



PROTÓTIPO DE INVERSOR CC-CA EM TOPOLOGIA PUSH-PULL ACESSÍVEL COMO FERRAMENTA DIDÁTICA EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6052

Autores: GABRIEL DE OLIVEIRA RAMALHO, VINÍCIUS JOSÉ WANDERLEY VIEIRA, ISABELY SAMARA SIMÃO DE MATOS, HÉLDER ROLIM FLORENTINO, SUZETE ÉLIDA NÓBREGA CORREIA

Resumo: O crescente uso de fontes alternativas de energia elétrica no Brasil evidencia a necessidade de recursos didáticos que facilitem o ensino de eletrônica de potência. Neste cenário, desenvolveu-se um protótipo acessível de um inversor CC CA em topologia push pull, capaz de converter 12 V CC em 220 V CA. O protótipo foi montado com componentes acessíveis — amplificador, transistores, resistores, capacitores e transformador — sobre placa perfurada de fenolite e estrutura reaproveitada de uma fonte ATX. Na etapa experimental, obteve-se tensão de saída de 222 V e potência de 24 W, validando o princípio de funcionamento em dois cenários de acionamento de lâmpadas LED de 9 W. Ao focar nos elementos essenciais, o projeto simplifica a complexidade dos inversores, favorecendo a compreensão dos princípios de operação, estimulando o raciocínio lógico e consolidando conceitos teóricos de tensão, corrente e potência elétrica.

Palavras-chave: Ensino-aprendizagem, Inversor de tensão, Protótipo educacional

PROTÓTIPO DE INVERSOR CC-CA EM TOPOLOGIA PUSH-PULL ACESSÍVEL COMO FERRAMENTA DIDÁTICA EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, a crescente demanda por energia elétrica no Brasil refletiu na exploração de novas técnicas de geração, dentre as quais cita-se a geração solar. Ela consiste na conversão de energia na forma de radiação eletromagnética em energia elétrica a partir da captação da luz do sol por painéis fotovoltaicos, tornando possível a manutenção constante de um fluxo de elétrons. A partir disso, a adequação da energia proveniente da geração solar ocorre através dos inversores de tensão, responsáveis pela conversão da corrente contínua em corrente alternada (TIBA, 2013).

Segundo Villalva (2015), a escolha do inversor adequado depende de cada tipo de sistema fotovoltaico em função do seu tamanho e demais componentes existentes. Independentemente de ser um projeto básico ou avançado, é necessária a inclusão de diversas etapas, iniciando a partir do seu dimensionamento e comissionamento, garantindo que ele atenda à potência nominal requerida. Além disso, é imprescindível a seleção criteriosa dos componentes que darão sentido ao sistema, sendo fundamental o conhecimento de circuitos elétricos e de eletrônica.

O avanço das tecnologias alternativas para a geração de energia elétrica impulsionou a necessidade de uma base curricular mais robusta, que contemple a formação prática e teórica do engenheiro. Segundo Delgado e Trejo (2010), a eletrônica desempenha um papel crucial no desenvolvimento de projetos atuais, demonstrando que o ensino das topologias e técnicas de conversão de energia é essencial para a formação do engenheiro eletricista e eletrônico.

No contexto acadêmico da engenharia elétrica, integrar teoria e prática nos projetos de circuitos elétricos e eletrônica é essencial para um aprendizado contínuo e eficaz. D'Andrea e Júnior (2021) reforçam a importância da Aprendizagem Baseada em Problemas, um método de aprendizagem ativa, cujo objetivo é fomentar, sobre o aluno, o interesse em resolver uma problemática da sua área de estudo. Essa abordagem favorece o estímulo do raciocínio lógico e uma relação eficiente entre a teoria e a prática, garantindo uma participação ativa e crítica do aluno (SILVA, 2018). Nesse sentido, a formação de um profissional da engenharia não deve estar focada apenas na tradicionalidade do ensino – ou seja, aquela baseada em métodos, assuntos e estruturas curriculares antigas –, mas sim deve ser continuamente aprimorada através de conteúdos e práticas pedagógicas que estimulem a capacidade de inovação dos alunos (COSTA, 2017).

Segundo De Oliveira e Pinto (2006), são evidentes as altas taxas de evasão e retenção relacionadas aos cursos de engenharia, que se relacionam, em parte, a uma grade curricular excessivamente teórica. Disciplinas que demandam uma abordagem mais prática a fim de facilitar a compreensão dos conceitos – como circuitos elétricos e eletrônica –, muitas das vezes não são abordadas de maneira adequada, contribuindo para esses índices.

Quintino *et al.* (2017) propuseram a criação de um *kit* didático acessível e de baixo custo para o desenvolvimento de práticas interdisciplinares em cursos de engenharia eletrônica, sendo constatados os impactos positivos do projeto proposto no processo de ensino-aprendizagem dos alunos, o que contribui significativamente para uma diminuição das taxas apontadas.

