

# DRONE MODULAR PARA ROBÓTICA EDUCACIONAL E COMPETIÇÕES ESTUDANTIS

Gustavo da Silva Nascimento Costa<sup>1</sup>, Samara Barros Feitosa<sup>1</sup>, Gabriel da Silva Prado<sup>1</sup>

Leandro Gonçalves dos Santos<sup>1</sup>, Fábio Santos Lima<sup>1</sup>, Carlos Anderson Oliveira Silva<sup>1</sup>,

[leandro.santos@ifbaiano.edu.br](mailto:leandro.santos@ifbaiano.edu.br), [fabio.lima@ifbaiano.edu.br](mailto:fabio.lima@ifbaiano.edu.br), [carlos.oliveira@ifbaiano.edu.br](mailto:carlos.oliveira@ifbaiano.edu.br)

<sup>1</sup> INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO  
Guanambi – BA

Categoria: ARTIGO BÁSICO / MULTIMÍDIA

**Resumo:** Este projeto foi realizado no IF Baiano Campus Guanambi e teve como objetivo o desenvolvimento de um drone classe 450 que reunisse características de modularidade, resistência, eficiência energética e maior autonomia de voo. O desenvolvimento do modelo tridimensional foi realizado na plataforma Tinkercad e em seguida utilizou-se da técnica de manufatura aditiva com polímero termoplástico PETG para sua materialização. Esse polímero foi escolhido por agregar durabilidade, flexibilidade, leveza e resistência a impacto. Para obtenção das características de modularidade, o frame foi confeccionado em três partes: corpo central, tampa superior e tampa inferior; e os braços do drone foram confeccionados em tubos de carbono com conexões de engate rápido. As análises comparativas apontaram que combinação do motor Xytech 2312A-800kv + ESC Hobbywing 20A + Hélice 9450 + Pack de bateria 4S2P resultam em maior eficiência energética e maior autonomia de voo.

**Palavras Chaves:** Aeronave remotamente pilotada, robótica educacional, F450, multirrotor, quadricóptero.

**Abstract:** This project was carried out at the IF Baiano Campus Guanambi and aimed to develop a class 450 drone that combined characteristics of modularity, resistance, energy efficiency and greater flight autonomy. The development of the three-dimensional model was carried out on the Tinkercad platform and then the additive manufacturing technique was used with PETG thermoplastic polymer for its materialization. This polymer was chosen for adding durability, flexibility, lightness and resistance to impact. In order to obtain the modularity characteristics, the frame was made in three parts: central body, upper lid and lower lid; and the arms of the drone were made of carbon tubes with quick coupling connections. Comparative analyzes showed that the combination of the Xytech 2312A-800kv engine + Hobbywing 20A ESC + 9450 Propeller + 4S2P battery pack results in greater energy efficiency and greater flight range.

**Keywords:** Remotely piloted aircraft, educational robotics, F450, multirrotor, quadcopter.

## 1 INTRODUÇÃO

Embora o termo drone seja algo bem conhecido hoje em dia, a idealização desse aparelho é bem antiga. De acordo com Munaretto (2017), o precursor dos veículos aéreos não tripulados (VANT) como entendemos hoje, é o Curtiss/Sperry

“Flying bomb” da marinha americana, que voou pela primeira vez em 6 de março de 1916.

Com o passar dos anos a tecnologia permitiu aprimoramentos dando origem em 1977 ao modelo Albatross, desenvolvido pelo engenheiro espacial israelita Abraham (Abe) Karem. Embora a tecnologia dos drones tenha sido utilizada inicialmente para fins militares, atualmente seu uso vem sendo bastante aplicado em finalidade comerciais e civis.

As aeronaves remotamente pilotadas podem ser do tipo asa fixa ou asa rotativa. Neste estudo nos limitamos ao tipo asa rotativa que também são chamados de multirrotores. Para fins de padronização durante a escrita deste artigo, nos referimos a essas aeronaves usando o termo drone, como popularmente são conhecidas.

Os drones multirrotores são classificados tanto pela quantidade de rotores quanto pelo seu tamanho. Quadricóptero ou quadricóptero são drones que possuem quatro rotores. Quanto ao tamanho, o drone classe 450 possui distância entre os eixos do motor de 450 mm.

De acordo com Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC-E n.94) os drones que possuem peso máximo de decolagem entre 250 g e 25 kg, que operam até 400 pés (cerca de 120 metros) acima do nível do solo e em linha de visada visual (VLOS) são classificados como classe 3 (BRASIL, 2023). Ainda de acordo com a ANAC, os drones dessa classe não precisam ser de um projeto autorizado ou tipo certificado por esse órgão, ou seja, não é necessário obter certificado de aeronavegabilidade, sendo exigido para sua operação o registro do operador e da aeronave no Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT), atender as regras constantes no RBAC-E n.94, assim como a conformidade com Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e autorização de voo pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

Apesar de estarem presentes cada vez mais em nosso dia-a-dia, os drones ainda possuem barreiras que os impedem de cumprir algumas funções, por exemplo tarefas que exigem muito tempo necessitando assim de um veículo que possa voar por mais tempo.

