



Projeto e validação de sistema de interrupção de ignição: estudo aplicado a motores de ciclo Otto em drones híbridos

Christopher Costa | christopher.c1@aluno.ifsc.edu.br¹
Bruno Vítor Renosto | bruno.v01@aluno.ifsc.edu.br²
Rafael Henrique Eckstein | rafael.eckstein@ifsc.edu.br³
Luiz Carlos Baron | luiz.baron@ifsc.edu.br⁴

Trabalho de Pesquisa
DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

A garantia da segurança operacional em aeronaves remotamente pilotadas híbridas exige sistemas redundantes capazes de realizar o desligamento assertivo de fontes de energia para evitar falhas catastróficas. Em motores de dois tempos equipados com carburador, a interrupção do funcionamento é dificultada pela natureza mecânica da alimentação, tornando o fechamento da borboleta de aceleração insuficiente para o corte imediato dos ciclos de combustão. Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e a validação de um sistema de interrupção forçada de ignição, para motores de ciclo *Otto*. A metodologia compreendeu a caracterização das grandezas elétricas do sistema de ignição, seguida pelo design de uma placa de circuito impresso compacta no *software* KiCad. O *hardware* utiliza um optoacoplador para isolamento galvânico e um MOSFET PMOS como chave de estado sólido para interromper a corrente do enrolamento primário da bobina. Os resultados demonstraram perdas por condução de apenas 54,8 mW, representando 0,38% da potência da carga. Ensaio em bancada com motor real confirmaram a assertividade do corte imediato em resposta ao comando eletrônico, sem a inserção de ruídos no circuito. Testes de sensibilidade com sinais de nível DC menores comprovaram a confiabilidade operacional do módulo mesmo em cenários de degradação de sinal, garantindo o encerramento seguro do motor e a integridade da aeronave.

Palavras-chave: drones híbridos; ignição; *kill switch*.

Introdução

A aplicação de sistemas redundantes em aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) híbridas é essencial para garantir a segurança operacional e a aeronavegabilidade

¹ Estudante do curso de Engenharia Eletrônica do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Florianópolis.

² Estudante do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Florianópolis.

³ Servidor docente do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAE) do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Florianópolis.

⁴ Servidor docente do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAE) do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Florianópolis.

(ANAC, 2017). A relevância deste trabalho decorre da necessidade de que sistemas híbridos realizem o desligamento assertivo de uma das fontes de suprimento, assegurando a mobilidade, a comunicação e a segurança do voo. Diante dessa criticidade, o encerramento do funcionamento do motor deve mitigar riscos de falhas relacionados ao excesso de temperatura, vazamentos ou outros tipos de mau funcionamento que possam, no pior dos casos, resultar em quedas.

A situação-problema deste estudo concentra-se no controle de motores de combustão interna de dois tempos equipados com carburador. Devido à natureza mecânica desses motores, o simples estrangulamento da borboleta de aceleração mostra-se insuficiente para interromper os ciclos de funcionamento de forma imediata. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento, os testes e a conclusão de um sistema de interrupção forçada da ignição para motores de ciclo *Otto* de dois tempos, considerando as restrições das grandezas elétricas pertinentes.

Fundamentação teórica

Em sistemas críticos, a confiabilidade é definida como a probabilidade de um item desempenhar sua função pretendida dentro dos limites de projeto e das condições operacionais especificadas, por um período de tempo determinado (Marwedel, 2011). Esse atributo é essencial para a prevenção de falhas catastróficas.

Nos motores de combustão interna alimentados por carburador, o sistema de alimentação opera de forma puramente mecânica. A depressão gerada no *venturi* do coletor de admissão é responsável por arrastar o combustível para o interior do cilindro (Mahle, 2019). Por não possuir controle eletrônico direto sobre o fluxo de combustível (como ocorre nos sistemas de injeção) o motor pode continuar operando por inércia mesmo após o fechamento da borboleta de aceleração.