Sausen (2023) destaca a importância das aulas práticas experimentais para a consolidação do conhecimento, uma vez que permitem aos alunos aplicar, compreender e fixar os conceitos obtidos durante as aulas teóricas. Para exemplificar essa abordagem, o autor elaborou um *kit* didático de um inversor de tensão CC-CA monofásico na topologia de meia-ponte, acessível e de baixo custo, cujo objetivo é ser utilizado durante as aulas de Eletrônica de Potência.

O projeto de um inversor de tensão CC-CA pode ser realizado a partir do entendimento da topologia de circuito mais básica, denominada “*push-pull*” – “empurrar-puxar”, em tradução livre –, que utiliza componentes simples. Embora essa topologia seja menos empregada em aplicações comerciais, devido à sua tendência de condicionar sinais quadrados e à limitação a aplicações de baixa potência (MOHAN, UNDELAND e ROBBINS, 1995), ela permite validar os princípios básicos de funcionamento dos inversores.

Com base no exposto, a construção de um protótipo a partir de uma configuração simplificada se mostra uma estratégia interessante para facilitar a absorção dos conceitos, reduzir a falta de interesse pelo curso e estimular a criação de projetos práticos pelos estudantes. Nesse contexto, o presente trabalho objetiva não apenas a construção e demonstração de um inversor de tensão CC-CA didático, mas também procura apresentar a sua aplicação no ambiente pedagógico, ressaltando a aprendizagem ativa através da experimentação. Essa abordagem proporcionou o estímulo do raciocínio prático, bem como a ampliação da compreensão dos conceitos teóricos e práticos de circuitos elétricos e da eletrônica pelos discentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Inversor de Tensão CC-CA

O inversor de tensão é um equipamento eletrônico capaz de remodelar as formas de onda de tensão e corrente de contínua (CC) para alternada (CA), simétrica, com valores de amplitude e frequência desejados. Idealmente, a forma de onda na saída do inversor é puramente senoidal (VILLALVA, 2015; PEREIRA, 2022). A Figura 1 mostra a representação simplificada de um inversor CC-CA.

Figura 1 – Inversor (ou conversor) de tensão CC-CA.



Fonte: Adaptado de BARBI, I. Inversores Monofásicos. Florianópolis: Edição do Autor, 2022.

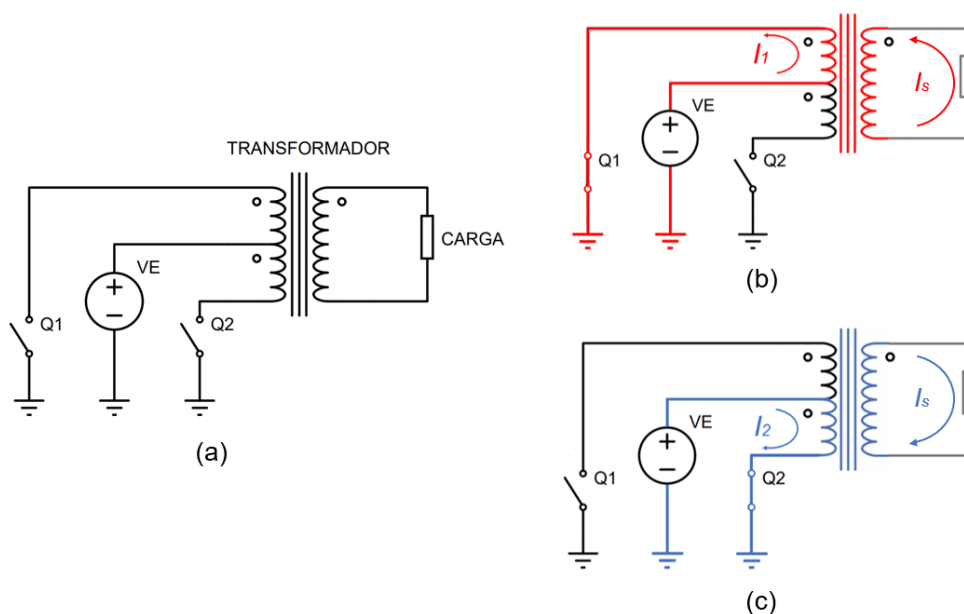
Para uma aplicação didática, as principais reflexões levantadas no desenvolvimento deste trabalho foram: uso de uma topologia de circuito simples, de fácil compreensão, uso de componentes eletrônicos de fácil acesso, tais como amplificador operacional, resistores, capacitores e transistores bipolares de junção (TBJs), uso de uma fonte linear simétrica de bancada com tensão de saída limitada em ± 12 V CC para alimentação do circuito inversor, garantir uma tensão nominal de saída do inversor compatível à tensão da rede elétrica residencial, definida, no caso, em aproximadamente 220 V e 60 Hz, e demonstrar o princípio de funcionamento do inversor considerando a inserção de uma carga simples na saída do inversor, no caso, uma lâmpada de LED.