Tarefas como mapeamento de grandes áreas e até mesmo acompanhamento de operações de resgate foram amplamente beneficiadas com o uso de drones, reduzindo custos e tornando essas tarefas mais ágeis e precisas uma vez que se trata de uma aeronave pequena e remotamente pilotada. Contudo, quando se

trata de missões extensas a utilização desses equipamentos pode se tornar limitada devido a autonomia de voo.

Visando a solução desses problemas várias empresas vêm adotando medidas para aumentar a autonomia de voo desses aparelhos, assim como se propõe esse projeto. Para isso se faz necessário selecionar componentes menores, mais leves e energeticamente mais eficientes, contudo, mantendo padrões de qualidade, resistência e durabilidade.

A disponibilidade de impressoras 3D no Laboratório Maker do IF Baiano Campus Guanambi proporciona aos usuários projetar e produzir diversos objetos através da técnica de manufatura aditiva, da modelagem tridimensional e prototipagem rápida. As vantagens de produzir seu próprio modelo é obter um drone totalmente personalizado e voltado a atender às suas necessidades, como por exemplo a capacidade modular e resistência estrutural que pode ser conseguida com a combinação de diferentes materiais, como o copolímero PETG e a fibra de carbono.

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um drone modular visando sua utilização em competições estudantis e como ferramenta para auxiliar na formação científica, acadêmica e interdisciplinar dos estudantes do IF Baiano através da robótica educacional.

Este artigo encontra-se organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta o Referencial Teórico; a seção 3 descreve o Trabalho Proposto, onde é apontado a principal finalidade do projeto; na seção 4 são apontados os Materiais e Métodos utilizados na execução; na seção 5 são apresentados os Resultados e as Conclusões do projeto são apresentadas na seção 6.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Robótica Educacional

A robótica educativa pode ser definida como uma área do conhecimento multidisciplinar que utiliza os conceitos das engenharias e demais ciências no processo de concepção, construção, automação e controle de dispositivos robóticos com propósitos educacionais (ABREU & BASTOS, 2015).

A utilização de recursos tecnológicos com finalidades pedagógicas em instituições de ensino, vem despertando interesse crescente na busca por ferramentas que auxiliem no processo de ensino e aprendizagem (YEPES & BARONE, 2018).

No que se refere aos drones na educação, deve-se partir do princípio que a educação é um campo em constante evolução e inovação. Entretanto, observa-se uma insuficiência e um processo muito tímido sobre estudos científicos que contemplem a aplicação dos drones no ambiente pedagógico (VENTURA et al., 2022). Corroborando com esse entendimento, Yepes (2021) afirma que há muito material sobre robótica educativa, entretanto, são raros os que enfocam o uso de drones na educação.

Na robótica educacional o drone pode ser utilizado como uma ferramenta de apoio ao ensino, explorando conceitos da física e matemática, tais como dinâmica do voo, força, empuxo e Leis de Newton, distância, altura, ângulos, trigonometria, dentre outros (YEPES, 2021)

Ventura et al. (2022) sugerem que o emprego de instrumentos tecnológicos, a exemplo de robôs e drones, como ferramentas educacionais em metodologias ativas de aprendizagem e que

estas tecnologias sejam disseminadas no sentido de potencializar o processo de ensino-aprendizagem e a inclusão das tecnologias de educação de forma ampla.

### 2.2 Competições estudantis

Por conseguinte, surgem as competições de drones, tanto no âmbito acadêmico quanto no corporativo. Dentre elas pode-se citar a Fórmula Drone SAE Brasil que é uma competição de caráter educacional tendo por objeto de interesse técnico uma aeronave de asas rotativas rádio controlada, tipo drone, dotada de sistemas orientados para o cumprimento de determinadas tarefas que constituem o desafio técnico da competição, com foco tecnológico em sistemas inteligentes de bordo (SAE BRASIL, 2020).

O evento que acontece durante três dias no Campus da UNIFEI, cidade de Itajubá - MG, tem como objetivo proporcionar aos alunos um ambiente competitivo em que eles devem realizar provas que testam a capacidade da equipe em agregar de forma funcional e eficiente os componentes do drone. Ademais, a competição busca encorajar o compartilhamento de informação entre as equipes possibilitando um intercâmbio de aprendizagem, o aprimoramento e o desenvolvimento de novas tecnologias.

