

A Utilização do PjBL na Construção de um *Drone*

David Nery Henriques Knop* Mário Sérgio Dias de Souza*
 Pedro Paulo Surerus Sarmiento*
 Thiago Duque Saber de Lima* Thiago Ribeiro de Barros*
 Vinícius Teixeira de Freitas da Conceição*

* Programa de Educação Tutorial - Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, MG

E-mails: david.knop@engenharia.ufjf.br, sergio.dias@engenharia.ufjf.br,
 pedro.surerus@engenharia.ufjf.br, thiago.saber@engenharia.ufjf.br,
 thiago.barros2016@engenharia.ufjf.br,
 vinicius.teixeira@engenharia.ufjf.br.

Abstract: The engineering majors has been undergoing lots changes, especially related to the application of teaching and learning methodologies, according to the new National Curriculum Guidelines. In this context, PET Elétrica - UFJF develops a project on the construction of a drone using Project Based Learning (PjBL). This paper demonstrates the application of this methodology and its impacts on the development of a drone project.

Resumo: A formação em engenharia vem sofrendo mudanças, principalmente em relação a aplicação de metodologias de ensino e aprendizagem, conforme as novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN). Nesse contexto, o PET Elétrica - UFJF desenvolve um projeto sobre a construção de um *drone* utilizando o Aprendizado Baseado em Projetos (PjBL). Esse artigo trata da aplicação dessa metodologia e seus impactos no desenvolvimento desse projeto.

Keywords: PjBL; *drone*; Tutorial Education Program; Engineering; Active Learning; Quadcopter; VANT.

Palavras-chaves: PjBL; *drone*; Programa de Educação Tutorial; Engenharia; Metodologias Ativas; Quadricóptero; VANT.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de engenharia, por definição, se relaciona à aplicação econômica dos diferentes ramos do conhecimento científico a fim de se obter soluções para os diversos problemas técnicos presentes na sociedade (Pinto et al., 2012). A partir dessa definição, nota-se uma relação direta entre o desenvolvimento socioeconômico de um país e o seu investimento em áreas que tangem a engenharia (Costa, 2017). Essa relação é potencializada quando o setor educacional é o alvo desses investimentos, visto que ele representa a base do conhecimento e, conseqüentemente, o principal responsável pela formação do engenheiro.

Essa importância da esfera educacional, representada majoritariamente pelas universidades, põe à prova a eficiência dos mecanismos de ensino vigentes e promove a sua adaptação quando os mesmos não acompanham as mudanças sociais que ocorrem a todo momento e que modificam substancialmente o papel do engenheiro na sociedade. Perante a isso, nota-se uma grande importância em se discutir e avaliar os métodos educacionais aplicados atualmente, pois, em sua maioria, demonstram não estarem de acordo com as mudanças ocorridas no mercado de trabalho nos últimos anos.

Representando uma forma alternativa de ensino e que converge precisamente para as mudanças ocorridas no mercado de trabalho, as chamadas metodologias ativas de ensino apresentam grande destaque, visto que modificam o papel do aluno no processo educacional. Isso ocorre, pois, diferentemente das formas tradicionais de ensino, em que o aluno não passa de um receptor passivo de conhecimento que é provido pelo professor; nas metodologias ativas, o aluno atua ativamente na construção do seu próprio aprendizado (Gomes, 2015), algo que contribui com o desenvolvimento de competências socioemocionais, fundamentais para se obter sucesso no mercado de trabalho e que não são bem desenvolvidas pelo ensino tradicional.

A partir desse contexto, em 1979, foi criado o Programa de Educação Tutorial (PET). Atualmente, gerido pelo Ministério da Educação (MEC), o programa tem o intuito de fornecer infraestrutura adequada para a realização de atividades extracurriculares, a fim de promover a formação ampla e de qualidade dos graduandos envolvidos direta ou indiretamente com o programa, estimulando a fixação de valores que reforçam a cidadania, a consciência social e a melhoria dos cursos de graduação. Dessa forma, para criar e gerir os projetos do grupo, o PET busca atuar seguindo uma filosofia de educação tutorial, baseando-se na tríade universitária: pesquisa, ensino e extensão (MEC, 2006).

