos analógicos e, a partir de 1920, os relés e contadores dominaram a tecnologia. Na década de 50, o Controle Numérico (CN) permitiu ações controladas por dados numéricos, evoluindo para o CNC com a integração de microprocessadores. Finalmente, a necessidade de flexibilizar a lógica de relés na indústria automobilística levou a General Motors a adotar o Controlador Lógico Programável (CLP), sob a coordenação do engenheiro Richard Moley.

Atualmente, o CLP é um sistema eletrônico digital que utiliza memória programável para funções como lógica, temporização e contagem, operando de forma confiável em ambientes severos. As principais vantagens de seu uso incluem a modularidade, redução de tamanho e a facilidade de reprogramação no próprio "chão de fábrica".

A motivação para este estudo reside no crescimento industrial acelerado, que exige profissionais capacitados. Contudo, o custo de equipamentos comerciais limita o acesso prático no ensino. O objetivo deste artigo é descrever o desenvolvimento de um CLP didático, fornecendo o esquemático e o projeto da placa de circuito impresso para que estudantes possam montar e validar seus próprios protótipos funcionais.

REFERENCIAL TEÓRICO

Controlador Lógico Programável (CLP)

O Controlador lógico programável tem esse nome porque o intuito inicial era substituir os painéis de relés no controle discreto. Atualmente eles evoluíram de uma forma impressionante e são bem mais complexos, devido ao avanço das plantas industriais que precisam controlar funções lógicas binárias e também controlar as malhas analógicas (Silveira; Santos, 2008).

Segundo o IEC (International electrotechnical commission) o controlador lógico programável é definido como: "Sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para a armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos e máquinas ou processos. O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle

industrial e facilmente usados em todas suas funções previstas."

Sendo assim, o controlador lógico programável pode ser entendido como um equipamento eletrônico de processamento, cuja a finalidade é de facilitar a interação com o usuário e assim ser de fácil implementação. Executando assim vários níveis de complexidade de uma forma mais simples e direta.

Estrutura de um CLP

Como foi exposto, para o controle de plantas industriais é necessário utilizar um controlador para garantir uma operação segura para os funcionários e ser economicamente viável para as empresas. A estrutura dos CLP's pode ser separada em três blocos, tanto para os usos mais complexos (como os utilizados nas indústrias) quanto os usos mais simples (como os utilizados para pequenas práticas). Sendo assim a seguir será dada uma definição de cada uma dessas partes do CLP, portanto a estrutura do CLP é dividida em Transdutores (sensores), os controladores e os atuadores (Silveira; Santos, 2008).

Transdutores (Sensores)

Os transdutores que também são conhecidos como sensores, são dispositivos eletromecânicos que convertem uma variação mecânica, como por exemplo um deslocamento ou uma força, numa variação correspondente de uma quantidade elétrica, onde após uma conversão ela é dada por um sinal de tensão. Em outras palavras para um sistema de controle como o CLP, o sensor é um dispositivo que mede e determina propriedades do mundo físico. Fazendo a conversão do mundo real (analogico), para o computacional (digital), pois torna o processo mais fácil e rápido (Automatos, 2014).

Os sensores podem se dividir em várias categorias, porém serão expostos algumas das principais, pois são de suma importância para o entendimento em geral.

São eles sensores de;

- Temperatura – É o estado de aquecimento dos corpos, onde representa o estado de agitação das partículas, estando assim diretamente ligada a energia cinética das partículas. Tem influência decisiva no desgaste e envelhecimento dos equipamentos. Alguns exemplos são: Termistores (NTC e PTC), Termopares, Medidores de radiação e

Bimetálicos;

- Nível e Pressão – Os sensores de nível permitem detectar se um recipiente está cheio ou vazio. Os métodos mais conhecidos são: Método hidrostático, Método elétrico e Métodos ultra-sônicos. Os sensores de pressão são de suma importância, para as indústrias, os sensores mais conhecidos são: Manômetros, Diafragmas e Bubo de Bourdon;
- Aceleração – Tem várias aplicações tanto na indústria como no cotidiano, sendo assim importante comentar sobre eles. Um bom exemplo para sensores de aceleração é o acelerômetro;
- Interruptores fim de curso – São vastamente utilizados, pois tem várias características benéficas como, proteção contra choques, resistente, funcionamento seguro, grande precisão e imunidade a perturbações eletromagnéticas;
- Sensores indutivos – Estes aparelhos detectam sem contato qualquer objeto metálico. Que oferecem diversas vantagens, como: Duração de vida, independente do número de manobras e adaptação a ambientes húmidos e corrosivos;
- Sensores Capacitivos – Estes detectam qualquer objeto não metálico, tem muitas aplicações na indústria (Automatos, 2014):

