



Guia Prático para Iniciantes no Projeto de Placas de Circuito Impresso Dupla Face: Aplicação em Robôs Seguidores de Linha

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6386

Autores: ERIC DE OLIVEIRA CORREIA LIMA, JOCEAN LUCAS DE LUCENA FILHO, AIRAM ELIEL DE ARAÚJO SILVA, BELCHIOR DIAS CRUZ, ERIK FARIAS DA SILVA, THIAGO DE CARVALHO BATISTA

Resumo: Atualmente, o estudo da robótica educacional aberta tornou-se essencial para o desenvolvimento de alunos em escolas públicas. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo elaborar um guia prático para iniciantes na fabricação de placas de circuito impresso dupla face, utilizando materiais necessários à criação de projetos robóticos com eletrônica integrada por métodos simples e acessíveis. Com base nisso, foi desenvolvido um sistema de hardware embarcado para robôs seguidores de linha, visando alto desempenho em competições de olimpíadas de robótica — que estimulam o investimento e a expansão dessa disciplina na educação, como a Olimpíada Brasileira de Robótica (OBR).

Palavras-chave: Robótica Educacional, Eletrônica, Fabricação de PCI, Projeto de PCI Dupla Face, Robô Seguidor de Linha.

GUIA PRÁTICO PARA INICIANTES NO PROJETO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO DUPLA FACE: APLICAÇÃO EM ROBÔS SEGUIDORES DE LINHA

1. INTRODUÇÃO

A confecção e concepção de placas de circuito impresso (PCI's) estão presentes no cotidiano do projetista de soluções na área de eletrônica, sendo parte essencial para o desenvolvimento de equipamentos e tecnologias (CHAVES, 2023). O domínio básico dos conceitos relacionados ao projeto e prototipagem de circuitos simples, deveria estender-se para além dos ambientes de cursos técnicos da área tecnológica, sendo elemento interdisciplinar importante para criar nos estudantes a cultura do “faça você mesmo”.

No entanto, apesar de sua importância, ainda há uma significativa carência de estrutura e investimento no ambiente escolar voltado ao estudo e ao aprimoramento das técnicas de fabricação dessas placas. Essa deficiência está diretamente ligada à ausência de políticas internas efetivas que incentivem a criação de ambientes *maker* — espaços fundamentais para experimentação, inovação e desenvolvimento de competências tecnológicas por parte dos estudantes.

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo descrever o desenvolvimento de um guia prático para a confecção de placas de circuito impresso, com a finalidade de fortalecer o ensino prático de eletrônica embarcada e fomentar o desenvolvimento de competências em projetos da cultura *maker*. A partir do guia, optou-se por produzir uma placa destinada a robôs segue-faixa utilizados em competições olímpicas. A escolha se deve à importância que tais competições desempenham um papel essencial na formação acadêmica e profissional dos estudantes, aplicando suas habilidades de programação de microcontroladores e soluções de problemas de hardware, o que é fundamental para torneios de robótica. Esse método aumenta a motivação dos alunos, proporcionando uma aplicação prática dos conceitos teóricos (LEE, 2010). No Brasil e no mundo, eventos como a Olimpíada Brasileira de Robótica e a RoboCup estimulam o interesse pela ciência e tecnologia, promovendo inovação e intercâmbio de conhecimento (CHATZIS, 2022).

A participação em competições de robótica tem se mostrado uma estratégia eficaz para aumentar a motivação e o desempenho acadêmico dos estudantes, ao proporcionar a aplicação prática de conhecimentos teóricos. Nesse cenário, o desenvolvimento de hardware embarcado para robôs segue-faixa representa um avanço importante, ao permitir maior precisão na detecção de trajetórias. A criação de plataformas robóticas embarcadas tem se consolidado como uma ferramenta valiosa no ensino de sistemas embarcados e mecatrônica, promovendo uma compreensão mais aprofundada da integração entre componentes eletrônicos e lógica de controle. Por meio do uso de sensores de navegação, como os infravermelhos do modelo TCRT5000, os estudantes conseguem aplicar conceitos de programação e eletrônica de forma prática, o que fortalece suas habilidades técnicas e prepara-os melhor para desafios em competições, especialmente nas provas de resgate (LEE, 2021; MAHONEY, 1997).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Placa de circuito impresso