Sendo um grupo desse programa, o PET Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora (PET Elétrica UFJF) foi criado em 1991 procurando seguir a filosofia do programa, assim contribuindo na formação acadêmica, cidadã e estimulando o espírito crítico e criativo dos futuros engenheiros eletricitas. Com isso, para a realização das atividades do grupo, o PET Elétrica UFJF utiliza em seus projetos a metodologia Aprendizagem Baseada em Projetos (PjBL - *Project Based Learning*). Sendo uma estratégia de aprendizagem ativa, ela estimula a formação de engenheiros capacitados para a atual realidade do mercado profissional, que demanda de seus profissionais um conhecimento abrangente e constantemente atualizado. Se aproveitando dessa característica, o grupo iniciou um projeto com a intenção de adquirir conhecimentos e experiências referentes à construção e programação de *drones*, uma tecnologia em ascensão no mercado.

Os VANTs (veículos aéreos não tripulados) — ou *drones*, como são popularmente conhecidos — são sistemas autônomos ou controlados remotamente. A história do surgimento do *drone* é sujeita a diferentes interpretações, podendo datar aos balões austríacos, utilizados para bombardear a cidade italiana de Veneza em 1849 (Nardini, 2016) ou em usos militares durante a Primeira Guerra Mundial. Porém somente após determinações feitas pela *Federal Aviation Administration* (FAA) — órgão dos Estados Unidos das Américas responsável pela regulamentação da aviação civil do país (Dormehl, 2018) — é que foi possível o surgimento dos *drones* da maneira como são conhecidos atualmente, sendo utilizados nas mais diversas áreas, como no campo comercial e nas pesquisas científicas. Diante de todas essas possibilidades, o grupo PET Elétrica da UFJF iniciou, em 2016, o projeto de criação de um *drone*. Neste artigo será abordada a utilização do PjBL e a sua relevância no desenvolvimento desse projeto.

Este artigo foi estruturado de forma com que a seção 2 apresenta a metodologia PjBL, a seção 3 demonstra os componentes, a mecânica e o processo de criação do quadricóptero, a seção 4 demonstra os resultados obtidos pelo o projeto e a conclusão.

2. O APRENDIZADO BASEADO EM PROJETOS

A engenharia é diretamente ligada ao desenvolvimento socioeconômico do país. Sempre que há crescimento econômico, há aumento da demanda de investimento na qualificação de engenheiros com o perfil adequado. Isso se dá ao fato de que o engenheiro é elemento chave na transformação do ambiente, através do desenvolvimento de tecnologias em todos os eixos. Segundo Longo et al. (2000), o profissional de engenharia deve ser capacitado para gerar, aperfeiçoar, dominar e empregar tecnologias com o objetivo de produzir bens e serviços que atendam, oportunamente, às necessidades da sociedade.

O perfil profissional do engenheiro é atualmente moldado pela necessidade do conhecimento em diversas áreas. O volume de informações que os engenheiros, coletivamente, necessitam conhecer, cresce a taxas superiores à capacidade de sua incorporação nos currículos (Gomes, 2015). Logo, para que o graduando possa ter sua formação adequada ao perfil em questão, entram em cheque os moldes educacionais empregados.

A efetividade da educação discursiva, tradicional, centrada no professor para equipar os estudantes com conhecimento factual e competência para solução de problemas é ponto controverso na literatura, mas não pairam dúvidas que ela é comprovadamente inadequada para desenvolver atributos como valores éticos, capacidade de comunicação, gerenciamento de conflitos, trabalho em equipe, capacidade de avaliação e de autoavaliação e percepção dos impactos sociais, culturais e ambientais do trabalho profissional (Gomes, 2015). Sendo assim, como alternativas ao método expositivo tradicional, são recomendadas as metodologias ativas de ensino/aprendizagem, conforme é explicitado no Capítulo V da resolução nº 2, de 24 de abril de 2019, a qual institui as novas DCNs do Curso de Graduação em Engenharia. Dentre as diversas metodologias presentes nesse cenário, destaca-se no contexto do PET a de aprendizagem baseada em projetos.

O PjBL tem como característica inserir os envolvidos em um ambiente realístico quanto ao desenvolvimento de um projeto, englobando necessidades técnicas a serem estudadas e implementadas, além de questões comunicativas e gerenciais que serão individualmente aprimoradas conforme as necessidades do trabalho em curso. Sendo assim, essa metodologia é constantemente aplicada às circunstâncias criadas dentro dos projetos do PET.