A Mostra Nacional de Robótica é uma mostra científica que busca estimular o estudo e a pesquisa na área da Robótica (MNR, 2023).

### 2.3 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva é uma ferramenta tecnológica que muito pode contribuir para a aplicação da robótica educacional. Seu conceito foi introduzido em meados da década de 1980 com a disseminação de metodologias de processos de prototipagem rápida, e a impressão tridimensional (3D) era um dos processos possíveis (WONG; HERNANDEZ, 2012).

A Impressão 3D é basicamente o ato de transformar uma matéria prima de uma condição física em outra, para produção de um objeto, tomando como base um modelo tridimensional que será materializado pela deposição de camadas (TAKAGAKI, 2012).

A modelagem de deposição fundida (FDM) é uma das formas mais comuns de manufatura aditiva, onde o filamento termoplástico aquecido é extrudido através de um bocal, para sua deposição em camadas. A FDM é uma das técnicas mais utilizadas para prototipação rápida através do método de extrusão de polímeros (GIBSON, ROSEN, STUCKER, 2010; VOLPATO et al., 2017).

Os polímeros termoplásticos são os principais materiais utilizados na FDM, destacando-se o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), Poli Ácido Lático (PLA) e Nylon (BORAH, 2014) e Politereftalato de Etileno (PET) (HUNT et al., 2015). O Politereftalato de Etileno Glicol (PETG), quimicamente descrito como poly (ethylene terephthalate-co-1,4-cyclohexylenedimethylene terephthalate), é um polímero amorfo, o qual mantém seu estado semissólido quando aquecido, o que o torna adequado para a Impressão 3D (ALZAHIRANI, 2017).

O PETG é um tipo de filamento com propriedades mecânicas semelhantes às do PET, agregando características como durabilidade, tenacidade, flexibilidade, leveza, resistência a

impacto e elevada transparência e o alto brilho (WANG, 2013; WATANABE, 2016).

## 2.4 Softwares para modelagem 3D

A modelagem tridimensional (3D) é basicamente o processo de criar um objeto com três dimensões, utilizando softwares CAD (Computer-Aided Design ou, em português, desenho assistido por computador) (PARANÁ, 2018).

Este método permite a criação de protótipos utilizando-se projetos de figuras bidimensionais que permitem diversos usos: serve como auxílio visual para discussões de projetos entre colaboradores e clientes, permite a realização de testes prévios, permitem a obtenção de peças com qualidade igual a de produção em série, entre outros (CURTIS, 2006).

O Tinkercad é uma plataforma de design colaborativo da Autodesk que permite a criação de design de modelos 3D em CAD, sendo uma ferramenta gratuita e fácil de usar que roda no próprio navegador web (COELHO; COELHO; SANTOS, 2020).

De acordo com a pesquisa de Loss & Benini (2019), no qual foram avaliadas diversas ferramentas semelhantes, o Tinkercad obteve uma excelente pontuação no quesito compatibilidade, aprendizagem, compartilhamento e estabilidade, se assemelhando a ferramentas famosas como o Google Sketchup.

## 3 O TRABALHO PROPOSTO

Este projeto surgiu da necessidade de melhorar o desempenho da equipe Drones Guanambi e IF Copter na competição Fórmula Drone SAE Brasil. Durante dois anos de participação neste evento utilizando o modelo de drone genérico F450, o desempenho dessas equipes foram comprometidos com quebras recorrentes em componentes estruturais e baixa autonomia e eficiência energética. Com a experimentação de novos componentes era possível perceber ganhos ou piores notáveis no desempenho do drone, surgindo este projeto com a compilação dessas observações empíricas. A partir dessas observações a equipe desse projeto trabalhou com a hipótese de que uma drone com estrutura modular poderia ser desenvolvido a partir da técnica de manufatura aditiva; que a utilização de polímeros termoplásticos resultaria em maior flexibilidade, leveza e resistência; e que a combinação de baterias de íons de lítio com setup eletrônico de melhor qualidade resultaria em maior autonomia de voo. O projeto começou a ser idealizado em 2019, entretanto em razão da pandemia do COVID-19 teve as atividades comprometidas, sendo retomado em junho de 2023. Durante esse período e com a retomada do projeto, houveram reuniões no formato de Brainstorming e em paralelo foram realizadas a modelagem tridimensional do drone seguida da impressão para verificar a necessidade de aprimoramentos até a obtenção de um protótipo funcional. A execução das atividades ocorreram nas dependências do Laboratório Maker do Instituto Federal Baiano Campus Guanambi.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Todo trabalho deve ser submetido a algum tipo de teste para que possa ser avaliado. Na verdade, buscamos aqui uma validação com um caráter mais científico de seu trabalho (validação de hipótese). Busca-se identificar quais os seus pontos fortes e fracos. Algumas formas usuais de realizar esses testes são através de estatísticas (repetindo várias vezes uma certa funcionalidade e observando-se o percentual de acerto,