Placas de Circuito Impresso (PCI's) são estruturas utilizadas para a montagem de circuitos eletrônicos, compostas por trilhas condutoras, geralmente de cobre, depositadas

sobre um substrato isolante, e que servem como base para a interligação de diversos componentes eletrônicos. Estas trilhas podem estar presentes em apenas um lado da placa — caracterizando as chamadas placas de face simples — ou em ambos os lados, como nas placas dupla face, que permitem circuitos mais complexos e compactos. Essas placas são previamente arquitetadas por meio de *softwares* especializados, nos quais o design segue critérios específicos para atender às finalidades funcionais e técnicas do circuito a ser implementado (CHAVES, 2023). A Figura 1 representa um exemplo de placa de circuito impresso.

Figura 1 - Placa de circuito impresso



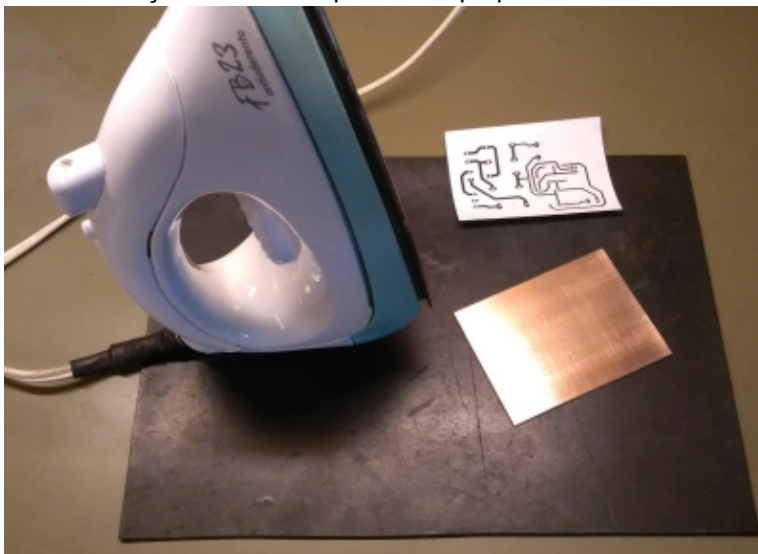
Fonte: GUSE, 2020.

2.2 Transferência térmica para PCI

No projeto da placa de circuito impresso é desenvolvido um *layout* que estabelece como cada trilha deve conectar os diversos componentes da placa. Esse projeto é em geral realizado em algum *software* específico de CAD (e.g. EasyEDA, KiCAD, Fritzing, etc). Faz-se necessário, entretanto trazer essa placa do mundo virtual para o mundo real. Uma das técnicas utilizadas para isso é a transferência térmica.

O *layout* das trilhas é impresso em uma folha de papel *glossy*, um papel liso, em que o toner da impressora laser não tenha boa aderência. Para esse processo é necessário que a impressão seja feita em uma impressora laser, nele é realizada uma “inversão” do processo de impressão, onde o toner da impressão é transferido por aquecimento da folha para a face de cobre da PCI. O processo é conduzido com controle de temperatura, utilizando-se, preferencialmente, uma prensa térmica — ou, em métodos mais acessíveis, um ferro de passar — para aplicar calor e pressão, promovendo a adesão do material impresso ao cobre (BITENCOURT, 2017).

Figura 2 - Utilização de ferro de passar roupa para transferência de calor.