A aplicação do PjBL em projetos baseia-se na condução dos “Sete Passos” (Lorenzoni, 2016), que fundamentam as dinâmicas de inserção da metodologia. Podem-se definir os passos básicos como:

- (1) Motivação;
- (2) Definição do projeto;
- (3) Pesquisa e conteúdo;
- (4) Desenvolvimento do projeto;
- (5) Reflexão e *feedback*;
- (6) Sintetizar resultados;
- (7) Avaliação e/ou autoavaliação do aprendizado.

É importante destacar que os passos não possuem uma ordem engessada de aplicação, pois estão todos correlacionados e compõe um método dinâmico, ou seja, ajustável a cada projeto e assim exalta-se a flexibilidade da metodologia.

Essa adaptabilidade pode ser observada ao considerarmos a realidade do PET Elétrica. Pode-se definir que projetos são, no contexto do grupo, atividades baseadas na tríade — ensino, pesquisa e extensão — tais que compreendam a elaboração de tarefas individuais e/ou coletivas, seguindo um cronograma/planejamento para cumprir com os objetivos traçados, conforme visão do tema abordado. É importante ressaltar, novamente, que as atividades são plenamente desenvolvidas pelos petianos (membros do PET), responsáveis desde o planejamento à execução, cabendo a participação do tutor do grupo PET, de docentes e/ou terceiros ao grupo de forma a auxiliar os projetos propostos.

Observa-se que, sobre os envolvidos, a aplicação dessas metodologias resulta em uma construção progressiva dos conhecimentos diversos que são necessários para o desenvolvimento do projeto, abordando questões técnicas e socioemocionais. Tais abordagens são sempre iniciadas e resolvidas pelos alunos envolvidos, sendo eles então os

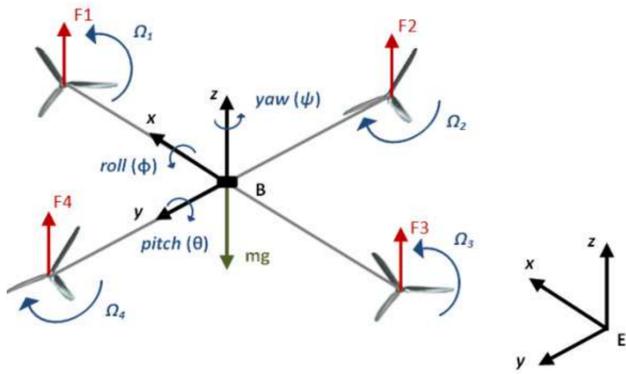


Figura 1. Diagrama de corpo livre de um quadricóptero. vetores de seu próprio conhecimento, o que justifica o uso do termo “ativo” na nomenclatura da metodologia.

É fato que, de forma crescente, os graduados de hoje serão cada vez menos solicitados a solucionarem problemas técnicos associados aos elementos básicos dos conteúdos curriculares, como ocorria há algumas décadas (Gomes, 2015). Com isso, o PET Elétrica baseia-se nessa premissa e aplica as metodologias ativas de ensino/aprendizagem em suas atividades, principalmente o PjBL, com o qual se incorpora a outras metodologias, conforme demanda dos projetos.

3. O PROJETO DESENVOLVIDO

3.1 O projeto

Em 2016, o grupo PET Elétrica da UFJF iniciou o projeto de construção de um *drone* quadrotor. Inicialmente, o projeto tinha como objetivo, utilizando processamento de imagem, que o *drone* seguisse uma rota ou um objeto previamente estabelecido (Gomes et al., 2016). Em 2017, devido o egresso de todos os participantes e da falta de ingresso de novos membros, o projeto foi interrompido, sendo retomado somente em 2018 por uma nova equipe e com propósitos diferentes. Apesar dos membros anteriores terem atingido o seu objetivo inicial, esse êxito não foi repassado para o novo grupo, uma vez que o próprio *drone* já não se encontrava totalmente construído, peças e componentes haviam sido perdidos e havia escassez de documentação acerca da construção e funcionamento do quadricóptero. Desse modo, a nova equipe retomou o projeto com o propósito de realizar filmagens aéreas e analisar a qualidade do ar, principalmente quanto a presença de monóxido de carbono. Essas atividades estão relacionadas na seção 3.3.

3.2 Aspectos técnicos de um quadricóptero

Um VANT do tipo quadricóptero é um veículo que possui quatro motores em suas extremidades. A construção utilizada no projeto é uma formação quadrangular, com cada motor em um dos vértices, todos igualmente distantes do centro de massa do veículo (Bouabdallah (2007); Luukkonen (2011)), como pode ser visto no modelo da Figura 1.