Controladores

Os controladores utilizam um programa de controle para calcular os estados das saídas de acordo com os estados de suas entradas, ou seja é a parte principal do CLP, pois ele quem define a lógica de atuação. É no controlador que o operador pode mudar a lógica, ou seja, interagir. No CLP o controlador é o “cérebro”.

Atuadores

São elementos que produzem movimento, atendendo a comandos que podem ser manuais, elétricos ou mecânicos. Através dos sistemas de transmissão, a energia mecânica gerada pelos atuadores é enviada aos links do manipulador para que se movimentem (Inácio, 2009).

Podem ser classificados em: Atuadores hidráulicos e pneumáticos ou Atuadores eletromagnéticos;

- Atuadores Hidráulicos e pneumáticos - Os atuadores hidráulicos e os pneumáticos são

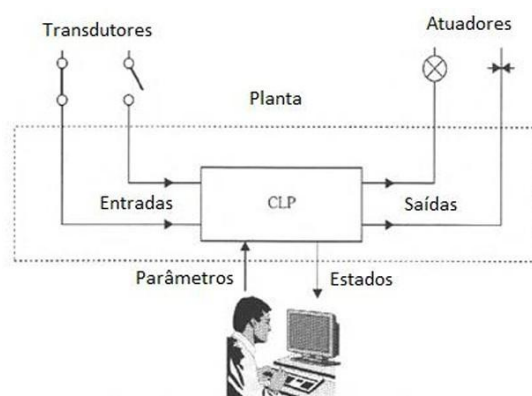
acionados por fluidos em movimento. No primeiro caso, o fluido é geralmente óleo pressurizado e no segundo caso, o fluido é ar comprimido. Dependendo da forma do cilindro pode-se ter respostas diferentes, ou seja, se forem cilindros lineares, geram movimentos lineares e se forem cilindros rotativos proporcionam movimentos angulares; Atuadores hidráulicos tem algumas características importantes que devem ser ressaltadas, como: Permitem a implementação de controle contínuo e preciso de posicionamento e velocidade, devido a incompressibilidade do fluido. Tem elevada relação entre a potência mecânica transmitida pelo atuador e seu peso, podendo com isso construir unidades compactas de alta potência.

Os atuadores pneumáticos também tem algumas características a serem abordadas como: Possuir baixa rigidez, devido a compressibilidade do fluído (ar comprimido). Podem ser utilizados em operações suaves, porem não tem uma boa precisão de velocidade e força. Tem um controle simples e de baixo custo (Inácio, 2009).

- Atuadores Eletromagnéticos - São um dos atuadores mais utilizados, principalmente os motores CC e os motores de passo. Podemos enumerar algumas vantagens desse tipo de atuador, como: Grande variedade de modelos e marcas no mercado. Motores elétricos podem ser empregados tanto para controle de força como de posição. Tem como benefício uma programação simplificada, ocupando menos espaço na memória.

Na imagem 1 temos a estrutura de um CLP:

Imagem 1 - Representação de um Sistema de controle.



Fonte: Franchi (2008).

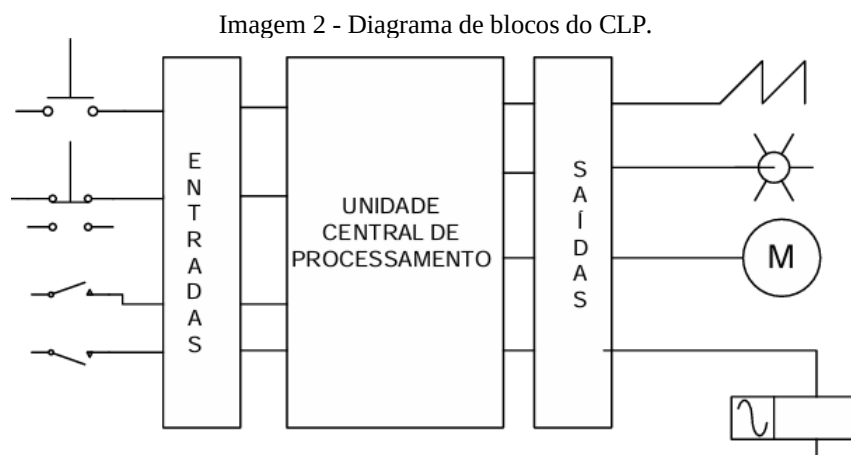
Sendo assim em resumo a estrutura do CLP é da seguinte maneira, Os sensores detectam alguma variação, de acordo com sua funcionalidade. Então o transdutor transforma um tipo de energia em outro enviando esse sinal para a entrada do CLP essa entrada envia o sinal para o CPU