2.2 Topologia *push-pull*

No presente contexto, em que a utilização dos conhecimentos sobre os fenômenos elétricos envolvidos nas etapas de adequação da energia elétrica promovida pelo inversor é de grande importância, foi feita a preferência pelo uso da topologia *push-pull* devido à facilidade de entendimento do fenômeno elétrico envolvido, além de se mostrar simples e tecnicamente viável a sua implementação.

O desenvolvimento do circuito inversor CC-CA proposto leva em consideração a topologia de circuito *push-pull*, cujo objetivo é acionar, de modo não simultâneo, duas “chaves”, sendo essas, na realidade, uma representação para o uso e funcionamento de transistores de potência. Esse tipo de circuito emprega um transformador na configuração de elevador de tensão com derivação (*tap*) central no enrolamento primário, a qual se conecta uma fonte de tensão contínua, possibilitando a geração de um sinal de saída alternado, sendo uma topologia mais simples em termos de eficiência energética (potência de saída), além de necessitar a inserção de somente um circuito (ou bloco) de comando para controle do chaveamento dos transistores de potência (CANESIN, s.d.). A Figura 2 relaciona os principais componentes de um inversor na topologia *push-pull*, além das etapas de funcionamento desse tipo de circuito, permitindo, assim, a geração de um sinal de tensão alternado.

Figura 2 – (a) Representação da topologia *push-pull* em inversores de tensão. (b) Sentido da corrente resultante I_1 para acionamento de Q1 apenas. (c) Sentido da corrente resultante I_2 para acionamento de Q2 apenas.



Fonte: Autores (2025).

As etapas de funcionamento de um inversor *push-pull* são mostradas a partir das Figuras 2(b) e 2(c), quando a chave Q1 é acionada, mantendo-se Q2 em aberto, e quando a chave Q2 é acionada, mantendo-se Q1 em aberto. Nessa configuração, são geradas as correntes I_1 e I_2 no lado primário do transformador, que possuem mesma magnitude, porém, sentidos contrários. Promovendo a repetição das etapas elencadas anteriormente, no lado secundário do transformador surge uma corrente de saída I_s , na qual possui natureza alternada, responsável por alimentar a carga conectada.

2.3 Transistores

Os transistores são dispositivos largamente utilizados em eletrônica, cujo objetivo é promover o controle de corrente elétrica em um circuito ou amplificá-la. Essa capacidade se

deve à sua concepção, idealizada a partir da utilização de materiais semicondutores, aqueles que são dopados quimicamente de modo a garantir cargas elétricas adicionais, facilitando a condução de eletricidade (HELERBROCK, 2025).

No caso dos transistores bipolares de junção (TBJs), são designadas três regiões essenciais, denominadas de: emissor, base e coletor. Nesse tipo de configuração, são feitos os transistores bipolares de junção tipo *nnp*, em que, quando ativados, permite a condução de corrente no sentido do coletor para o emissor, ou *pnp*, que permitem a condução de corrente do emissor para o coletor, dada a inserção de uma pequena corrente na base (SEDRA, 2014).

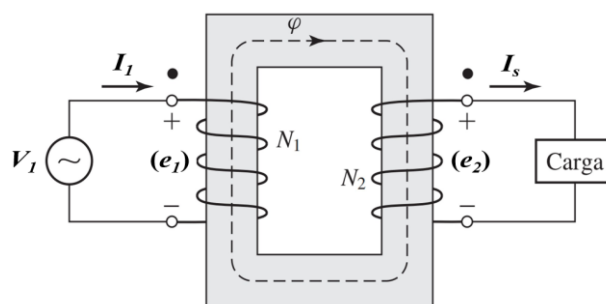
Quando atuam como chaves eletrônicas, os TBJs são utilizados em seus modos de corte (aberto) e saturação (fechado), o que é essencial para o acionamento de cargas em sistemas como os inversores CC-CA. Para aplicações em eletrônica de potência, que demandam um ganho de corrente elevado, a configuração conhecida como par Darlington torna-se muito útil. Essa configuração consiste na associação de dois TBJs em cascata, resultando em um ganho total significativamente superior, permitindo que correntes de base mínimas acionem elevadas correntes no coletor (BRAGA, 2025).

Com base nisso, procurou-se adequar a escolha dos transistores à sua qualidade técnica de funcionamento, promovendo, assim, pleno atendimento à topologia implementada. Para isso, exigiu-se, por parte dos discentes, os conhecimentos básicos sobre o princípio de operação desse tipo de componente, visto ser fundamental o seu uso durante as etapas de conversão de energia. Destaca-se a importância da eletrônica durante o desenvolvimento do projeto, alinhando-se, portanto, à perspectiva apresentada por Delgado e Trejo (2010).