Nesse modelo, são representados os quatro motores, seus respectivos sentidos de rotação — representado por Ω_n —



Figura 2. Comparação entre os dois tipos de hélices.

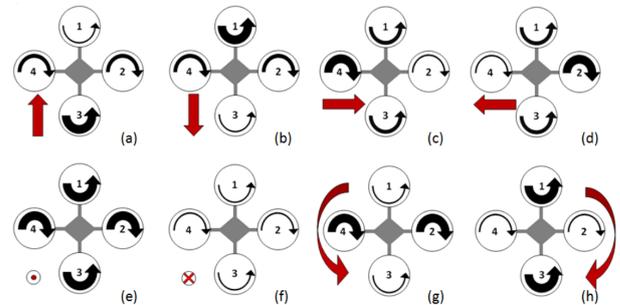


Figura 3. Relação do controle de velocidade de cada motor para o movimento. Visão superior do *drone*.

e a força empuxo gerada pela rotação do motor — representado por F_n . Nota-se que motores em posições opostas apresentam o mesmo sentido de rotação, enquanto que motores adjacentes apresentam sentidos opostos. Assim, os torques de reação no *drone* devido a rotação das hélices são anulados, não havendo a necessidade da presença de uma cauda com um motor (Bouabdallah, 2007), comum em veículos como os helicópteros. Para todos os motores produzirem força no sentido indicado na Figura 1 mesmo com sentidos de rotação invertidos, as hélices são construídas de modo inverso, como pode ser observado na Figura 2, fazendo como que o ar sempre seja empurrado em direção ao solo, gerando sobre o *drone* uma força de empuxo no sentido de tirá-lo do chão.

O movimento e o controle do *drone* é dado pela variação da velocidade de rotação de cada motor (Luukkonen, 2011). Sobre a estrutura do quadricóptero, é realizada uma força correspondente à soma vetorial das forças produzidas por cada um dos motores. Assim, caso essas forças sejam iguais e a força resultante seja igual ao peso do *drone*, o corpo estará em inércia, pairando no ar. Aumentando igualmente a velocidade de cada motor, a força resultante será maior do que o peso do *drone*, ocasionando um aumento de altitude (situação (e) da Figura 3). De forma contrária, diminuindo as velocidades dos motores, a força resultante será menor e assim, a altitude do *drone* irá diminuir (situação (f) da Figura 3). De forma semelhante, todos os outros movimentos, tanto de translação, quanto de rotação, são produzidos a partir do controle individual de cada motor. Tais movimentos podem ser observados na Figura 3, bem como o nível de rotação referente a cada motor para produzir seu respectivo movimento. Uma seta de grossura média indica o motor um velocidade de referência. As setas mais grossas indicam aumento dessa velocidade e as mais finas indicam a sua diminuição. As setas vermelhas indicam o sentido da direção e da rotação do movimento do *drone*.

De forma geral, a operação básica de um quadrotor se simplifica no controle de velocidade de cada motor. Entre-

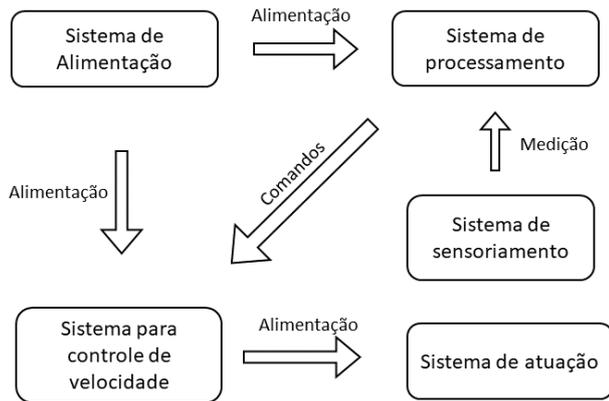


Figura 4. Sistema básicos para o funcionamento do quadricóptero.

tanto, para que isso seja possível, é necessário vários outros sistemas que irão atuar junto a esses atuadores, como pode ser visto na Figura 4, de modo a permitir um voo estável e controlado do veículo. Além dos sistemas de atuação - os motores - como já citados anteriormente, também estão presentes:

- (1) Sistema de alimentação: responsável por disponibilizar energia para o funcionamento dos outros sistemas.
- (2) Sistema de sensoriamento: obtém informações referentes ao voo e os transmite para o sistema de processamento.
- (3) Sistema de processamento: interpreta os dados dos sensores com o objetivo de calcular a velocidade adequada de cada motor para o funcionamento do sistema.
- (4) Sistema para controle de velocidade: a partir de comandos gerados no processador, controla a velocidade de cada motor.