por exemplo), ou questionários (solicitando, por exemplo, a um grande número de pessoas que interajam com o objeto de seu desenvolvimento). Nesta seção você deve descrever claramente QUAIS foram e COMO foram conduzidos os TESTES, quais os materiais e as metodologias empregadas. Quem efetuou testes? Quantas pessoas? Quantas vezes? Foi necessário algum laboratório ou material especial? Como eles foram realizados? Como os dados foram organizados? Embora toda a descrição sobre os testes esteja aqui, esta seção não apresenta nem comenta nenhum resultado. Isso será feito na seção a seguir.

O drone genérico modelo F450 foi o ponto de partida para o desenvolvimento de uma nova aeronave. O modelo F450 possui como características possuir quatro braços de plástico injetado que são aparafusados em duas placas de fibra de vidro para compor o frame. Neste modelo todos os componentes ficam expostos, toda fiação é aparente e a aerodinâmica é prejudicada. As primeiras tentativas partiram de melhorias propostas para esse modelo genérico com a substituição dos braços que eram de plástico injetado por outros de fibra de carbono em formato tubular com 16 mm de diâmetro e parede interna de 1 mm.

Com essa modificação também se fez necessário desenvolver os suportes para fixação dos motores. Esses suportes foram modelados no Tinkercad por ser uma plataforma intuitiva, fácil de usar, e acessada pelo navegador de internet, não exigindo assim uma máquina robusta para a modelagem 3D. Após a confecção das peças no Tinkercad, exportou-se o arquivo do projeto em formato “.STL” para ser fatiado em camadas no programa FlashPrint. Esse programa é responsável por criar o arquivo com extensão “.GX” o qual é reconhecido pela impressora para realizar a extrusão camada por camada até finalizar com manufatura do objeto projetado. As novas peças projetadas, foram impressas em polímero PETG, utilizando-se para isso a impressora modelo Guider IIs do fabricante Flash Forge.

O novo drone projetado foi denominado IF450, por representar o nome abreviado de nossa instituição (IF de Instituto Federal) e 450 devido ao seu tamanho (distância entre os eixos do motor). Verifica-se que o frame central é composto de uma peça inteira em copolímero PETG onde os braços de tubo de carbono se encaixam (figura 2). Duas tampas, uma superior e outra inferior são fixadas por conectores de engate rápido e opcionalmente quatro parafusos de 3 mm de diâmetro (figura 1). Com a remoção dessas tampas tem-se acesso rápido e facilitado da eletrônica interna em caso de necessidade de manutenção, além de garantir aerodinâmica, proteção e visual limpo por manter fios e conexões protegidos.



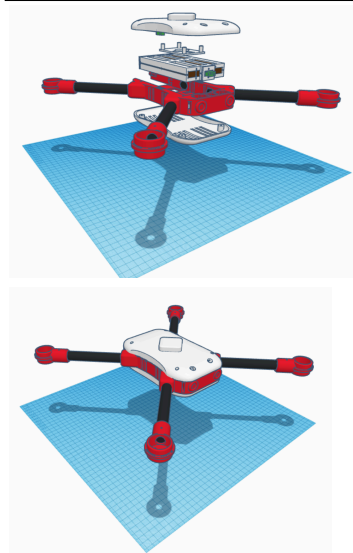


Figura 1: Visão explodida e compacta do drone IF450 no Tinkercad. Fonte: o autor

Ao longo de dois anos de participação na Fórmula Drone SAE Brasil, vários componentes e configurações eletrônicas foram experimentados nos drones utilizados, o que permitiu acumular experiência sobre a qualidade e desempenho de componentes responsáveis pelo voo do drone.

Com base nessa experiência acumulada, foram propostas para esse estudo duas configurações eletrônicas denominadas KIT F450 e KIT IF450 V1.0 que possuem as características apresentadas na tabela 1. Para definição dos componentes listados nesta tabela, levou-se em consideração suas especificações técnicas, dentre elas a força de propulsão, eficiência e o peso. O KIT F450 foi composto por componentes genéricos comumente utilizados em drones da classe 450, enquanto o KIT IF450 V1.0 foi composto por componentes de melhor qualidade de fabricação e eficiência energética.