onde se encontra o controlador, que de acordo com sua lógica de programação vai acionar alguma saída, na qual essa vai acionar um atuador para que haja o controle de uma planta (Inácio, 2009).

Arquitetura do CLP

Para entender o funcionamento do CLP primeiro temos que entender todos os componentes que o formam, para isso essa seção foi dedicada exclusivamente para apresentar esses componentes. Os CLP's são dispositivos de estado sólido que tem a 8 característica de poderem ser programados para executar instruções que controlam dispositivos, máquinas e operações de processos usando lógica de controle, sequenciamento e etc. Eles são projetados para operarem em ambientes severos, podendo resistir a altas temperaturas, humidade, ruídos elétricos e etc. Tem vários modelos, sendo assim suas características variam de fabricante para fabricante. Portanto como pode-se observar que o CLP é muito robusto e ao mesmo tempo fléxivel (Automatos, 2014).

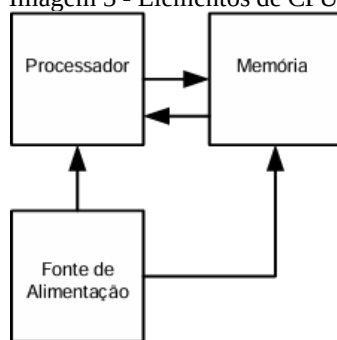
Pode-se dividir a arquitetura do CLP em dois blocos principais, na imagem 2 podemos observar as respectivas arquiteturas:



Fonte: Franchi (2008).

Dentro do bloco do CPU, onde ocorrem todas as atividades do CLP, ou seja, ela é responsável pelo controle. Ela pode se dividir em três elementos básicos. Que são o Processador, Sistema de memórias e Fonte de alimentação, como pode ser visto na imagem 3:

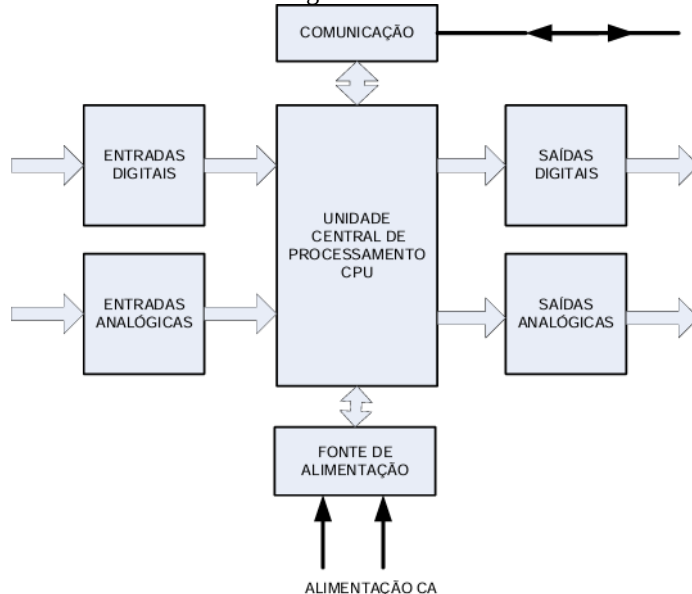
Imagem 3 - Elementos de CPU.



Fonte: Franchi (2008).

Porém o CLP pode ser exposto de forma mais detalhada, conforme a imagem 4:

Imagem 4 - CLP.



Fonte: Franchi (2008).

Sendo assim o CLP pode ser dividido de uma forma mais geral em quatro partes, que são a fonte de alimentação, entradas e Saídas (Analógicas ou digitais), unidade Central de processamento e unidade de comunicação.

Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação fornece energia elétrica para os elementos eletrônicos internos do controlador. Como a tensão da rede não é constante, ou seja, sofre algumas oscilações, então a fonte é responsável por manter essa tensão nos controladores. A função da fonte de alimentação

é converter uma tensão de 110 V ou 220 V em uma tensão de 5 V (para o microcontrolador, memória e circuitos auxiliares) e 24 V (para a comunicação como o terminal de programação ou computador). Alguns 10 CLP's se mantêm a carga de uma bateria, nos sistemas que utilizam relógio em tempo real e memória tipo RAM. Além de fornecer tensão para as entradas e saídas (Diocélio, 2009).

Foi utilizada a topologia Flyback isolado com retificador e filtro capacitivo, que funcionara da seguinte maneira. A tensão da rede 220 V vai para o retificador com filtro capacitivo onde haverá uma conversão de uma tensão alternada em uma tensão contínua com ondulação estabelecida pelo filtro capacitivo. Essa tensão contínua será aplicada a entrada do conversor flyback. Como se tratam de conversores isolados faz-se uso de um transformador. Onde além de isolar também permite a adaptação da tensão de saída em função da tensão de entrada. Desta forma o conversor tem a função principal o controle da tensão de saída, o transformador também tem a característica de elemento armazenador de energia (Microchip, 2016). Assim o flyback é projetado da seguinte maneira, primeiro projeta-se o retificador com filtro capacitivo, depois o conversor.

METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o desenvolvimento do CLP didático seguiu uma abordagem sistemática dividida em quatro etapas principais: fundamentação teórica, dimensionamento de componentes, simulação computacional e validação experimental. Inicialmente, definiram-se as especificações técnicas, prevendo um sistema com 4 entradas digitais opto-isoladas e 4 saídas digitais a relé, operando com uma frequência de chaveamento de 120 kHz e ciclo de trabalho de 0,45.

O núcleo do sistema foi o microcontrolador PIC 16F876, escolhido por sua arquitetura RISC, baixo custo e robustez. Para a validação do projeto, utilizou-se o software PSIM para analisar as formas de onda do conversor flyback e o PROTEUS para simular a lógica de controle e o funcionamento do microcontrolador antes da montagem física do protótipo.

Dimensionamento dos Componentes Módulos de Entrada e Saída

Para garantir o nível lógico adequado ao microcontrolador com uma fonte de 24 V,

calculou-se o resistor limitador de corrente (R_1) para os optoacopladores PLC817. Utilizando uma corrente de operação de 20 mA, o valor calculado foi de $1,13k\Omega$, adotando-se o valor comercial de $1k\Omega$. A corrente total consumida pelas entradas foi de 80 mA.

Utilizaram-se relés ME1NAC3 acionados por transistores BC337 atuando como chaves. A corrente necessária para magnetizar a bobina do relé (I_{coil}) foi dimensionada em 7,5 mA, resultando em um consumo total de 100 mA para as quatro saídas simultâneas.

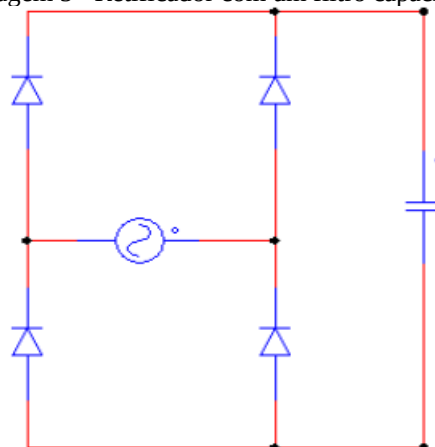
Fonte de Alimentação (Conversor Flyback)

O dimensionamento da fonte buscou atender às demandas de potência do sistema (13,25 W), convertendo 220V para saídas isoladas de 24V e 5V.

Para o capacitor de Barramento, o valor calculado foi de aproximadamente $41\mu F$, sendo selecionado um capacitor comercial de $100\mu F/400V$ para garantir estabilidade. O projeto do transformador definiu 180 espiras para o primário (N_p), 6 espiras para o secundário de 24V (N_{s1}) e 46 espiras para o secundário de 5V (N_{s2}), utilizando núcleos de pó de ferro. O Driver de Controle utilizado para gerenciar o chaveamento e a regulação da tensão, utilizou-se o CI TNY274, que integra o MOSFET de potência e o circuito de controle, garantindo proteção contra subtensão e sobrecarga.