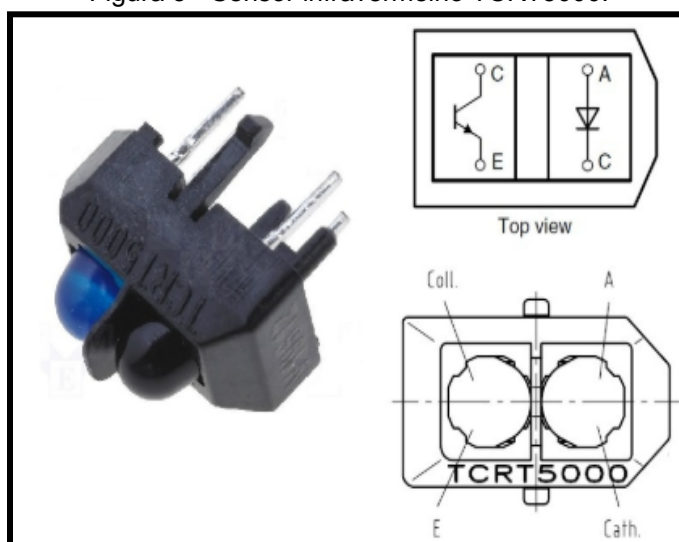


Fonte: BITENCOURT, 2017.

2.3 Sensor infravermelho TCRT5000

No exemplo prático descrito será utilizado o sensor TCRT 5000, amplamente utilizado para aplicações de segue-faixa, em que o robô deve ser capaz de distinguir entre o chão e uma faixa (usualmente preta) que delimita a rota a ser seguida. Esse dispositivo é composto por dois componentes que atuam juntos para medir o nível de reflexão do infravermelho, sendo um LED emissor (LED *IR*) e um fototransistor (Receptor *IR*) como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Sensor infravermelho TCRT5000.



Fonte: ELETROARDUINO, 2025.

O sensor possui duas vias para o receptor (coletor e emissor) e duas vias para o emissor (catodo e anodo). O LED *IR*, assim como a maioria dos LEDs, são alimentados com uma tensão de 1,2 V até 1,5 V, suportando uma corrente de até 60 mA. Quanto maior for a corrente, maior será o brilho propagado. Adicionalmente, o fototransistor (Receptor *IR*) capta

a luz infravermelha ambiente ou irradiada pela fonte infravermelha convertendo o sinal em tensão, ou seja, a medida que aumenta a reflexão sobre ele, mais elevado será o nível de tensão e corrente gerada, que suporta até 5V no sentido coletor-emissor.

3. DESENVOLVIMENTO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO DUPLA FACE

Conforme mencionado, uma PCI possui uma camada de material dielétrico coberta por cobre em uma ou duas de suas faces, quando a placa é coberta em uma única face é chamada de face simples, já quando há cobertura nas duas faces é chamada de dupla face.

No entanto, observou-se durante o desenvolvimento deste trabalho uma limitação recorrente em ambientes educacionais e *makers*: a escassez de equipamentos e insumos acessíveis para a fabricação de PCIs dupla face com boa precisão. Apesar dessa dificuldade, optou-se por utilizar um exemplo de placa dupla face, com o objetivo de apresentar soluções viáveis mesmo com recursos limitados, valorizando a criatividade, a adaptação e a aplicabilidade prática em ambientes escolares. A técnica escolhida para a confecção da placa foi o método da transferência térmica, devido ao seu baixo custo e à facilidade de aplicação com equipamentos simples, como ferro de passar ou laminadora térmica. Essa abordagem se mostrou mais adequada do que métodos como serigrafia ou fotolitografia, que exigem maior investimento em materiais, equipamentos especializados e operadores treinados.

O processo completo de fabricação da PCI foi dividido em etapas padronizadas que incluem a higienização da placa de fenolite cobreada, o alinhamento preciso do leiaute, a realização da transferência térmica e a corrosão química do cobre excedente com solução de percloroeto de ferro.

3.1 Higienização da placa de cobre

A etapa de limpeza da placa é essencial para a boa aderência do toner na placa, para realizar a limpeza da placa, inicialmente utiliza-se uma palha de aço para realizar o polimento da superfície de cobre. Essa ação tem como principal objetivo a remoção de impurezas, como manchas de oxidação, resíduos de manuseio, óleos e gorduras acumuladas ao longo do tempo. A presença desses contaminantes pode comprometer significativamente a aderência do *layout* durante a etapa de transferência térmica, resultando em falhas na definição das trilhas condutoras. A finalização da limpeza se dá pelo uso de álcool isopropílico, amplamente utilizado para a limpeza de placas, sendo assim material de fácil acesso, borrifa-se o álcool na superfície da placa fazendo sua remoção com o auxílio de um papel ou pano que não solte fibras. A Figura 4 retrata o antes e depois da limpeza do revestimento condutivo.