2.4 Transformador

Os transformadores elétricos são dispositivos que consistem em dois ou mais enrolamentos acoplados por meio de um fluxo magnético comum. A partir disso, em função do número de espiras desses enrolamentos, é possível gerar uma tensão de saída (ou tensão do secundário) diferente do nível de tensão aplicada na entrada (ou tensão do primário), o que torna esse equipamento extremamente útil em situações que requerem uma tensão de trabalho específica (UMANS, 2014). A Figura 3 mostra a representação de um transformador de dois enrolamentos.

Figura 3 – Transformador simples de dois enrolamentos.



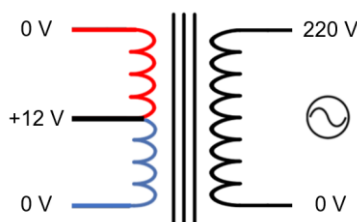
Fonte: Adaptado de UMANS, S. D. Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley. 7. ed., Porto Alegre: AMGH, 2014.

O funcionamento de um transformador de dois enrolamentos, um primário e outro secundário, com número de espiras distintos, envolve o princípio da indução eletromagnética, em que uma fonte de tensão alternada V_1 é aplicada no primeiro enrolamento com número de espiras N_1 , estabelecendo uma corrente elétrica I_1 . A corrente, por sua vez, cria um fluxo magnético variável ϕ de mesma frequência da fonte. O fluxo magnético ϕ induz uma tensão e_1 neste enrolamento contrária à tensão da fonte V_1 , fazendo com que o circuito atinja o equilí-

brio. Do mesmo modo, o fluxo magnético induz uma tensão e_2 no outro enrolamento proporcional ao número de espiras N_2 , em que, no caso de conexão de uma determinada carga, faz-se circular uma corrente de carga (ou de saída) I_s (AGUIAR, 2007).

Visando a presente aplicação, foi utilizado um transformador com três derivações no primário, incluindo o *tap* central, na configuração 0 V + 12 V + 0 V, e duas derivações no secundário, na configuração 220 V + 0 V, e corrente de 2 A. A Figura 4 mostra o esquema geral do transformador utilizado.

Figura 4 – Representação do transformador utilizado.



Fonte: Autores (2025).

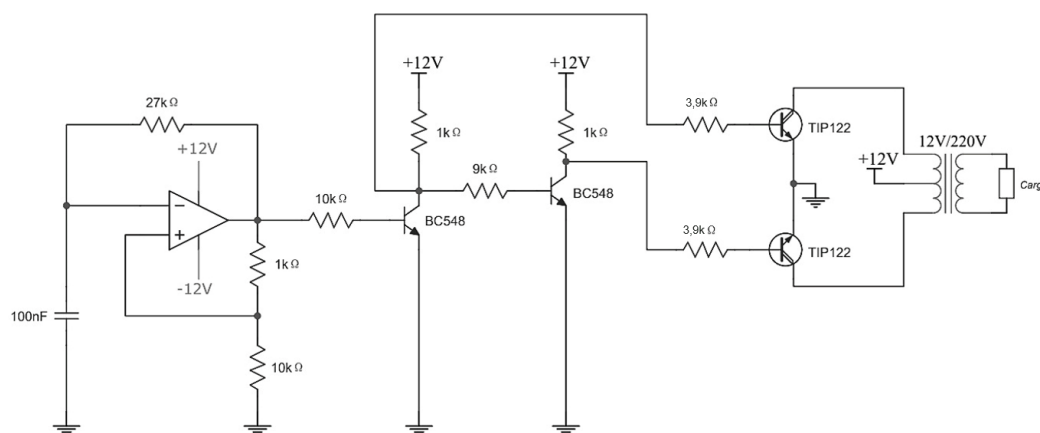
3 MATERIAIS E MÉTODOS

O protótipo foi pensado pelos estudantes do curso de bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – Campus João Pessoa com apoio do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba (PETEE-IFPB), em conjunto e supervisão dos professores das disciplinas relacionadas, com o objetivo de promover a construção de um inversor funcional de topologia simples e de fácil compreensão e acesso.

Com base nisso, pretende-se destinar a utilização do protótipo pelos alunos das disciplinas de Eletrônica de Potência, Circuitos Elétricos e Eletrônica Analógica, sendo possível de ser implementado em experimentações iniciais através de laboratórios didáticos, tanto no ensino técnico quanto no ensino superior.

O esquemático completo do circuito inversor de tensão CC-CA desenvolvido é mostrado conforme a Figura 5.

Figura 5 – Esquema do circuito inversor CC-CA desenvolvido com base na topologia *push-pull* simplificada.



Fonte: Autores (2025).