Para motores que operam sob o ciclo *Otto* com carburadores, a interrupção eletrônica do sistema de ignição apresenta-se como uma solução confiável, com menor número de variáveis de controle em comparação ao sistema de admissão, para o desligamento forçado. O processo consiste em interromper a corrente elétrica no estágio de potência do circuito primário da bobina, impedindo a indução de alta tensão no secundário e, conseqüentemente, a geração da centelha na vela. Esse método atua como

um recurso de proteção essencial para o motor, permitindo o encerramento imediato dos ciclos de combustão (Salamani, 2018).

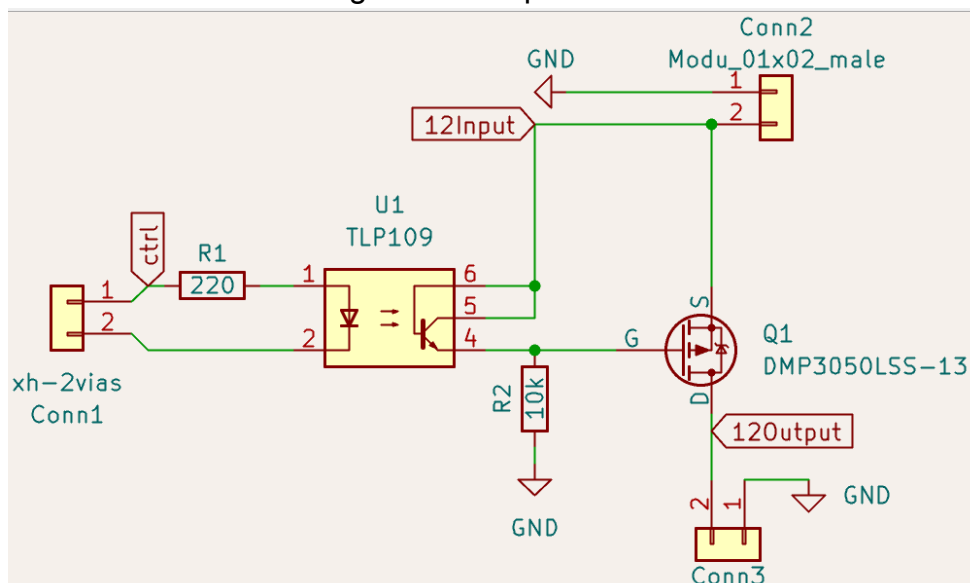
Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos deste trabalho foram estruturados para converter uma necessidade operacional de segurança em um sistema embarcado robusto, integrando as etapas de identificação do problema, levantamento de requisitos, caracterização elétrica e desenvolvimento de *hardware*. O processo de desenvolvimento foi conduzido de forma colaborativa entre docentes e discentes. Durante os ensaios em bancada com o motor de combustão interna, o método de desligamento consistia no desacoplamento manual dos conectores de alimentação do módulo de ignição, prática que se mostrou funcional em ambiente controlado, mas inviável para operações em aeronaves remotamente pilotadas, as quais exigem um comando de interrupção a distância e imediato para garantir a segurança operacional.

Para solucionar a problemática, estabeleceu-se o projeto de uma placa de circuito impresso dedicada à interrupção da corrente do sistema de ignição, observando requisitos não-funcionais fundamentais como eficiência energética, miniaturização e confiabilidade. O sistema previu o uso de isolamento galvânico na interface de acionamento para proteger o microcontrolador contra surtos transientes de tensão, comuns em sistemas de ignição de ciclo *Otto*, além de robustez térmica para suportar a corrente máxima RMS sob condições de temperatura elevada próximas ao motor. Antes da fase de *design*, realizou-se a medição das grandezas elétricas de entrada para garantir o dimensionamento correto dos componentes, constatando-se uma tensão próxima a 12 VDC, com corrente máxima RMS de 447 mA e picos de 920 mA em rotação máxima.