Tabela 1: Composição eletrônica dos kits propostos

COMPONENTES	KIT F450	KIT IF450 V1.0
Controladora	APM2.5	APM2.5
Motor	Emax 2213 935kv	Xytech 2312A 800kv
Hélice	9450	1045
ESC	ReadToSky 30A	Hobbywing 20A
Tamanho do frame	450mm	450mm
Peso	767 g	777 g

A controladora de voo utilizada em ambos drones foi a Ardupilot APM2.5 com GNSS/Compass Ublox M8N. Essa controladora foi configurada com o firmware Copter v3.2.1 utilizando o software de código aberto Mission Planner para ajuste de parâmetros e calibração dos sensores, permitindo assim o voo estabilizado e a utilização dos modos de voo pré-programados. O GNSS é projetado para receber e rastrear os sinais L1C/A na frequência de 1575,42 MHz. Esta série NEO-M8 pode receber e processar simultaneamente as constelações de satélites Glonass e Beidou.

Os motores utilizados são do tipo brushless, que significa sem escovas, o que os tornam mais eficientes e com menor desgaste. As hélices utilizadas foram a 9450 e 1045, recomendadas pelos fabricantes dos motores Xytech (2312A

800kv) e Emax (2213 935kv), respectivamente. A escolha desses motores foram baseadas no peso final estimado para o drone em torno de 1200 g. De acordo com os fabricantes, esses motores, possuem, individualmente, empuxo máximo de 800 e 850 g, respectivamente, para Xytech 2312A (800kv) e Emax 2213 (935kv).

Para o funcionamento de cada motor brushless é necessário um controlador eletrônico de velocidade (ESC) que modifica a rotação do eixo variando a frequência das correntes entre as fases de suas bobinas. Os ESCs foram escolhidos para funcionar com tensões até 14,8V (bateria 4S), sendo utilizados os modelos Hobbywing 20A e ReadToSky 30A.

Na tabela 2 são apresentadas as especificações técnicas dos diferentes packs de bateria experimentados e sugeridos para alimentar os drones do KITs F450 e IF450 V1.0. Os packs de bateria de íons de lítio (Li-Ion) são compostos por células modelo INR18650-30Q da Samsung ligadas em série e/ou paralelo, buscando atingir uma determinada capacidade energética. Neste estudo utilizou-se quatro packs de bateria, sendo dois deles com células ligas em série (3S1P e 4S1P) e dois packs de bateria com células com ligações em série e paralelo (3S2P e 4S2P). A ligação dos conjuntos em paralelo tem a finalidade de dobrar a capacidade energética e a corrente de descarga contínua máxima.

Tabela 2: Características dos packs de bateria analisados

Pack	Tensão (V)	Capacidade (Ah)	E (Wh)	DM (A)	PB (g)	DE (Wh/kg)
Li-Ion 3S1P	10,8	3,0	32,40	15	172	188,37
Li-Ion 3S2P	10,8	6,0	64,80	30	319	203,14
Li-Ion 4S1P	14,4	3,0	43,20	15	216	200,00
Li-Ion 4S2P	14,4	6,0	86,64	30	419	206,78

E=Energia máxima armazenada (Wh); DM=descarga máxima de corrente (A); PB=Peso bruto (g); DE=Densidade energética (Wh/kg).

Para registrar o consumo energético do conjunto motor-hélice e o empuxo correspondente gerado, foi utilizado o dinamômetro de bancada onde os dados foram coletados e plotados em planilha eletrônica. Nesta etapa os dados foram obtidos a partir da média de quatro repetições para cada configuração do conjunto motor-hélice e bateria utilizada.

Com o conjunto motor-hélice instalado no dinamômetro, ajustou-se o potenciômetro de controle de aceleração de forma gradual até o fornecimento das seguintes potências: 16, 32, 48, 64, 80, 96, 112, 128 e 144 W. Para cada uma dessas potências fornecidas foi registrado o empuxo resultante, e com o valor desses pares ordenados obteve-se um modelo de regressão linear de empuxo versus potência para cada conjunto motor-hélice.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O compartimento da bateria ficou localizado no centro da peça inteira do frame que possui na posição traseira uma abertura basculante e com trava que foi projetada com a finalidade de facilitar a inserção, remoção e fixação do pack de baterias. Na tampa superior foi disposto o compartimento para o GPS, controladora de voo e receptor, de modo que fica tudo acondicionado e protegido. Embaixo da tampa inferior possui furação no padrão (40x40mm) para fixação da placa controladora de motor (ESC 4in1) e/ou placa de distribuição de energia, que além de ficarem protegidos da poeira e respingos

de água, também mantem o estética livre de fiação aparente, como ocorre nos kits de drone genérico F450.

Na tampa superior e inferior também foram desenhadas pequenas aberturas que além de garantir o fluxo de ar para refrigeração dos componentes internos (figura 2) complementam o design elegante do drone, assim como os círculos arredondados na parte frontal simulando um par de olhos onde poderá abrigar sensores anti colisão do tipo ultrassônicos, laser ou infravermelho.