Essa topologia permite gerar um sinal quadrado, simétrico, com amplitude aproximada de -12 V e +12 V e frequência de 60 Hz, por meio de um amplificador operacional, modelo LM741, configurando-o como circuito oscilador astável com realimentação positiva através do resistor de 27 kΩ. O sinal de saída do oscilador é aplicado a um estágio de adequação de

nível composto por dois transistores *npn* do tipo BC548, convertendo-o para um nível compatível com os transistores de potência (0 V a +12 V) e garantindo que os TIP122 recebam sinais adequados de base. A configuração dos BC548 forma um par de inversores, de modo que os sinais nas saídas (tensão sobre os coletores) desses transistores estejam defasados em 180°, ou seja, quando um está em nível alto, o outro está em nível baixo. Devido à defasagem dos sinais, é possível o acionamento não simultâneo dos transistores de potência, garantindo a integridade do circuito e a geração de uma corrente de característica alternada. Assim, quando em funcionamento, os transistores TIP122 conseguem fornecer a corrente necessária para que seja possível o acionamento da carga conectada no lado secundário do transformador.

A frequência de oscilação do sinal de saída do amplificador operacional varia de acordo com o valor dos componentes utilizados nessa parte do circuito, podendo ser calculada com base na Equação (1) (SEDRA, 2014).

$$f = \frac{1}{2 \cdot R_x \cdot C \cdot \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right)} \quad (1)$$

em que R_x é a resistência de realimentação positiva do circuito, definida em 27 kΩ, C é o capacitor de carga e descarga para garantir o limiar de alternância entre os semiciclos do sinal, definido em 100 nF, e R_1 e R_2 formam um divisor resistivo que define a tensão da entrada inversora do amplificador operacional, determinados por, respectivamente, 1 kΩ e 10 kΩ.

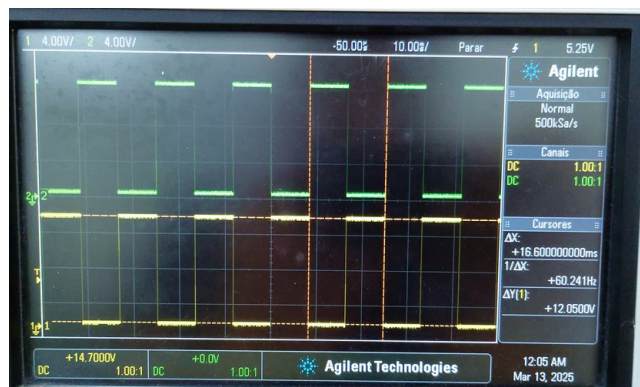
A partir dos valores definidos, é possível determinar o valor da frequência do sinal de saída do amplificador operacional, em que se procura uma aproximação à frequência industrial (60 Hz), assim como mostra a Equação (2).

$$f = \frac{1}{2 \cdot R_x \cdot C \cdot \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = \frac{1}{2 \cdot 27 \text{ k} \cdot 100 \text{ n} \cdot \ln \left(1 + \frac{2 \cdot 10 \text{ k}}{1 \text{ k}} \right)} \Rightarrow f \approx 60,83 \text{ Hz} \quad (2)$$

Os sinais de controle para chaveamento dos transistores de potência TIP122 saem de cada coletor dos transistores BC548, defasados em 180° e amplitudes semelhantes. A Figura 6 mostra a medição desses sinais no domínio do tempo, realizada através de um osciloscópio modelo DSO-X 2012A da Agilent Technologies®, em que se observa a defasagem dos sinais.

Figura 6 – Sinais do coletor de cada transistor BC548 para controle de chaveamento da etapa de potência.

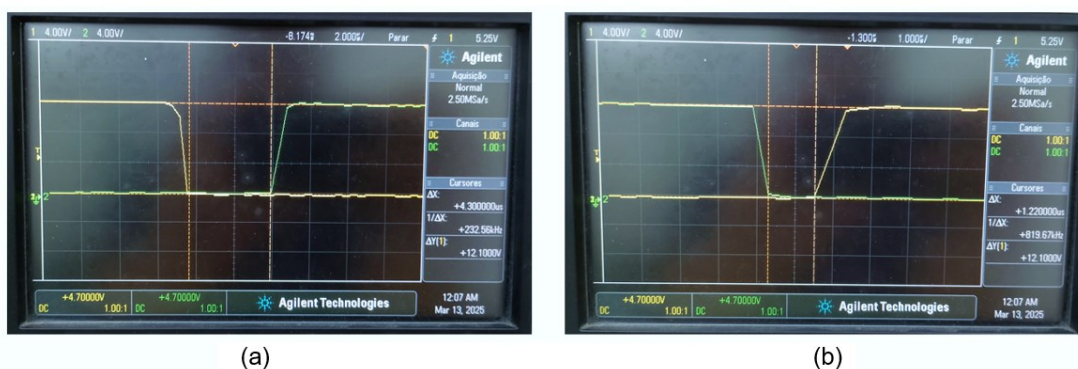


Fonte: Autores (2025).

Na prática, a condução simultânea dos transistores de potência deve ser evitada, pois pode provocar correntes elevadas no circuito primário, ocasionando desde mau funcionamento do circuito até sobrecarga dos componentes (OLIVEIRA, 2024). Para contornar esse problema, foi adotada a técnica do *dead-time* – “tempo-morto”, em tradução livre –, que consiste em um pequeno intervalo durante o qual ambos os transistores permanecem desligados, impedindo a condução ao mesmo tempo. No caso do uso de transistores Darlington TIP122, cuja tensão mínima de ativação de base é da ordem de 2,5 V (STMICROELECTRONICS, 2000), a própria característica de comutação contribui para a formação natural desse tempo-morto, já que a variação da tensão de base não ocorre de forma instantânea, mas sim gradual, em forma de rampa tanto na subida quanto na descida do sinal.