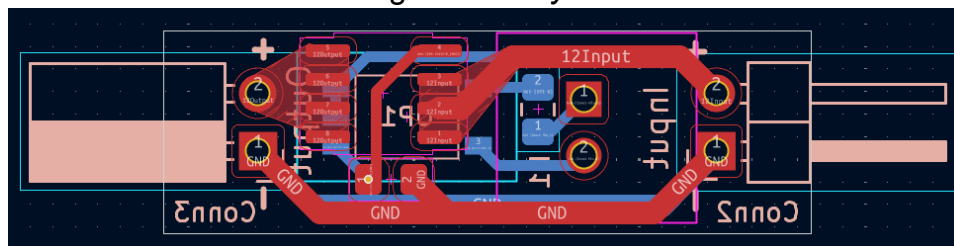
Com base nos requisitos e nos dados coletados, elaborou-se o esquemático eletrônico (Figura 1) e o layout da PCI (Figura 2) com dimensões reduzidas de 9 x 28 mm utilizando o software KiCad. O projeto final adotou dois componentes ativos principais, sendo um optoacoplador, responsável pelo isolamento entre o estágio de controle e o de potência, e um MOSFET PMOS, selecionado como chave de estado sólido por sua alta eficiência na condição de operação e precisão ao interromper a corrente no enrolamento primário para cessar a combustão.

Figura 1 – Esquemático



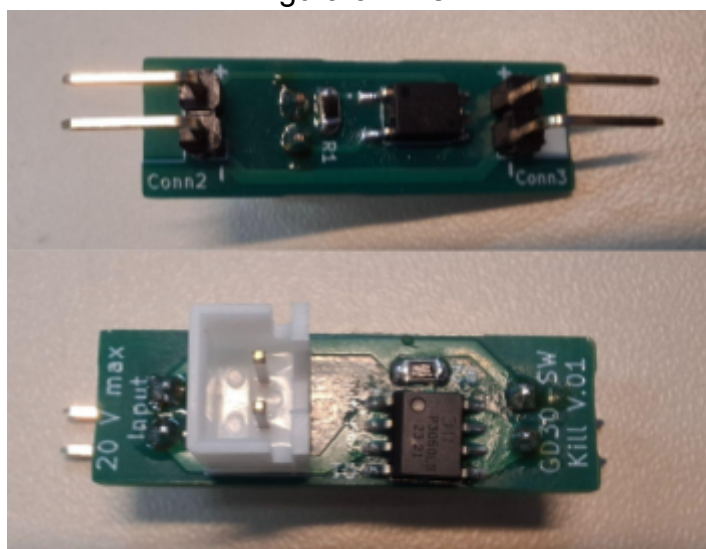
Fonte: Elaboração própria (2026).

Figura 2 – Layout



Fonte: Elaboração própria (2026).

Figura 3 – PCB

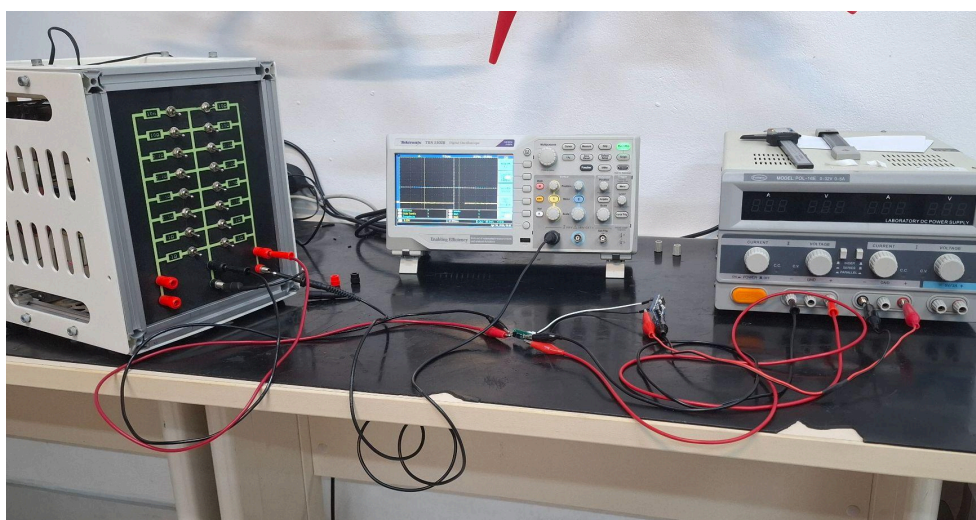


Fonte: Elaboração própria (2026).