Assim o flyback é projetado da seguinte maneira, primeiro projeta-se o retificador com filtro capacitivo Imagem 5, depois o conversor Imagem 6, como pode ser observado a seguir:

Imagem 5 - Retificador com um filtro capacitivo.

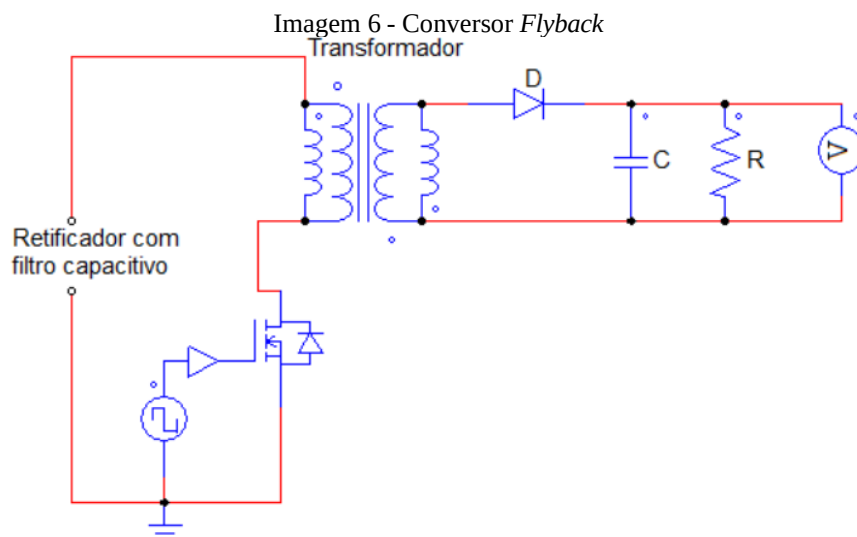


Fonte: Psim, 2026.

O retificador com filtro capacitivo é o estágio inicial da fonte de alimentação do CLP, responsável por converter a tensão alternada da rede elétrica (220V) em uma tensão contínua. Esse processo gera uma tensão de saída que apresenta uma ondulação (*ripple*), cujo nível é estabelecido pelo dimensionamento do capacitor de filtragem. Após essa retificação, a tensão contínua resultante é aplicada diretamente à entrada do conversor flyback para processamento posterior. Os parâmetros do retificador foram;

- Tensão de Entrada: Nominal de 220 VAC com variação de $\pm 10\%$;
- Frequência da Rede: 60 Hz;
- Tensão de Pico (V_{maxpk}): Aproximadamente 311V (com máximo de 373V considerando a variação da rede);
- Capacitor de Barramento (C_{Bus}): O valor calculado foi de aproximadamente $41\mu\text{F}$, mas utilizou-se um capacitor comercial de $100\mu\text{F}/400\text{V}$;
- Potência de Entrada (P_{in}): 16,463 W;
- Tensão Mínima de Barramento (V_{min}): 235V.

Foram considerados o rendimento do retificador (η_{ret}), a queda de tensão nos diodos (V_d), a temperatura de operação (T_a) e a ondulação desejada (ΔV).



Fonte: Psim, 2026.

O conversor flyback é uma topologia de conversor isolado que utiliza um transformador (atuando como indutor acoplado) para armazenar energia durante o ciclo de condução e transferi-la para a saída no ciclo de bloqueio. Além de garantir a isolamento galvânica, ele permite adaptar múltiplos níveis de tensão de saída de forma precisa, sendo uma solução compacta e eficiente