Figura 4 - a) Placa FR4 pré-higienização; b) Placa FR4 após higienização.



a)

b)

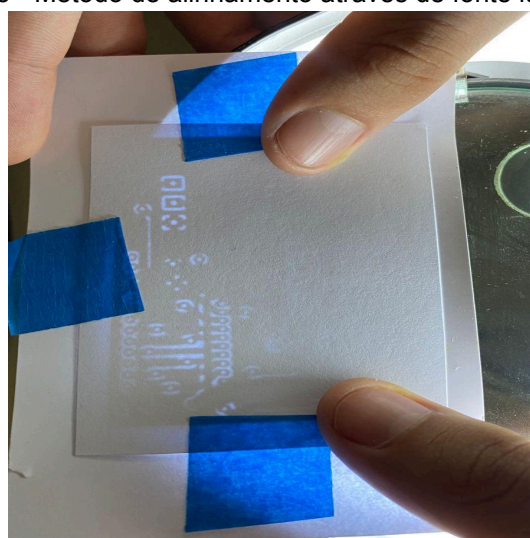
Fonte: Autoria própria, 2025.

3.2 Alinhamento de placas de circuito impresso

O estágio de alinhamento de placa consiste no posicionamento preciso do *layout* das duas faces sobre o cobre, garantindo que as trilhas condutoras e os furos fiquem corretamente localizados em relação aos elementos físicos da placa, como *pads* e vias. Essa etapa é essencial, principalmente quando se considera projetos de PCI dupla face. Na técnica utilizada, as folhas em que estão impressos os leiautes das duas faces são sobrepostas, com as laudas da impressão voltadas para dentro. Convém destacar que o projetista deve atentar para o correto espelhamento do leiaute no momento da impressão.

Com o auxílio de uma luminária ou fonte de luz forte o suficiente para atravessar as duas folhas sobrepostas, faz-se o alinhamento das duas folhas, tomando com base as vias de furação que devem se sobrepor permitindo a passagem da luz, tal qual ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Método de alinhamento através de fonte luminosa.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Após a centralização cuidadosa dos leiautes, evitando problemas de desalinhamento de vias, as folhas são presas com fita crepe, de forma a garantir um espaço para a inserção da PCI entre elas, conforme ilustrado na Figura 6. O papel é fixado em contato direto com a superfície de cobre, utilizando fitas que asseguram o alinhamento correto e evitam deslocamentos durante a aplicação de calor e pressão.

Figura 6 - Compartimento para inserção do substrato.

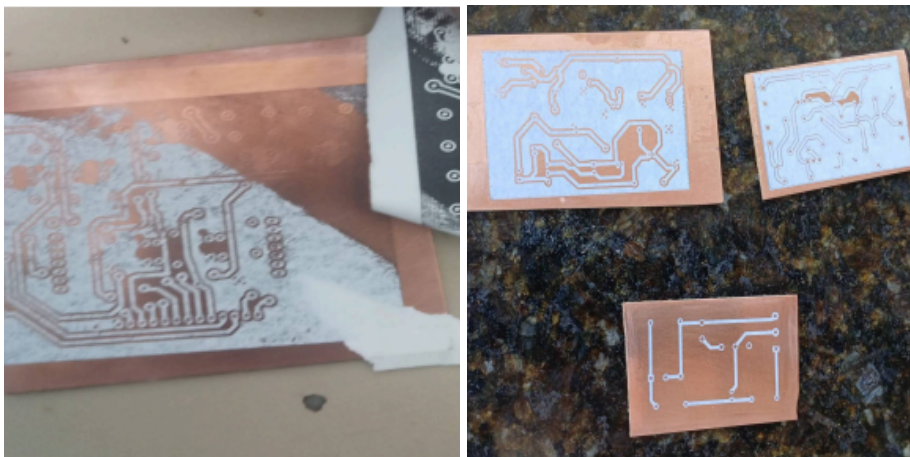


Fonte: Autoria própria, 2025.