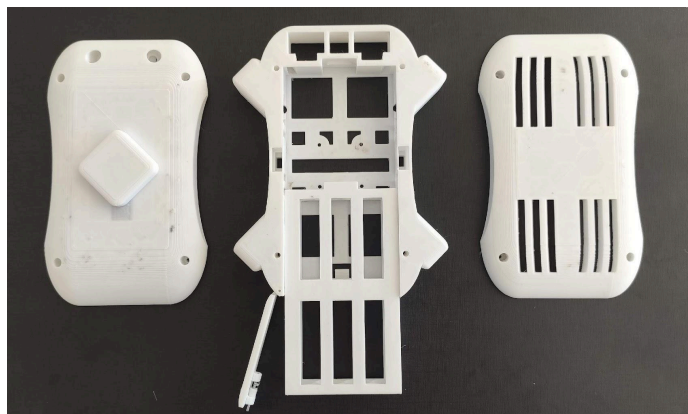


Figura 2: Frame central, compartimento de bateria, estrutura do pack de bateria, tampa superior e inferior. Fonte: o autor

A adoção braços constituídos de tubo de fibra de carbono (16mm de diâmetro) resultaram em leveza e resistência ao modelo IF450. Esse formato tubular dos braços proporcionaram facilidade para passagem dos fios que levam energia até o motor, mantendo-os protegidos e tornam o visual mais limpo.

Visando o conceito de modularidade do drone IF450 e para facilitar o transporte com a remoção total dos braços, adotou-se o conector trifásico do tipo XT (figura 3). Os braços removíveis além de reduzir o espaço necessário para acomodação do drone IF450, também agilizam sua substituição em caso de avaria durante as competições, onde cada segundo da prova é crucial para o bom desempenho das equipes.

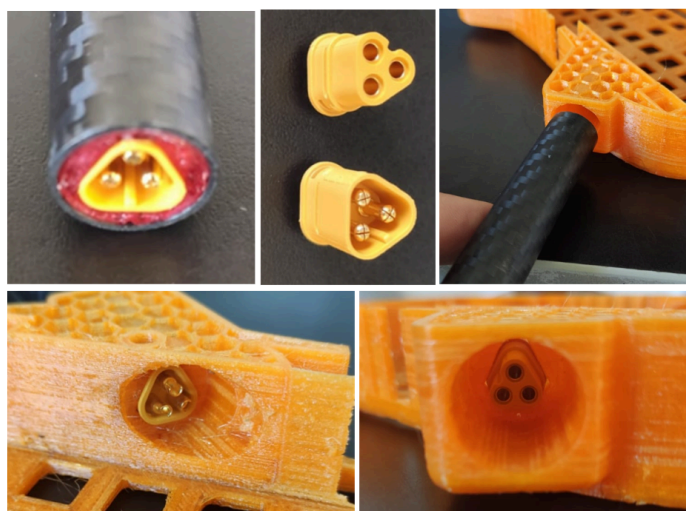


Figura 3: Conectores XT e sua fixação nos braços e corpo do frame. Fonte: o autor

Os packs de bateria Li-Ion se encaixaram perfeitamente no compartimento e possibilitaram a obtenção de maior densidade energética compatível com os requisitos para o drone proposto.

Com base nos testes realizados com as diferentes configurações do conjunto elétrico e propulsor foram obtidos os resultados que seguem. Na figura 12, observa-se a variação da tensão e o consumo de bateria em função do tempo para o motor XYTECH 2312A com Hélice 9450, ESC 20A e bateria 3S. Verifica-se que para entregar uma potência de 23W com segurança para manter o drone pairando no ar é conseguido até os 60 minutos de autonomia, quando a curva de tensão da bateria apresenta uma queda acentuada.

O motor Emax apresentou um consumo maior, correspondendo a 33W de potência quando comparado ao motor Xytech para o mesmo pack de bateria 3S1P. A curva de tensão e consumo da bateria (figura 13), demonstra que só é possível manter o drone pairando com segurança durante 40 minutos de autonomia.

O motor Xytech alimentado com pack de bateria 4SP1 apresentou uma potência levemente superior quando comparada a sua alimentação com pack de bateria 3S1P, entretanto sua autonomia para manter o drone pairando com segurança, aumentou para 80 minutos, conforme pode ser visualizado na figura 5.

