DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CONTROLE DE ROTA DE UM MINI DIRIGÍVEL – FASE III

Gustavo Victorelli Caetano (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Mônica Ronobo Coutinho (Coorientadora), Wagner André dos Santos Conceição (Orientador). E-mail: wasconceicao@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharia Mecânica / Fenômenos de Transporte

Palavras-chave: Dirigível; Sistemas embarcados; Controle de voo.

RESUMO

Dirigíveis autônomos apresentam potencial de aplicação em atividades de monitoramento, logística e telecomunicações devido à sua capacidade de operar em ambientes abertos ou confinados e permanecer em voo por períodos prolongados. Diante disso, este trabalho objetiva desenvolver e aprimorar um sistema de controle e navegação para um mini dirigível, dando continuidade à plataforma desenvolvida na fase anterior do projeto. A metodologia fundamentou-se na reestruturação mecânica do veículo, no desenvolvimento de um mecanismo de flaps para controle direcional e na integração de atuadores, sensores e de um sistema embarcado. A nova arquitetura emprega uma placa Arduino para o processamento dos comandos e a aquisição das informações provenientes dos sensores integrados, além do uso de um servomotor responsável pelo acionamento dos flaps. Adicionalmente, foi estruturado um sistema de controle capaz de executar comandos de navegação e seguir trajetórias predeterminadas, visando ampliar a manobrabilidade e reduzir a necessidade de intervenção do operador. Os ensaios experimentais realizados na fase anterior demonstraram a capacidade do veículo de executar mudanças de direção, atingindo ângulos de rotação de até 48°, conforme a condição de acionamento dos motores. A partir dessa plataforma, a nova configuração busca aumentar a precisão do controle direcional por meio da atuação aerodinâmica dos flaps e da integração dos sensores ao sistema embarcado. Conclui-se que a evolução proposta amplia a capacidade de controle do mini dirigível e estabelece uma plataforma experimental para o desenvolvimento de técnicas de navegação autônoma aplicadas à robótica aérea.

INTRODUÇÃO

A necessidade de monitorar áreas extensas e acompanhar atividades em tempo real impulsionou o desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados para aplicações de vigilância, inspeção e aquisição de imagens. Entre essas plataformas, os dirigíveis apresentam a vantagem de permanecer no ar por longos períodos, com baixa velocidade de deslocamento e potencial para operações que exigem

estabilidade e permanência sobre uma região de interesse (SANTOS, 2008). Neste contexto, o presente projeto buscou construir um mini dirigível modular capaz de servir como plataforma experimental para diferentes estratégias de navegação e controle. A primeira etapa do desenvolvimento envolveu a seleção de motores elétricos, a estimativa da sustentação necessária a partir do volume de hélio, a modelagem da estrutura em CAD 3D (SolidWorks), a fabricação por impressão 3D e a integração de um sistema composto por uma placa Arduino Nano, controladores de velocidade e módulo de comunicação Bluetooth. A utilização de componentes modulares permite modificar a arquitetura do protótipo sem exigir a reconstrução completa do conjunto. Os ensaios iniciais demonstraram um desempenho satisfatório da nova motorização e do sistema de comunicação, porém a manobrabilidade ainda dependia fortemente da atuação propulsiva. Em um veículo de pequenas dimensões, essa característica dificulta o desacoplamento entre os comandos de propulsão e direção, restringindo a investigação de estratégias de controle. Portanto, o objetivo desta etapa consiste em atualizar a estrutura do mini dirigível e desenvolver um mecanismo de superfícies aerodinâmicas móveis acionadas por servomotores. A utilização de flaps visa ampliar a capacidade de controle direcional e criar uma interface mais direta entre o comando eletrônico e a resposta mecânica do veículo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento manteve a abordagem de prototipagem rápida adotada na etapa anterior. A estrutura foi modelada no SolidWorks e destinada à fabricação por impressão 3D, permitindo alterar geometrias, pontos de fixação e suportes conforme os resultados dos ensaios. A arquitetura eletrônica utiliza Arduino Nano como unidade de processamento, comunicação sem fio por módulo Bluetooth HC-05 e controladores eletrônicos de velocidade (ESC) para os motores brushless. A alimentação foi mantida modular, com baterias independentes para os conjuntos de propulsão e controle, conforme a configuração previamente testada (Figura 1). Para a sustentação, foi empregado o equilíbrio entre empuxo e peso do conjunto.

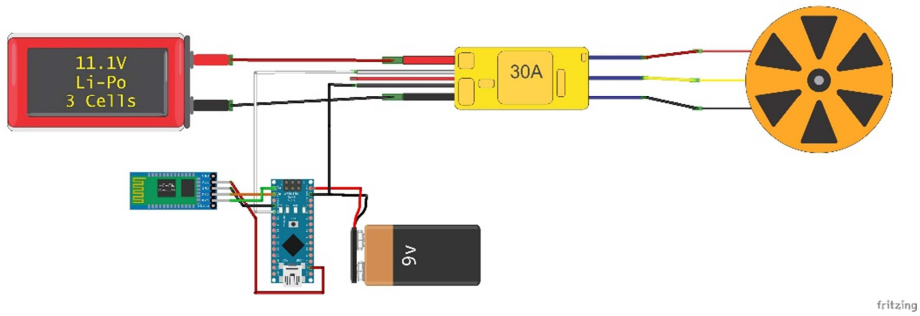


Figura 1 – Arquitetura do sistema eletrônico de controle do mini dirigível.

A determinação do volume necessário do envelope foi baseada no balanço vertical, sendo relacionada à massa total do protótipo e à densidade do gás de enchimento.