Resultados e discussões

A validação do sistema desenvolvido, denominado *kill switch*, ocorreu em duas etapas distintas. A primeira consistiu em ensaios laboratoriais controlados utilizando uma fonte de tensão de 12 VDC, osciloscópio para análise de formas de onda e uma carga resistiva de prova de 10 Ω (Figura 4). Como produto deste projeto, a placa de circuito impresso foi integrada a um microcontrolador programado para acionar a abertura da chave em intervalos variáveis. Visando a confiabilidade, o sistema foi submetido a uma sobrecarga quase três vezes superior à potência nominal exigida pelo módulo de ignição, estratégia adotada para simular a degradação térmica esperada em proximidade ao motor e garantir a robustez do *hardware* sob estresse.

Figura 4 – Bancada controlada

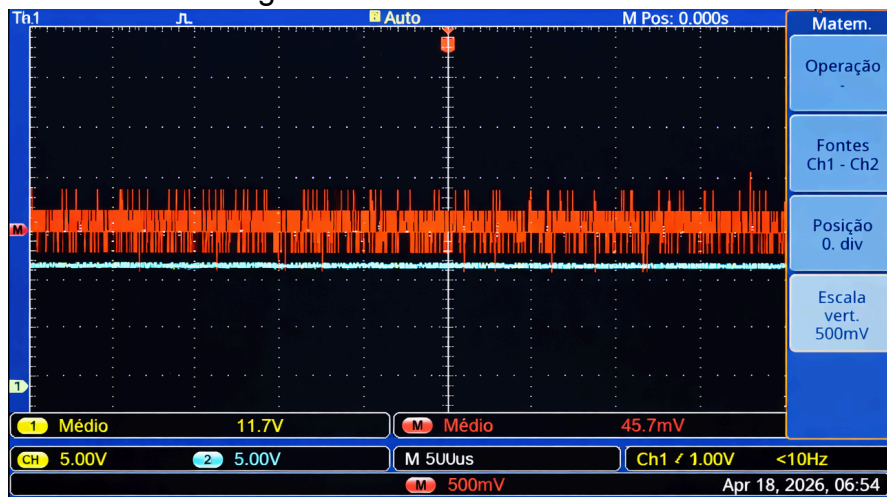


Fonte: Elaboração própria (2026).

Quanto à eficiência energética, as perdas por condução foram analisadas com base nas especificações técnicas do MOSFET DMP3050LSS-13 (Diodes Incorporated, 2011). O cálculo teórico previa uma dissipação de potência máxima de 64,8 mW ($P = I^2 \cdot R_{DSon}$) considerando a resistência máxima de condução de 45 m Ω . Os resultados experimentais observados na Figura 5 revelaram uma perda real de 54,8 mW, valor considerado desprezível por representar apenas 0,38% da potência total entregue à carga

(14,4 W). Este resultado valida o requisito de projeto de que o impacto do sistema de interrupção sobre a alimentação da ignição deve ser mínimo, mantendo a integridade do funcionamento do motor ciclo *Otto*.