3.3 Transferência térmica

O procedimento de transferência consiste na aplicação controlada de calor e pressão sobre o material impresso, a fim de fixar permanentemente a imagem ou máscara na superfície da placa de circuito impresso. A escolha do papel é um fator crítico: papéis com porosidade excessiva retêm o toner, impedindo sua transferência. Foram realizados testes comparativos com papel fotográfico brilhante (glossy) e papel sublimático fosco, ambos com capacidade de transferir imagens sob alta temperatura. Os resultados desses experimentos são apresentados na Figura 7.

Figura 7 - a) Teste realizado com papel fosco; b) Experimentos utilizando papel brilhante.



a)

b)

Fonte: Autoria própria, 2025.

Após análise das duas amostras, é possível perceber que o papel fotográfico *glossy* no quesito de passagem completa da tinta da folha para o cobre.

Além disso, observou-se, por meio de testes práticos, que a eficiência do processo de transferência térmica é maximizada quando a placa permanece exposta a uma temperatura de aproximadamente 250 °C por um tempo médio de 6 minutos. No caso de placas de dupla face, recomenda-se realizar o processo em duas etapas: inicialmente, uma das faces deve ser exposta à temperatura indicada por cerca de 6 minutos. Em seguida, a outra face deve ser aquecida por um período reduzido, de aproximadamente 2 minutos, garantindo a aderência do *layout* em ambas as superfícies sem ocorrer a queima do papel fotográfico.

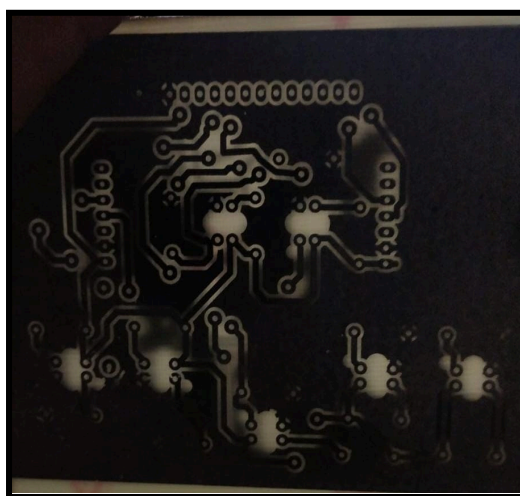
3.4 Corrosão do cobre

Após a transferência completa, o próximo passo é utilizar o percloroeto férrico para extrair o cobre excedente da placa e restar apenas as trilhas do circuito projetado. O processo baseia-se em mergulhar a placa no sal corrosivo por um determinado período, até que a reação química corra completamente o cobre restante. O tempo necessário para essa corrosão é bastante empírico, variando conforme a temperatura, a concentração da mistura e o grau de saturação da solução (já utilizada ou não anteriormente).

Em um ambiente tão diverso, a observação e a experimentação são essenciais. Recomenda-se deixar um furo na placa para inserir um barbante, permitindo sua movimentação e o acompanhamento do grau de corrosão do cobre. Inicialmente, o cobre exposto muda da tonalidade original para um tom rosado, e à medida que o processo avança, a coloração do substrato dielétrico se torna cada vez mais evidente. Os substratos mais comuns são o fenolite (marrom) e a fibra de vidro (transparente esverdeado).

Exceder o tempo ideal de remoção pode causar a corrosão total do cobre, inclusive das trilhas protegidas pelo toner. Isso ocorre porque, após a corrosão da área exposta, o solvente começa a infiltrar-se sob o toner, corroendo a trilha pelas laterais. Os testes foram realizados com percloroeto reutilizado, cuja capacidade de corrosão estava reduzida pela saturação de cobre. Nesse cenário, o tempo necessário para a corrosão foi de aproximadamente 30 minutos. A Figura 8 apresenta uma placa de circuito impresso após esse processo.

Figura 8 - Placa de cobre corroída.