A Figura 7(a) e 7(b) ilustram o comportamento do tempo-morto no circuito para dois instantes de chaveamento dos transistores de potência.

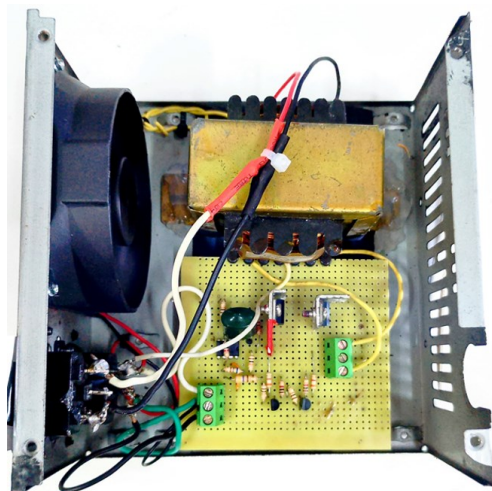
Figura 7 – (a) Tempo-morto visualizado para o instante de tempo em que um TIP122 começa a conduzir. (b) Tempo-morto visualizado em outro instante de tempo, quando o outro TIP122 começa a conduzir.



Fonte: Autores (2025).

A montagem do inversor foi feita utilizando a estrutura de uma fonte ATX reciclada, um *cooler* Fan de 12 V, para promover o resfriamento interno (retirada de calor) do circuito de potência e, sobre os transistores de potência, dissipadores de calor, também reciclados. Para a fixação e conexão entre os componentes do circuito eletrônico, foi utilizada uma placa perfurada de fenolite. A Figura 8 mostra a alocação do circuito inversor na estrutura utilizada.

Figura 8 – Circuito inversor CC-CA montado.



Fonte: Autores (2025).

A partir de dois cabos de força tripolares reciclados, foi confeccionado um cabo de três pontas, destinado à conexão do inversor CC-CA a uma fonte de tensão contínua e simétrica de bancada, e outro de duas pontas, destinado à conexão do secundário do transformador à carga. Além disso, o protótipo acompanha uma carga de prova, para fins de teste, sendo uma lâmpada comum de LED de potência 9 W, além de um *plafon* de suporte para a lâmpada.

As Figura 9(a) e 9(b) mostram, respectivamente, o projeto completo em vista superior e o detalhe para a alimentação de entrada e a saída do módulo inversor.

Figura 9 – (a) Projeto completo em vista superior. (b) Detalhe para alimentação de entrada e saída do módulo.



Fonte: Autores (2025).

A Tabela 1 relaciona cada material utilizado para o desenvolvimento do protótipo com o seu respectivo valor.

Tabela 1 – Relação de custo dos materiais utilizados para a construção do protótipo.

Descrição	Quantidade	Custo (R\$)
Amplificador operacional LM741	1	1,70
Cabo de força tripolar	2	Reciclado
Caixa de fonte ATX	1	Reciclado
Capacitor de poliéster 100 nF 100 V	1	0,42
Conector KRE 3 pinos	2	3,40
Cooler Fan 12 V	1	Reciclado
Dissipador de calor	2	Reciclado
Lâmpada LED 9 W	1	3,99
Placa perfurada de fenolite	1	13,90
Plafon de teto com soquete	1	7,90
Resistor cerâmico 470 Ω 1/4 W	1	0,13
Resistor cerâmico 1 k Ω 1/4 W	3	0,45
Resistor cerâmico 3,9 k Ω 1/4 W	2	0,30
Resistor cerâmico 6,8 k Ω 1/4 W	1	0,15
Resistor cerâmico 10 k Ω 1/4 W	5	1,00
Transformador 220/12+12 V 2 A	1	49,90
Transistor bipolar <i>npn</i> BC548	2	2,00
Transistor bipolar <i>npn</i> TIP122	2	12,00
Total		97,24

Fonte: Autores (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foi considerada a medição de tensão de saída em vazio, sem que haja conexão de uma carga, que deve ser próxima à tensão nominal da rede elétrica residencial, definida, para o projeto, em 220 V. A medição foi feita através de um multímetro digital modelo HM-1100 da HIKARI®, em que se obteve um valor de tensão de saída muito próximo ao especificado. A Figura 11 mostra o resultado da medição realizada.

Figura 11 – Medição da tensão de saída do inversor.



Fonte: Autores (2025).