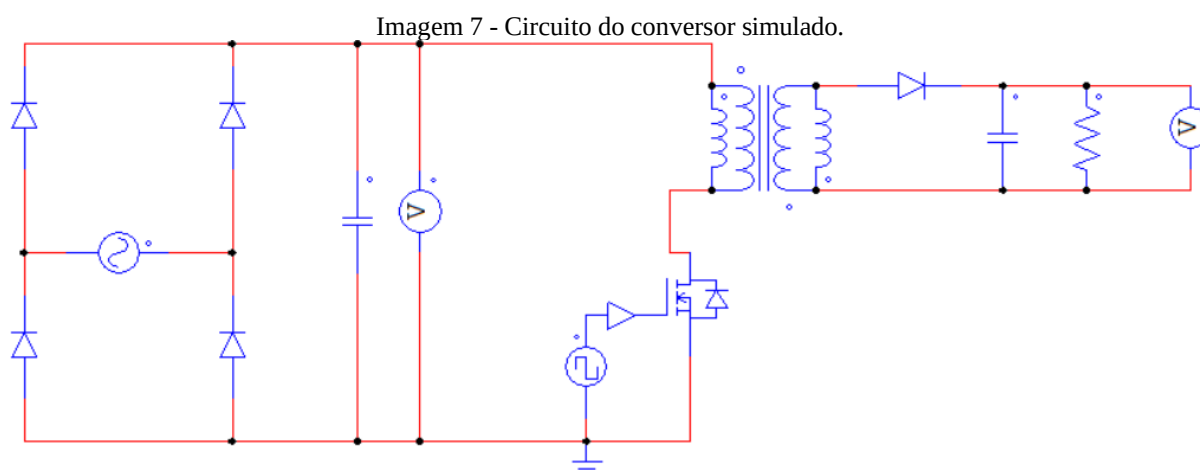
para ser integrada ao gabinete de um CLP.

As especificações e parâmetros utilizados para o dimensionamento do conversor flyback neste projeto foram:

- Frequência de Chaveamento: 124 kHz;
- Ciclo de Trabalho Máximo: 0,45;
- Rendimento Estimado: 80%;
- Potência de Saída Total: 13,25 W;
- Tensões e Correntes de Saída;
 - Saída 1: 24 V com corrente de 0,5 A;
 - Saída 2: 5 V com corrente de 0,25 A;
- Projeto do Transformador;
 - Número de espiras no primário: 180;
 - Número de espiras no secundário 1 (24V): 6;
 - Número de espiras no secundário 2 (5V): 46.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o programa PSIM é possível observar as formas de onda de tensão e corrente em cada elemento do conversor CA-CC proposto. Pode-se observar na Imagem 8 o circuito simulado pelo programa:

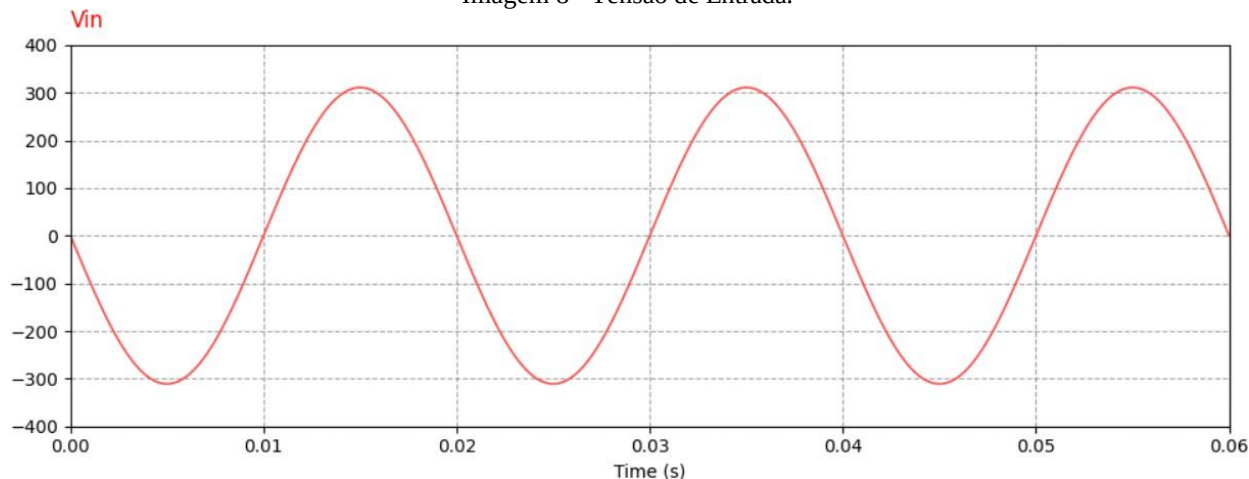


Fonte: Psim, 2026.

Na imagem 8 vemos os resultados da forma de onda da tensão de entrada (V_i), ou seja,

a tensão aplicada ao circuito advinda da rede elétrica, tem um valor de aproximadamente $V_i = 311V$ de pico. A corrente de entrada também é senoidal.