Na etapa anterior, a medição das massas e a adoção de hélio resultaram em uma estimativa de aproximadamente 113 cm para o diâmetro equivalente do balão esférico. A atualização estrutural foi concebida para acomodar os elementos de controle sem comprometer a modularidade do conjunto. O mecanismo de acionamento é formado por um servomotor, um braço de comando e uma ligação mecânica conectada à superfície móvel. O sinal de posição enviado pelo Arduino define o deslocamento angular do servo e, consequentemente, a deflexão do flap. Como a geometria final ainda está em fase de calibração, os ensaios devem determinar os limites de curso, a resposta temporal e a combinação de deflexões necessária para cada sentido de manobra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ensaio de manobrabilidade realizado na bancada, os dados confirmaram que o conjunto apresentava capacidade de mudança de direção, mas a resposta estava vinculada à atuação dos propulsores. Esse comportamento é útil para demonstrar a funcionalidade básica do protótipo, porém limita a análise de estratégias de controle que dependam de superfícies aerodinâmicas independentes. A nova configuração introduz uma mudança conceitual no sistema de comando, a produção do momento de guinada deixa de depender exclusivamente da diferença de atuação dos motores e passa a contar com a deflexão controlada de superfícies móveis (Figura 2). A atuação por servomotor apresenta duas vantagens principais para a plataforma experimental. Primeiro, permite reproduzir comandos com maior repetibilidade, uma vez que o ângulo de atuação pode ser definido diretamente pelo sinal de controle. Segundo, torna possível investigar separadamente a influência da superfície aerodinâmica e da propulsão, condição importante para futuras técnicas de sintonia e controle automático.

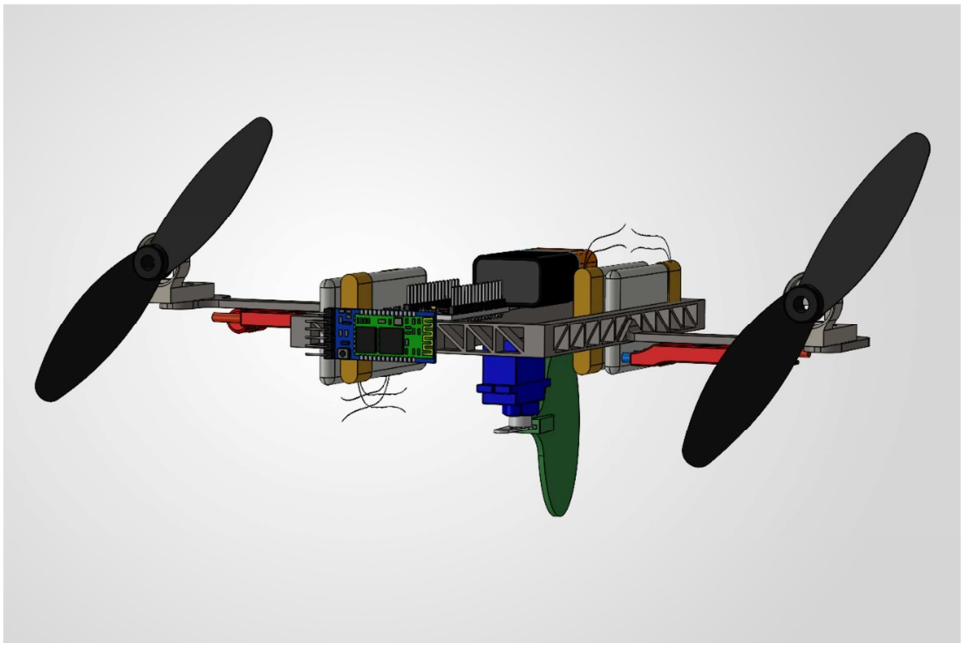


Figura 2 – Estrutura do protótipo com flaps acionados pelo mini servomotor.

Do ponto de vista mecânico, a principal alteração está na inclusão de suportes destinados aos servomotores e nas articulações dos flaps. As peças precisam permanecer leves para não reduzir a margem de sustentação disponível. A utilização de impressão 3D favorece essa relação entre massa, integração geométrica e facilidade de alteração, permitindo que suportes, braços e conexões sejam modificados rapidamente entre ciclos de teste. Os resultados já obtidos indicam que a plataforma possui condições para receber a atualização proposta: a motorização apresentou melhoria da relação peso-potência, a comunicação Bluetooth operou de forma adequada e a estrutura modular permitiu a realização de testes sem o envelope de hélio. A etapa atual, portanto, concentra-se na integração mecânica dos flaps, na calibração dos servomotores e na validação experimental da manobrabilidade.

CONCLUSÕES

Conclui-se que reestruturação mecânica proposta atende ao objetivo da fase, ao incorporar flaps acionados por servomotores e separar os mecanismos de propulsão e direção. A nova configuração cria as condições para comandos mais precisos e repetíveis, embora a validação experimental da resposta ainda esteja pendente. Como continuidade, o projeto prevê a integração definitiva dos atuadores, a calibração do curso dos flaps e os ensaios de manobrabilidade, rumo a consolidação de uma plataforma para navegação autônoma.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação Araucária (FA) e à Universidade Estadual de Maringá (UEM) pelo apoio e financiamento da pesquisa, bem como pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, que possibilitou a realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

DASSAULT SYSTÈMES. SOLIDWORKS 2026. Dassault Systèmes, 2026.

SANTOS, H. F. L. Projeto de um dirigível remotamente controlado. 2008. 232 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

CONTROL A brushless motor via HC06. Arduino Fórum, [s. d.]. Disponível em: https://forum.arduino.cc/t/control-a-brushless-motor-via-hc06/649779. Acesso em: 24 ago. 2026.