Tendo em vista uma aplicação real, produzir exatamente o mesmo empuxo nos quatro motores é infactível, fato muito comum em todos os problemas de engenharia. Assim, é preciso usar técnicas de teoria de controle para que o funcionamento do *drone* seja realizável na prática. Para isso, são utilizados sistemas de controle de malha fechada a fim de tornar possível a estabilidade do *drone* em torno de sua posição ideal: paralelo ao solo. Com isso, estão presentes sensores como acelerômetro e giroscópio que irão identificar a posição relativa do *drone* em relação ao solo, possibilitando o controle dessa variável. De modo análogo, para controlar sua localização geográfica (variável 'r' da Figura 5) e altitude, sistemas como esse, visto na Figura 5, também são utilizados, a partir sensores de Global Positioning System (GPS) e ultrassônico.

Haja visto todos esses controles, para movimentar o *drone*, é preciso sintonizar os controladores, modelar o sistema e ajustar a sua referência. Um *drone*, normalmente, pode ser controlado por meio de duas formas: a partir de um rádio controle e um piloto, que fará sua teleoperação; ou de forma autônoma. Durante a teleoperação, o voo do *drone* é integralmente controlado pelo piloto e o rádio é o dispositivo de comunicação entre ele e o veículo. Em um voo autônomo, o *drone* irá realizar uma trajetória

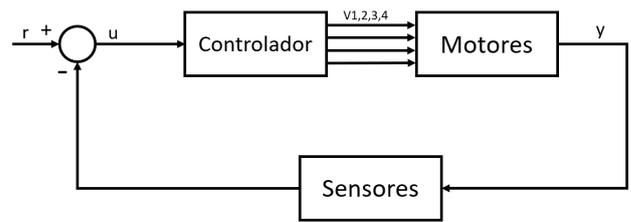


Figura 5. Sistema de controle em malha fechada.

previamente estabelecida, sem interferência externa de humanos.

Foram descritas as operações básicas que possibilitam o voo de um *drone*. Entretanto, vale ressaltar, que cada VANT apresenta uma aplicação específica, e dessa forma, o seu sistema deve se adequar de modo a torná-lo eficaz em sua respectiva utilização. Da mesma forma como acontece com um manipulador robótico, em que sua aplicação irá interferir no tipo de *end effector* presente no final de seu braço, em *drones*, diferentes tipos de componentes como câmeras, sensores e atuadores podem ser instalados dependendo do fim a que se quer oferecer ao produto.

3.3 Projeto do drone

Para o modelo final construído pelo grupo, foram utilizados os seguintes materiais e componentes:

- (1) 1 Arduino Pilot Mega (APM)
- (2) 4 Motores EMAX 935kv e 4 hélices 1045
- (3) 1 Bateria Hacker 11,1 V
- (4) 4 Eletronic Speed Control (ESCs)
- (5) 1 Sensor de Global Positioning System (GPS), 1 acelerômetro e 1 giroscópio
- (6) Rádio Controle e Receptor
- (7) Power Module (PM)
- (8) Telemetria
- (9) Power Distribution Board (PDB)

Além desses componentes, também foram utilizados fios condutores e jumpers para realizar as ligações eletrônicas entre os componentes. Na parte estrutural do projeto, foram utilizados peças feitas em Impressora 3D, tubos de fibra de carbono, abraçadeiras de nylon, parafusos, porcas, colas e fitas de velcro.

A bateria, citada no item (3), foi utilizada como fonte de alimentação para todos os componentes eletroeletrônicos presentes no *drone*, pois por ser um veículo de alta mobilidade e grandes deslocamentos, ele precisa ter uma alimentação própria. Para o sistema de processamento, foi utilizada a APM que atua como controladora de voo do quadricóptero, realizando todos os processos citados na seção anterior. Para o controle de velocidade dos motores, são utilizados os ESCs, que permitem a conversão da corrente CC da bateria em correntes trifásicas equilibrada de frequência variável, que são aplicadas nos motores e por eles serem motores trifásicos síncrono *brushless*, a variação da frequência das ondas de saída dos ESCs irão controlar a velocidade de rotação dos motores. Essa variação é calculada a partir de comandos vindos da APM que interpreta os valores obtidos pelos sensores responsáveis pelo voo, sendo eles o GPS, o acelerômetro e o giroscópio.