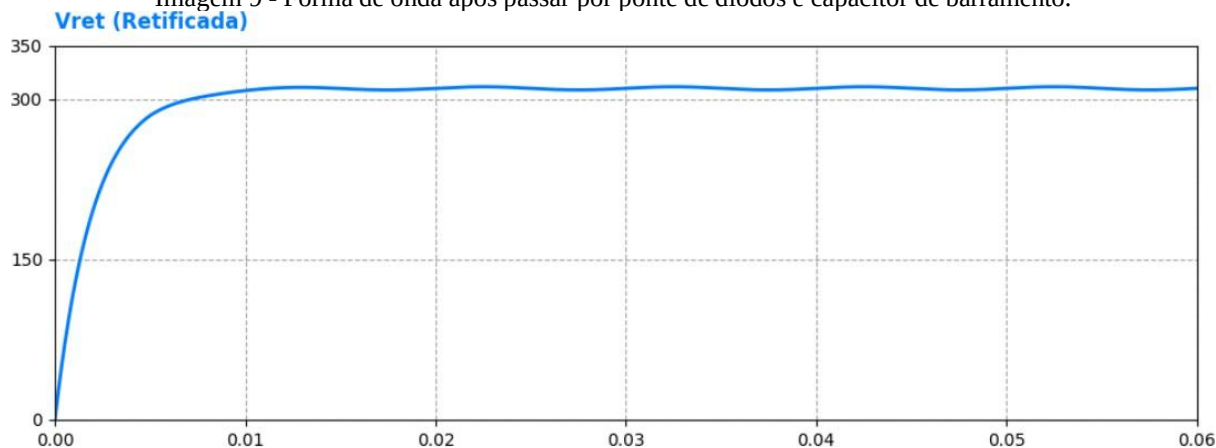
Imagem 8 - Tensão de Entrada.



Fonte: Elaborado pelos autores (Python), 2026.

A imagem 9 mostra a forma de onda da tensão após passar pelo retificador com filtro, ou seja, após retificar a forma de onda.

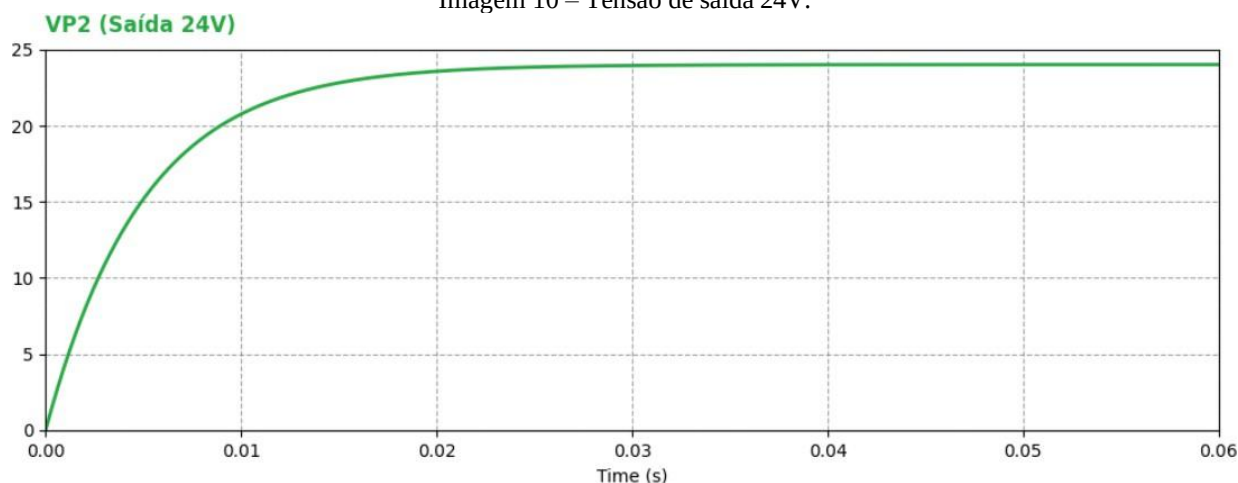
Imagem 9 - Forma de onda após passar por ponte de diodos e capacitor de barramento.



Fonte: Elaborado pelos autores (Python), 2026.