Além disso, considerou-se a determinação da potência de trabalho máxima do circuito desenvolvido, que deve ser limitada à potência do transformador, de modo a minimizar as perdas elétricas naturalmente ocasionadas pelo material de fabricação (enrolamentos e núcleo). A potência de saída do circuito inversor foi determinada com base na potência de entrada no lado primário do transformador, conforme expressa a Equação (3) (PEREIRA, 2022).

$$P_{ent} = V_{ent} \cdot I_{ent} \quad (3)$$

em que V_{ent} é a tensão de referência na entrada e I_{ent} é a corrente na entrada.

Assim, a potência do circuito (potência de trabalho máxima) foi determinada com base nos valores nominais do transformador, conforme segue a Equação (4).

$$P_{ent} = V_{ent} \cdot I_{ent} \Rightarrow P_{ent} = 12 \cdot 2 \Rightarrow P_{ent} = 24 \text{ W} \quad (4)$$

Respeitando o valor-limite encontrado de potência do circuito, foi possível simular dois cenários, considerando, primeiro, a conexão de uma lâmpada LED 9 W e, em seguida, de duas lâmpadas LED 9 W, ligadas em paralelo, o que totalizou 18 W de demanda. Nos dois casos, a potência demandada permaneceu dentro da faixa nominal estabelecida no projeto, permitindo que o protótipo mantivesse o fornecimento de energia adequado às cargas. As Figuras 10(a) e 10(b) mostram os resultados práticos obtidos em bancada dessa etapa.

No âmbito educacional, é possível associar a dinâmica do desenvolvimento do projeto com o estudo de De Oliveira e Pinto (2006), que fundamentam a importância em abordar as disciplinas dos cursos de engenharia de modo prático visando a correção dos índices de retenção e evasão, visto que foi constatada a perfeita usabilidade dos conceitos presentes em disciplinas como a eletrônica e circuitos elétricos, possibilitando aos estudantes o estímulo e dedicação ao curso, dada a necessidade de resolução da problemática proposta.

Outrossim, o circuito simplificado permitiu aos estudantes a passagem por cada bloco funcional de um inversor: geração de sinal pelo oscilador, acionamento alternado dos transistores de potência, e elevação de tensão alternada reproduzida através da topologia *push-pull* pelo transformador. Além disso, em um cenário de impossibilidade de uma montagem física,

o protótipo também pode ser facilmente explorado a partir de *softwares* de simulação de circuitos elétricos, tais como o MATLAB®, PSpice®, Simulink®, Proteus® etc., permitindo ao aluno experimentar diferentes configurações e visualização dos principais parâmetros de interesse (resistores, capacitores, tempos de *dead-time* e outros) e observar os seus efeitos sobre a forma de onda na saída do circuito, consolidando o entendimento teórico.

Figura 10 – (a) Teste prático do circuito considerando a inserção de uma lâmpada LED 9 W. (b) Teste prático do circuito considerando a inserção de duas lâmpadas LED 9 W ligadas em paralelo.



Fonte: Autores (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostra o desenvolvimento de um projeto de um inversor CC-CA baseado em topologia *push-pull* acessível de modo prático e eficiente ao propósito. A construção do protótipo se deu a partir dos conhecimentos em circuitos elétricos e em eletrônica geral, tendo em vista a necessidade da utilização de conceitos teóricos sobre tensão, corrente e potência elétrica no seu dimensionamento, além do uso de componentes e dispositivos apresentados nesse conjunto de disciplinas, como os amplificadores, transistores, resistores, capacitores e transformadores, utilizados na montagem do circuito eletrônico.

Com isso, enfatiza-se a função didática ao reduzir a complexidade do sistema de conversão de energia proposto. Ao focar apenas nos elementos essenciais, o protótipo atinge seu objetivo de servir como recurso educacional introdutório, o que veio a proporcionar aos discentes, durante o seu desenvolvimento, uma clara compreensão dos princípios de operação de inversores de tensão.

Propõe-se que a adoção do procedimento de simplificação de circuitos mais complexos possa validá-lo como uma estratégia pedagógica eficaz e estimulante, preservando o desenvolvimento do raciocínio lógico dos discentes. De modo a tornar o protótipo mais dinâmico em sala, várias abordagens podem ser exploradas, tais como a aplicação de testes conceituais antes e depois da exposição do circuito a turmas de Eletrônica de Potência e outras, discussão entre professores e alunos sobre a topologia pensada e seus desdobramentos, além da oportunidade de verificação das diferentes configurações dos parâmetros gerais visando a demonstração dos seus efeitos sob a forma de onda de saída. A integração com *softwares* de simulação interativa e sistemas de aquisição de sinais é um recurso válido, possibilitando comparativos diretos entre modelos teóricos e resultados práticos, enriquecendo a experiência de aprendizagem e tornando mais concreta a relação entre teoria e prática.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus João Pessoa, e ao Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba (PETEE-IFPB), pelo apoio técnico e financeiro.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, E. R. **Análise de Resposta em Frequência Aplicada em Transformadores de Potência**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, março de 2007. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8CBFAB/1/ezequiel_rabelo_de_aguiar.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

BARBI, I. **Inversores Monofásicos**. 1. ed., Florianópolis: Edição do Autor, 2022.