Figura 6. Foto do primeiro *drone* montado.

A PDB realiza distribuição de energia da bateria para os quatro ESCs de forma adequada, minimizando perdas e permitindo o acesso de outros níveis de tensão, devido a presença de um regulador de tensão. A telemetria e o PM serão tratados mais a frente.

3.4 O desenvolvimento do projeto

Com o início do projeto, a equipe começou a se reunir para discutir o planejamento. Como todos os participantes naquele momento nunca haviam trabalhado com veículos autônomos aéreos, a equipe, inicialmente, se mostrava inexperiente no assunto. Assim, para dar início de fato, foi necessário que o grupo estudasse e procurasse informações através de vídeos, artigos e tutoriais na *internet*. Dessa forma, a equipe começou a construir conhecimentos referentes ao funcionamento básico e a montagem do *drone*, entendendo melhor seus processos.

Assim, após estudos iniciais e tendo em vista os objetivos definidos para o projeto, foi realizado um planejamento para o prosseguimento das atividades. De forma geral, foram definidas duas etapas principais. A primeira seria realizar e construir um *drone* capaz de voar de forma estável e segura, mesmo que teleoperado. A segunda etapa consiste em tornar esse *drone* totalmente autônomo de forma que ele consiga realizar trajetórias previamente definidas. A escolha desse formato separado de etapas permitiu-se dividir o problema inicial em dois problemas mais simples, em que primeiro seria a base do projeto e a partir do seu resultado, seriam realizadas implementações no *drone*, como a automação do seu voo. A presente seção se trata de como foi realizada essa primeira etapa, seu desenvolvimento e seus resultados.

Dessa forma, o projeto prosseguiu e, primeiramente, a equipe se propôs a remontar o *drone* antigo. Apesar da dificuldade devido a falta de documentação e ausência de peças essenciais, as atividades realizadas, junto com a compra de novos componentes, viabilizaram a reconstrução da aeronave remotamente pilotada (ARP), apresentado na Figura 6, propiciando assim o início dos testes de voo.

Com a realização desses testes, foram constatados e analisados vários problemas de estabilidade, de confiabilidade da estrutura e de segurança do voo, resultando em quedas que levaram a diversas avarias das peças. Com isso, o grupo decidiu remodelar a estrutura e melhorar suas configurações de voo. A partir disso, os participantes do

projeto se dividiram em duas equipes que iriam focar em um desses conteúdos específicos acerca do *drone*. Para realizar essas melhorias, foram necessários novos estudos e pesquisas, a fim de se obter conhecimentos necessários para o desenvolvimento das atividades.

Em relação à estrutura, novas implementações foram realizadas. No centro do *drone*, havia uma grande quantidade de fios condutores que eram responsáveis por ligar a bateria aos ESCs e, devido ao tamanho inadequado, aumentavam a massa total do veículo. Sendo assim, foram redimensionados, o que reduziu a massa do *drone* em cerca de 150g. Junto aos fios, localizavam-se, também, os ESCs. Para aproveitar melhor a estrutura do *drone*, esses foram posicionados nos braços, otimizando o espaço, a distribuição da massa e dos componentes do veículo. Houve mudanças também nos trens de pouso (utilizado como apoio e sustentação do *drone* em uma superfície). Na implementação antiga, o mesmo era constituído de hastes tubulares de fibra de carbono e um conjunto de peças plásticas. Logo, com o intuito de diminuir os custos, principalmente quanto à fibra de carbono, além de corrigir erros estruturais do trem de pouso, foi desenvolvido um novo através de impressão 3D. Pode-se dizer que a existência de um projeto de estudo e desenvolvimento de impressoras 3D no PET viabilizou novas implementações realizadas pelo grupo, evidenciadas pelo estreitamento das atividades de ambos projetos e pelo uso de peças impressas ao longo da construção do *drone*.