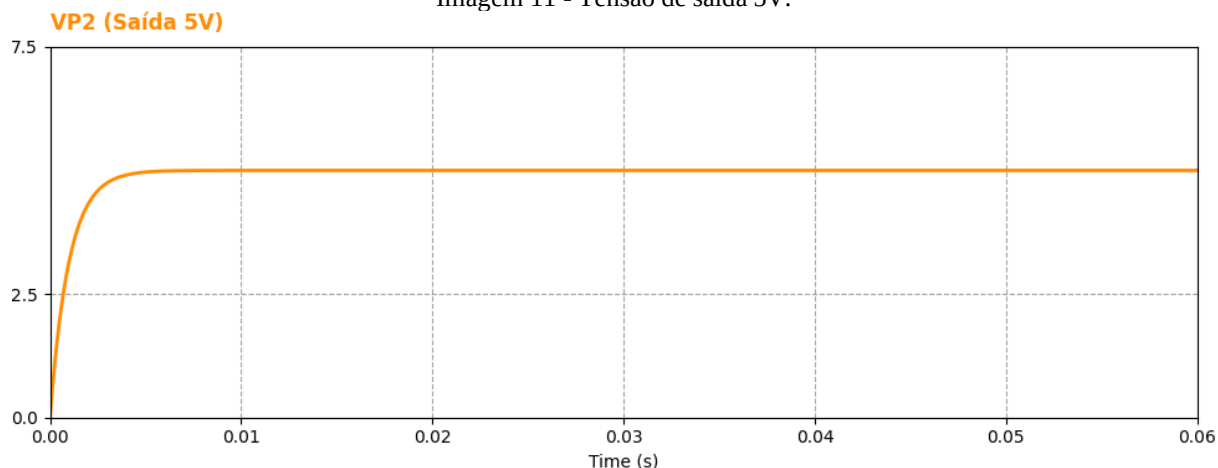
Após passar pelo retificador a forma de onda fica contínua e com uma ondulação definida pela capacitância, a imagem 10 e 11 nos mostra o comportamento da saída em 24V e 5V.

Imagem 10 – Tensão de saída 24V.



Fonte: Elaborado pelos autores (Python), 2026.

Imagem 11 - Tensão de saída 5V.



Fonte: Elaborado pelos autores (Python), 2026.

Como se pode observar nas imagens acima, os resultados esperados foram alcançados, pois a conversão da tensão CA para a tensão CC foi satisfeita. Pelas formas de onda da tensão na carga é possível observar que passou de uma tensão alternada de $V_i = 311V$ de pico para uma tensão contínua de aproximadamente 24V e 5 V.

CONCLUSÃO

Neste artigo, foi apresentado o estudo e o projeto de um CLP para fins educacionais. Este CLP tem seu circuito isolado da rede elétrica através do indutor acoplado presente no conversor Flyback (responsável por gerar os níveis de tensão utilizados pelo CLP). Tendo em vista todos os aspectos observados é notório dizer que o CLP tem muitas aplicações tanto na indústria como nas

residências, na chamada automação industrial. Pois a automação vem tomando conta de todos esses setores e está numa crescente exponencial, fazendo assim com que a importância do CLP seja imprescindível. A vantagem de se utilizar esta topologia, é que o microcontrolador é preciso e rápido para a realização das tarefas nos processos, bem como o circuito completo tem tamanho reduzido viabilizando a utilização de cases (patolas) menores barateando o custo final.

REFERÊNCIAS

- APOSTILA de princípios de automação. Disponível em:
<https://www.passeidireto.com/arquivo/18837408/37574722-apostila-de-principios-de-automacao>. Acesso em: 15 abr. 2026.
- AUTOMATOS Programáveis. Disponível em:
http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/batshauer/materiais/Apostila_CCE_v7_simobologia_.pdf. Acesso em: 10 mar. 2026.
- CONVERSORES Estáticos: Flyback. Disponível em:
http://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Conversores_Estaticos/Pos_2009/Flyback_Forward.pdf. Acesso em: 20 maio 2026.
- DIOCELIO, Francisco. **Módulo de Automação UEA-11: Unidade de Estudo Autônomo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009.
- FRANCHI, C. M. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2008.
- INÁCIO, Maurílio J. **Sensores e atuadores**. Joinville: FACIT, 2009.
- MICROCHIP Technology. **Microcontroladores e PICs**. Disponível em:
<http://www.microchip.com/>. Acesso em: 5 jun. 2026.
- MICROCONTROLADORES PIC. Disponível em:
http://www.radioamadores.net/files/microcontroladores_pic.pdf. Acesso em: 5 jun. 2026.
- SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. **Automação e controle discreto**. São Paulo: Érica, 2008.