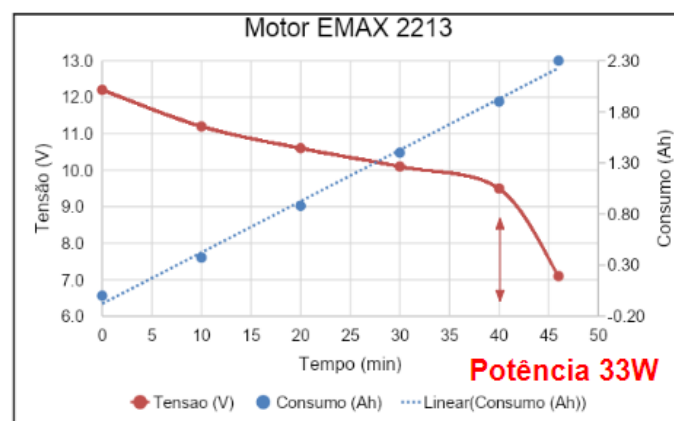
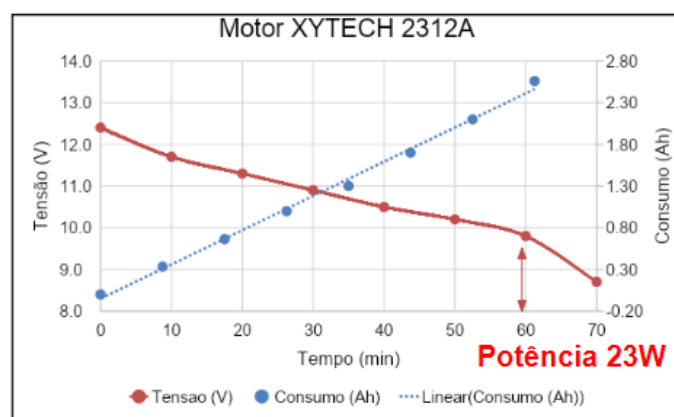


Figura 4: Gráfico de tensão e consumo da bateria em função do tempo para o motor XYTECH 2312A e Emax 2312A com pack de bateria 3S1P

O motor Emax alimentado com pack de bateria 4SP1 também apresentou uma potência levemente superior quando comparada a sua alimentação com pack de bateria 3S1P,

entretanto sua autonomia para manter o drone pairando com segurança, aumentou para 50 minutos, conforme pode ser visualizado na figura 5.

Os testes comparativos demonstraram que a configuração do kit IF450 v1.0 com pack de bateria 4S2P apresentou a maior autonomia teórica de 40 minutos de voo (tabela 3). Essa autonomia é 300% superior ao pior desempenho que foi obtido pelo kit F450 com pack 3S1P, correspondente a 10 minutos de autonomia de voo.

Tabela 3: Estimativas de autonomia em testes de bancada

ITENS	KIT F450	KIT IF450 V1.0
Li-Ion 3S1P	10 min	15 min
Li-Ion 4S1P	12,5 min	20 min
Li-Ion 3S2P	20 min	30 min
Li-Ion 4S2P	25 min	40 min

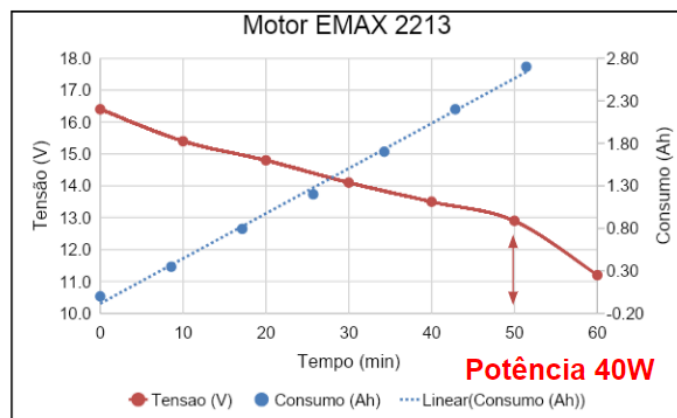
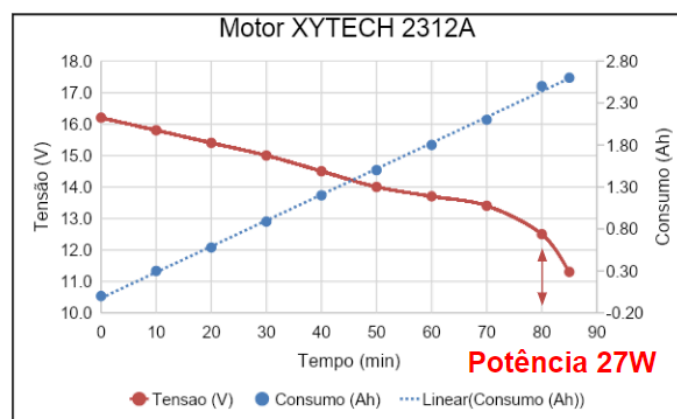


Figura 5: Gráfico de tensão e consumo da bateria em função do tempo para o motor XYTECH 2312A e Emax 2312A com pack de bateria 4S1P