BRAGA, N. C. **Darlingtons de Potência**. Disponível em: <https://www.newton-cbraga.com.br/projetos/13678-darlingtons-de-potencia-art1598.html>. Acesso em: 10 abr. 2025.

CANESIN, C. A. **Conversores CC-CA: Teoria Básica de Inversores**. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lepnovo/materialdosalunos/inversores_sqw_e_pwm.pdf. Acesso em: 07 abr. 2025.

COSTA, B., B., da C. A qualidade da educação em engenharia e seus impactos no desenvolvimento econômico Brasileiro. **R. Tecnol. Soc.**, Curitiba, v. 13, n. 28, p. 18-36, 2017.

D'ANDREA, A. F; JÚNIOR, A. G. DA COSTA. **Proposta metodológica para aprendizagem baseada em problemas na área ambiental para o curso de Engenharia Elétrica**. In: Educação em Engenharia: Aplicações no Ensino em Engenharia. Editora IFPB, 2021. p. 31-67.

DELGADO, C. D. U.; TREJO, E. D. R. **Educational Experiments in Power Electronics and Control Theory: DC Switched Power Supplies**. International Journal of Electrical Engineering Education, v. 47, n. 4, p. 430-447, 2010.

DE OLIVEIRA, V. F; PINTO, D. P. Educação em engenharia como área do conhecimento. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2006, Passo Fundo. **Anais**. Passo Fundo. Disponível em: https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/13/artigos/12_85_357.pdf. Acesso em 06 abr. 2025.

HELERBROCK, R. **Transistor**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/transistor.htm>. Acesso em: 08 abr. 2025.

MOHAN, N.; UNDELAND, T. M.; ROBBINS, W. P. **Power Eletronics: Converters, Applications, and Design**. 2. ed., Wiley, 1995.

OLIVEIRA, T. **Tempo Morto no Acionamento de Conversores de Potência**. Disponível em: <https://eltgeral.com.br/tempo-morto-acionamento-potencia/>. Acesso em: 11 abr. 2025.

PEREIRA, H. A. **Princípio de operação e tipos de conversores**. Disponível em: https://gesep.ufv.br/wp-content/uploads/2022/07/Aula_08-Conversores-CC_CA.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

PETRY, C. A. **Conversores CC-CA: Inversores**. Disponível em: https://professorpetry.com.br/Ensino/Eletronica_Potencia/Apresentacao_Aula_21.pdf. Acesso em: 07 abr. 2025.

QUINTINO, L. F. *et al.* Kit didático de baixo custo para práticas interdisciplinares em cursos de Engenharia Eletrônica. **Revista Principia**, João Pessoa, n. 34, p. 124-131, 2017.

SAUSEN, E. M. **Projeto de um inversor de tensão meia-ponte como kit didático para o ensino de eletrônica de potência**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/31098>. Acesso em: 06 abr. 2025.

SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. **Microeletronic Circuits**. 7. ed. Oxford University Press, 2014.

SILVA, C. M. **Análise da efetividade da Aprendizagem Baseada em Projetos no desenvolvimento de competências, habilidades e atitudes no ensino superior de Contabilidade**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) – Centro de Ciências Sociais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/25718>. Acesso em: 06 abr. 2025.

STMICROELECTRONICS. **TIP122**. Datasheet. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25368/STMICROELECTRONICS/TIP122.html>. Acesso em: 11 abr. 2025.

TIBA, L. G. **Projeto de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaico para Aplicação em Residência**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Controle e Automação. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, 2013. Disponível em: <https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariadeControleAutomacao/galdenoro1906/galdenoro-tcc-luiz-gustavo-tiba-tguniversidade-estadual-paulista-julio-de.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2025.

UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. 7. ed., Porto Alegre: AMGH, 2014.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2 ed. São Paulo: Editora Érica, 2015.

ACCESSIBLE PUSH-PULL TOPOLOGY DC-AC INVERTER PROTOTYPE AS A DIDATIC TOOL IN POWER ELECTRONICS

Abstract: *The increasing deployment of alternative energy sources in Brazil underscores the need for didactic tools to support power-electronics education. In this context, an accessible push-pull DC–AC inverter prototype capable of converting 12 V DC to 220 V AC was developed. The unit was assembled with readily available components—an amplifier, transistors, resistors, capacitors and a transformer—on a phenolic perfboard housed within a repurposed ATX power-supply chassis. During experimental characterization, an output voltage of 222 V and output power of 24 W were achieved, validating the inverter’s operating principle under two 9 W LED-lamp load scenarios. By concentrating on core components, the design reduces overall system complexity, thereby facilitating students’ grasp of inverter operation, stimulating logical reasoning and reinforcing theoretical concepts of voltage, current and electrical power.*

Keywords: *Teching and learning; Voltage inverter; Educational prototype.*