No quesito de melhorias em componentes eletrônicos, além da compra de equipamentos novos e atualizados, com uma equipe mais experiente, foi possível configurar melhor os parâmetros do *drone* dentro do sistema da APM. Além disso, houve a inserção de novos equipamentos que permitiram a melhoria da segurança. Dentre eles, pode-se citar o *Power Module*, que sua inserção permitiu que a corrente de saída da bateria fosse medida, possibilitando mensurar o nível de carga da bateria durante o voo. Com essa informação, é possível criar rotinas que irão atuar quando o nível de bateria atingir um valor limite estabelecido. Uma possível rotina é a aterrissagem automática caso a bateria atinja níveis críticos, situação na qual o fornecimento de energia ao sistema permaneceria ativo por pouco tempo, o que resultaria em queda eminente. Outra nova tecnologia que foi implementada é a telemetria, um sistema de comunicação sem fio que permite a troca de informações do *drone* com uma estação. Essas informações podem variar de posição geográfica do *drone* até comandos enviados a partir da estação durante o voo. Esse componente será importante para as próximas etapas do projeto, quando se espera implementar um voo totalmente autônomo.

Nas figuras 7 e 8 é possível ver alguns dos vários modelos realizados pela equipe ao longo de todo o projeto. Diante de todas essas tentativas, pode-se ressaltar o grande conhecimento adquirido pelos participantes do projeto nas tentativas, sendo elas bem ou mal sucedidas. Na Figura 8 está representado o estado final do projeto, em que houve mais algumas mudanças estruturais, otimizando ainda mais o espaço e a estrutura.



Figura 7. Foto de um modelo intermediário.



Figura 8. Foto do modelo final do drone.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A aplicação do PjBL no projeto agregou resultados positivos em relação ao desenvolvimento das competências socioemocionais de seus participantes, assim como ao domínio de conteúdos técnicos referentes à construção de *drones*. Como citado anteriormente, apesar de, no início do projeto, nenhum membro possuir qualquer conhecimento prévio sobre a construção desses veículos e, somando-se o fato de que o projeto foi reedificado, a metodologia adotada trouxe resultados positivos aos membros, como consta numa pesquisa realizada internamente entre nove participantes do projeto. Essa pesquisa, evidenciada na Figura 9, teve o objetivo de fazer uma autoavaliação do desenvolvimento das competências socioemocionais durante a participação no projeto, em uma escala em que 5 representa uma evolução excelente e 1 uma baixa evolução. Todos aspectos avaliados obtiveram médias altas, fato justificado pelo contexto das atividades, que necessitava de um grupo bem estruturado, responsável, unido, comunicativo e criativo, para que toda a parte técnica pudesse ser aprendida e efetuada de forma igual e eficiente.

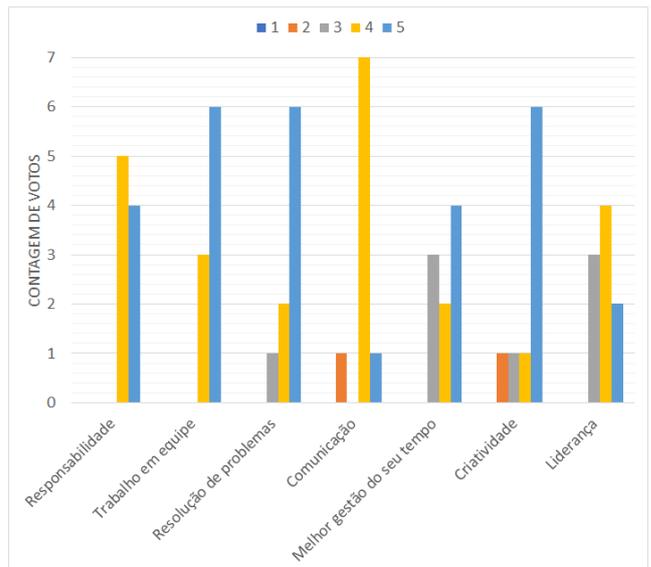


Figura 9. Resultado da pesquisa feita entre os participantes do projeto.

A evolução demonstrada no projeto quanto a sua performance e quanto ao seu rendimento foi evidenciada ao se comparar o resultado final com veículo construído antes das reformulações. As melhorias realizadas no *drone* ao longo do projeto, citadas no artigo, resultaram em um diminuição de cerca de 230g da massa do primeiro modelo para o final e assim, garantindo uma maior estabilidade, confiabilidade e manobrabilidade do VANT. A Figura 10 demonstra uma melhoria em um importante parâmetro para veículos aéreos: a autonomia da bateria. Pode-se observar um aumento de 21,9% no tempo de voo, uma evolução considerável e consequência das modificações realizadas. As simulações foram realizadas no software E-calc (Müller, 2019), apresentado na Figura 11. O E-calc é um software para simulação, cálculo e avaliação de VANTs. Através de parâmetros como massa, tensão da bateria, tipos de ESC utilizados, entre outros, faz o levantamento de dados do veículo.