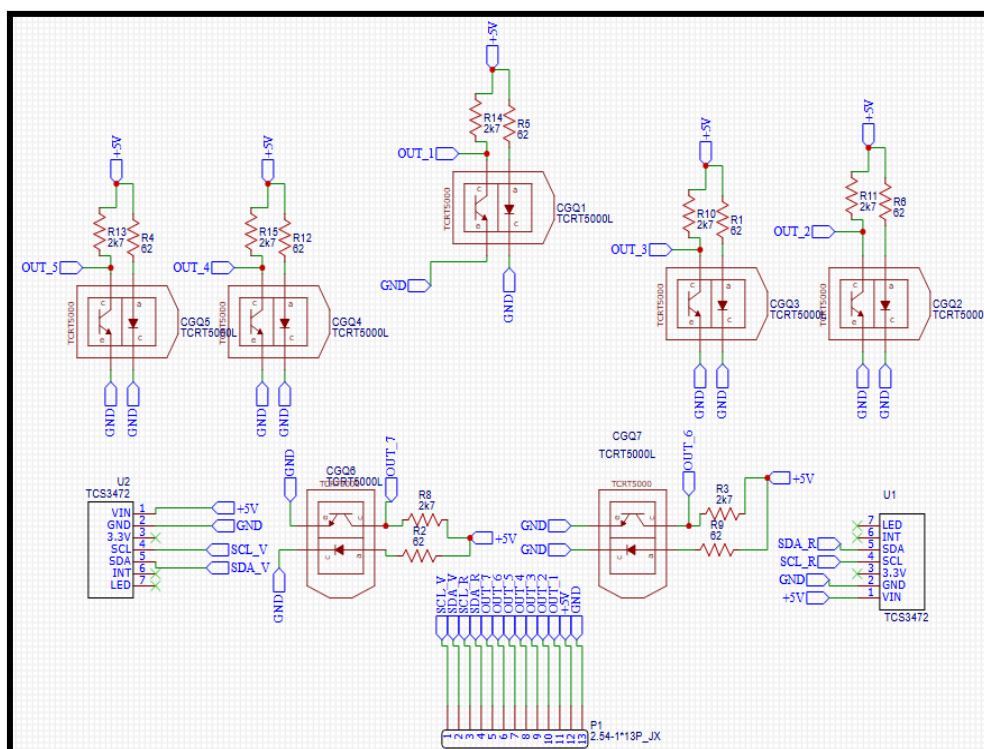


Fonte: Autoria própria, 2025.

4. EXEMPLO PRÁTICO DE PROJETO

Com base no estudo realizado acerca das técnicas de confecção de PCI's e o uso adequado do sensor TCRT5000 para robôs segue faixa, foi dado início a arquitetura da placa de sensores infravermelhos. Utilizando o *EasyEDA*, foi desenvolvido o esquemático do funcionamento do circuito da placa de sensores como ilustrado na Figura 9, utilizando o TCRT5000 para a identificação da linha e o componente TCS3472 para detecção das cores presentes em trajetos de competições de robô segue-faixa, além dos resistores necessários para o emissor e receptor IR do sensor óptico reflexivo.

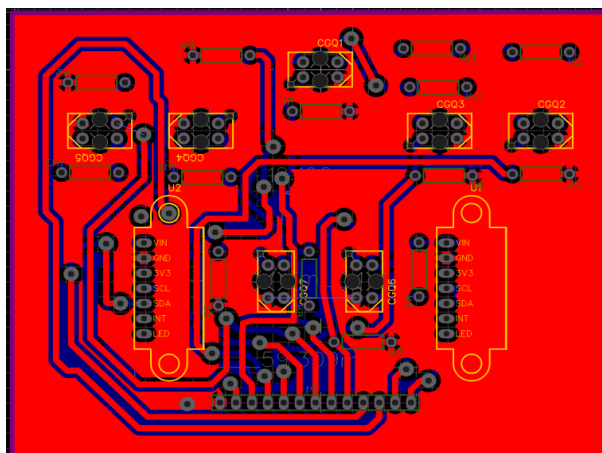
Figura 9 - Esquemático do circuito da placa de sensores.