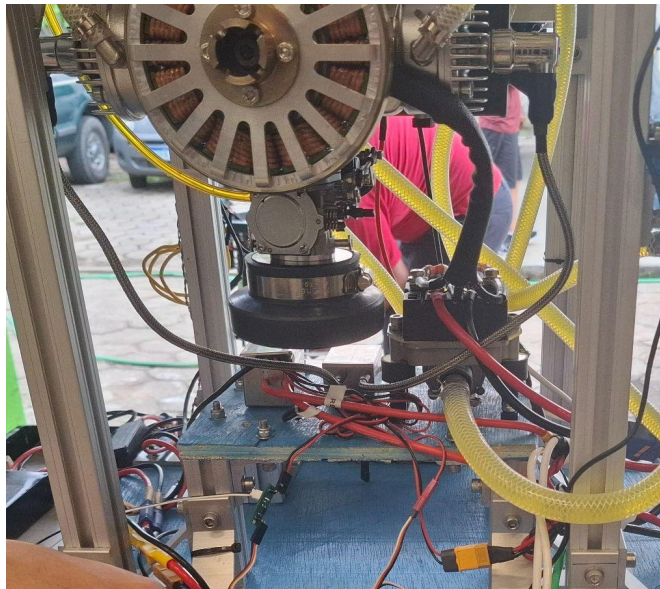
Figura 5 – Perdas no *kill switch*



Fonte: Elaboração própria (2026).

A segunda etapa de validação foi realizada em bancada de ensaios mecânicos com o motor de combustão interna (Figura 6). Nos testes, a adição do *kill switch* no circuito de alimentação da ignição não inseriu ruídos ou instabilidades capazes de interromper a corrente de forma indesejada durante o regime de operação normal. A assertividade do desligamento foi comprovada pela interrupção imediata da combustão em resposta ao comando eletrônico, atendendo à necessidade de um encerramento forçado seguro.

Figura 6 – Bancada com o motor.



Fonte: Elaboração própria (2026).

Adicionalmente, realizou-se um teste de sensibilidade utilizando um sinal para abrir a chave de apenas 2,6 VDC. Esta abordagem visou assegurar a confiabilidade operacional mesmo em cenários de degradação de sinal. O sucesso deste teste garante que o motor possa ser igualmente desligado sob condições não-ideais, mitigando riscos de falhas catastróficas e aumentando a segurança global do conjunto embarcado.

Considerações finais

Os objetivos deste trabalho foram plenamente atingidos com o desenvolvimento do módulo *kill switch*, validado como uma solução eficaz para o desligamento forçado de motores ciclo Otto. O hardware alcançou dimensões reduzidas e alta eficiência energética, apresentando perdas por condução insignificantes que não comprometem o desempenho do motor.

A atividade reforçou a formação profissional dos envolvidos ao integrar conhecimentos de eletrônica de potência. O principal desafio superado foi garantir a estabilidade do sistema sob estresse térmico, simulando as condições críticas de operação.

Visto o uso de um microcontrolador, o projeto permite projeções futuras para a implementação de sistemas inteligentes. É possível incorporar o monitoramento de

sensores de rotação, temperatura e corrente de saída como parâmetros para a decisão de interrupção, elevando a segurança operacional do conjunto.

Referência ao fomento recebido

Este trabalho foi executado no IFSC Câmpus Florianópolis, a partir da atuação no projeto de PD&I PFLN 2506 0023, no âmbito do Polo de Inovação e Unidade Embrapii do IFSC.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial: RBAC-E nº 94:** requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Brasília, DF: ANAC, 2017.

DIODES INCORPORATED. **DMP3050LSS:** P-channel enhancement mode MOSFET. [S. l.]: Diodes Incorporated, 2011. 1 datasheet. Disponível em: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/DMP3050LSS.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MAHLE METAL LEVE S.A. **Curso MAHLE Metal Leve:** motores de combustão interna: aftermarket 2019/2020. Limeira, SP: MAHLE Metal Leve S.A., 2019. Disponível em: <http://www.mahle-aftermarket.com>. Acesso em: 18 abr. 2026.

MARWEDEL, Peter. **Embedded systems foundations of cyber-physical systems.** 2. ed. [S. l.]: Springer, 2011.

SALAMANI, João Carlos. **Análise de risco e aumento da confiabilidade de motores Otto com relação às falhas esporádicas e de difícil diagnóstico.** 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Mecatrônica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.