## 6 CONCLUSÕES

O drone proposto apresentou melhorias significativas em comparação ao modelo genérico F450, destacando-se os aspectos estéticos, aerodinâmicos, capacidade rápida de montagem e desmontagem em razão de sua modularidade, assim como de resistência. Conclui-se que a configuração

eletrônica com motor Xytech + ESC Hobbywing 20A é mais eficiente que o motor Emax com ESC ReadToSky 30A. Os packs de bateria com ligação em paralelo conferem maior autonomia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J. V. V.; Bastos, B. L. (2015). Robótica Pedagógica e Currículo do Ensino Fundamental: Atuação em uma Escola Municipal do Projeto UCA. Revista Brasileira de Informática na Educação, v.23, n.3, 2015
- Alzahrani, M. (2017). Modification of recycled poly(ethylene terephthalate) for FDM 3D-printing applications, Tese de M.Sc, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2017.
- Borah, S. (2014) 3D printer filament length monitor. International Journal of Science, Technology and Society, v. 2, n. 5, p. 129-132, 2014.
- Brasil. Agência Nacional de Aviação Civil. (2023). Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. RBAC-E94. Emenda n.3. Brasília, 2023.
- Coelho, Y. R. F.; Coelho, A F.; Santos, M. S. (2020). A utilização de simuladores virtuais no ensino da robótica durante a pandemia. Mostra Nacional de Robótica - MNR 2020. Anais... Sorocaba: UNESP, 2020, 6 p.
- Curtis, W. (2006) Rapid prototyping: trully functional prototype – time-compression technologies. Moldes de Prototipado, Astúrias, v. 03, n. 04, p. 12, Mar./Apr. 2006.
- Gibson, I.; Rosen, D.W.; Stucker, B. (2010). Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. Springer, 2010
- Hunt, E. J.; Zhang, C.; Anzalone, N.; Pearce, J. M. (2015). Polymer recycling codes for distributed manufacturing with 3-D printers. Resources, Conservation and Recycling, v. 97, p. 24-30, 2015.
- Loss, A. L. P.; Benini, F. A. V. (2019). Análise de plataforma gratuitas de CADs orientadas à prototipagem. In: WORKSHOP DE INOVAÇÃO, PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO, 4. São Carlos, SP. Anais... São Carlos, SP: IFSP, 2019. p. 170-173.
- Munaretto, L. (2017). Vant e Drones - A aeronáutica ao alcance de todos. São Paulo: edição independente, 2017, segunda edição, 176p.
- SAE BRASIL. (2020). Fórmula Drone. Disponível em: <<http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/sae-brasil-helidesign>> Acesso: 20 de junho de 2020.
- Paraná, Secretaria de Estado da Educação. Superintendência da Educação Departamento de Políticas e Tecnologias Educacionais (2018). Impressora 3D: imaginar, planejar e materializar. 2018, 52p.
- Takagaki, L. K. (2012). Tecnologia de impressão 3D. Revista Inovação Tecnológica, São Paulo, v.2, n.2. p.2840. jul./dez.2012.
- Ventura, A. A. O.; Albuquerque, J. L.; Praça Gomes, K. R. F.; Nascimento, S. M.; Leite, E. F.; Alves, J. L.; Diniz, J. R. B.; França, S. V. A. (2022). Robótica educacional e



- utilização de drones na educação: um mapeamento sistemático da literatura. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 17, e251111739115, 2022.
- Volpato, N.; Munhoz, A. L. J.; Costa, C. A.; Ahrens, C. H.; Carvalho, J.; Santos, J. R. L.; Silva, J. V. L.; Foggiatto, J. A.; Lima, M. S. F. (2017). *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D*. Primeira Edição. São Paulo: Blucher, 2017. 400 p.
- Wang, X., Liu, W., Zhou, H., et al. (2013). Study on the effect of dispersion phase morphology on porous structure of poly (lactic acid)/poly (ethylene terephthalate glycol-modified) blending foams, *Polymer*, v. 54, n. 21, pp. 5839-5851, Oct. 2013.
- Watanabe, N. (2016). *Computational and Experimental Investigation of Reinforced Polymers for Material Extrusion Additive Manufacturing*. Georgia Institute of Technology, n. December, p. 1–125, 2016
- Wong, K. V.; Hernandez, A. A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, v. 2012, p. 1–10, 2012
- Yepes, I. (2021). *Uso de drones como Tecnologia pedagógica em disciplinas steam: um enfoque voltado ao aprendizado significativo com metodologias ativas*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos Interdisciplinares em Pós-Graduação em Informática na Educação. 2021, 240f.
- Yepes, I.; Barone, D. A. C. (2018) *Robótica Educativa: Proposta de uso de drones no apoio ao processo pedagógico em disciplinas STEM*. *Re*, v(9). 2018. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1478926>