Fonte: Autoria própria desenvolvido no *EasyEDA*, 2025.

Concluído o esquemático do circuito, iniciou-se a etapa de organização dos componentes na placa, considerando as dimensões e características da faixa do percurso utilizada nas competições. A disposição dos elementos foi cuidadosamente planejada para garantir uma leitura eficiente dos sensores e facilitar o roteamento das trilhas, otimizando o desempenho do robô durante a navegação. Em seguida, o projeto foi convertido em um layout de PCI (Placa de Circuito Impresso), com todas as conexões elétricas definidas e posicionadas de acordo com os requisitos funcionais e físicos do sistema. O resultado dessa etapa pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 - *Design* da PCI dos sensores.

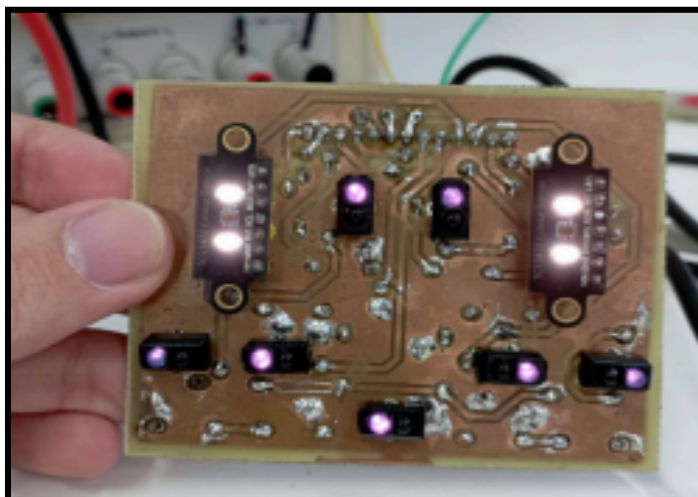


Fonte: Autoria própria desenvolvido no *EasyEDA*, 2025.

Tendo em vista o conhecimento das técnicas de confecção de PCI apresentado na Seção 3, foi utilizado o processo de transferência térmica para a fabricação do circuito de sensores de identificação do trajeto ilustrado na Figura 10.

Finalizadas todas as etapas da confecção da placa, foi obtido o seguinte resultado com os componentes devidamente fixados, conforme ilustrado na Figura 11. A PCI construída para o robô, contendo os sensores infravermelhos, encontra-se funcional e pronta para ser utilizada no sistema.

Figura 11 - Placa com os sensores embutidos.



Fonte: Autoria própria, 2025

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa e a aplicação de métodos para a confecção de placas de circuito impresso evidenciaram que a criação de um guia prático pode ser fundamental não apenas para viabilizar a montagem de circuitos, mas também para apoiar o ensino prático de eletrônica embarcada e o desenvolvimento de competências em projetos da cultura maker. A proposta contribui para estimular o autodidatismo dos estudantes, favorecendo a aprendizagem ativa e o raciocínio técnico desde a produção de circuitos simples até a execução de projetos mais complexos.

Os testes realizados com estudantes iniciantes, por meio de oficinas e atividades de extensão, permitiram validar o material elaborado. O guia foi aplicado em ambientes com infraestrutura limitada, como laboratórios escolares, demonstrando viabilidade técnica e acessibilidade. Além disso, foram coletados feedbacks quanto à clareza das instruções, grau de dificuldade e efetividade no processo de aprendizado, os quais apontaram que o material serviu como facilitador no desenvolvimento de habilidades práticas e na compreensão dos conceitos teóricos de eletrônica aplicada.

Nesse mesmo contexto, o desenvolvimento do hardware embarcado demonstrou que a correta caracterização e configuração do sensor TCRT5000 são fundamentais para garantir maior precisão na detecção do trajeto, refletindo diretamente no desempenho dos robôs de competição. Os alunos envolvidos no projeto puderam aplicar conceitos de sensores, programação e ajustes físicos de hardware em situações reais de uso. A partir dos resultados obtidos, vislumbram-se futuras melhorias, como o desenvolvimento de algoritmos de calibração dinâmica e o uso de múltiplos sensores, o que pode aprimorar ainda mais a navegação autônoma e a estabilidade dos robôs em cenários competitivos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão ao Grupo de Robótica Educacional Livre pelo apoio prestado pelos docentes, pela cessão do laboratório e pela oferta dos materiais necessários, ao IFPB – campus João Pessoa pelo suporte físico e institucional ao desenvolvimento do projeto, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro por meio das bolsas PIBIC-EM.

REFERÊNCIAS

BITENCOURT, L. **Confecção caseira de placas de circuito impresso – parte 1**. Disponível em: <https://luizbitencourt.wordpress.com/2017/05/23/confeccao-caseira-de-placas-de-circuito-impresso-parte-1>. Acesso em: 08 jun. 2025.

CHATZIS, D.; PAPASALOUROS, A.; KAVALLIERATOU, E.. **Planning a robotic competition**. *Computer Applications in Engineering Education*, v. 30, n. 6, p. 1248-1263, 2022

MAHONEY, J. L.; CAIRNS, R.. **Do extracurricular activities protect against early school dropout?** *Developmental Psychology*, v. 33, n. 2, p. 241-253, 1997.

CHAVES, Carlos. **Placas eletrônicas: o que são? Para que servem?** Engenharia Híbrida, 2023. Disponível em: <https://www.engenhariahibrida.com.br/post/placas-eletronicas-o-que-sao-para-que-servem>. Acesso em: 21 abr. 2025.

MILHAGEM UFMG. **Confeccionando de placas de circuito impresso com tinta fotossensível**. Portal Vida de Silício. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/confeccionando-de-placas-de-circuito-impresso-com-tinta-fotossensivel/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

RAISA. **Comparação entre métodos de fabricação de PCB: fresagem CNC, corrosão e serigrafia**. Blog Raisal. Disponível em: <https://blog.raisa.com.br/comparacao-entre-metodos-de-fabricacao-de-pcb-fresagem-cnc-corrosao-e-serigrafia/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

ELETROARDUINO. **Sensor óptico reflexivo TCRT5000**. EletroArduino. Disponível em: <https://eletroarduino.wordpress.com/2013/07/11/sensor-optico-reflexivo-tcrt5000/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

MAKERHERO. **Como fazer uma placa de circuito impresso?** MakerHero. Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/como-fazer-uma-placa-de-circuito-impresso>. Acesso em: 11 jun. 2025.

EASYEDA. **EasyEDA – online PCB design & circuit simulator**. Shenzhen: EasyEDA, 2024. Disponível em: <https://easyeda.com/>. Acesso em: 14 jun. 2025.

OCTAVE ONLINE LLC. **Octave Online – Cloud IDE compatible with MATLAB**. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://octave-online.net/>. Acesso em: 14 jun. 2025.

LEE, HyunYong; YI, H.. **Development of an onboard robotic platform for embedded programming education**. Sensors, v. 21, 2021.

LEE, Chyi-Shyong; SU, Juing-Huei; LIN, Kuo-En; CHANG, Jia-Hao; LIN, Gu-Hong. **A project-based laboratory for learning embedded system design with industry support**. IEEE Transactions on Education, v. 53, p. 173-181, 2010.

A PRACTICAL BEGINNER'S GUIDE TO DOUBLE-SIDED PCB DESIGN: APPLICATION IN LINE-FOLLOWING ROBOTS

Abstract: Nowadays, the study of open educational robotics has become essential for the development of students in public schools. In this context, the present work aims to create a practical beginner's guide for the fabrication of double-sided printed circuit boards, using the necessary materials for building robotic projects with integrated electronics through simple and accessible methods. Based on this, an embedded hardware system was developed for line-following robots, aiming for high performance in robotics olympiad competitions — which promote investment and the expansion of this field in education, such as the Brazilian Robotics Olympiad (OBR).

Keywords: Educational Robotics, Electronics, PCB Fabrication, Double-Sided PCB Design, Line-Following Robot.