O primeiro voo do *drone* performado era instável e com uma decolagem desnivelada, apresentando um risco eminente de acidente. Em comparação, os seguintes foram otimizados e, apesar dos acidentes quanto à estrutura, seu controle e pilotagem (sempre dentro da operação *Visual Line-of-Sight* (VLOS), quando o piloto não utiliza qualquer tipo de equipamento de auxílio visual para operar o *drone* durante todo o voo), de forma geral, ocorreram de forma segura. Não foram documentadas qualquer perda de alto valor quanto aos incidentes registrados, mostrando que o processo de fabricação das peças, a montagem e a disposição delas garantiram certo grau de resistência ao veículo. Se ainda compararmos ao modelo anterior, a partir dos acidentes documentados pelos antigos membros e outros relatos, observamos a eficácia relativa a reestruturação do *drone*.

Como continuidade do projeto, são previstas ações para realizar a segunda etapa. Com isso, para cumprir o objetivo final do projeto, planeja-se a implementação de uma câmera e de um sensor capaz de mensurar a presença de gases poluentes no ar, como o monóxido de carbono.



Simulação da primeira configuração:



Simulação da configuração atual:



Figura 10. Melhoria nos parâmetros do drone.



Figura 11. Resultado da pesquisa feita entre os participantes do projeto.

Para viabilizar essas aplicações em contextos reais, o voo autônomo se torna imprescindível para a escalabilidade das tarefas, pois torna o a movimentação mais precisa, exata, confiável e segura.

Além dos conhecimentos técnicos adquiridos pelos participantes, providos de todo estudo e pesquisa realizada, este projeto também foi de suma importância para o desenvolvimento da comunicação e da liderança, habilidades muito importantes na formação do engenheiro. Isso pôde ser evidenciado na estreita relação que o projeto apresentou com outro presente no PET Elétrica, a impressora 3D, pois, para se construir as peças, da forma como mencionado anteriormente, foi necessária a comunicação, a colaboração e o entendimento entre as duas equipes. Além disso, por ter sido um trabalho inteiramente em grupo, o projeto do drone também contribuiu no desenvolvimento de outras habilidades socioemocionais, como a organização, o planejamento de atividades e a distribuição de tarefas, competências que englobam o trabalho em equipe. Um VANT, como objeto de estudo, auxilia, também, na graduação através do aprendizado de atividades acadêmicas do curso de engenharia elétrica, tais como: acionamento de motores elétricos trifásicos, fundamentos de resistência dos mate-

riais, acionamento de inversores, sintonia de parâmetros PID e conhecimentos e aplicações de eletrônica digital.

Observando a dinâmica do projeto como um todo, desde sua idealização a sua concepção final, nota-se que o PjBL foi uma estratégia de ensino/aprendizagem corretamente adotada. Os setes passos são visíveis durante todo o desenvolvimento. O passo (1) pode ser identificado nas ações iniciais da equipe, quando o grupo se mostrava bastante interessado em *drones* e suas aplicações, fato motivacional para o início das atividades. A partir do que foi deixado do projeto descontinuado, viu-se uma possibilidade de aprofundar esses conhecimentos com um problema prático. Para prosseguir, os membros, como relatado, iniciaram pesquisas relacionadas ao tema e assim, foram feitas ações de nivelamento de conhecimento para que todos pudessem trabalhar de forma conjunta e colaborativa. Então, o planejamento foi sendo definido de forma gradual, de acordo com o conhecimento que foi sendo obtido. Pode-se dizer que os passos (2) e (3) se desenvolveram ao mesmo tempo. Os passos (4) e (5) podem ser observados durante toda seção 3.4, a qual relata o desenvolvimento das atividades sempre relacionado a reflexões acerca do mesmo, o que permitiu as diversas mudanças e etapas do projeto em si. O passo (6) pode ser visto nos resultados e conclusões obtidos pelo grupo nas análises técnicas de desempenho do veículo e o passo (7) é relatado na pesquisa de avaliação mostrada na figura 9.

Portanto, é evidente a importância da utilização de metodologias ativas, como o PjBL, em projetos como esse na graduação para preencher lacunas de conhecimentos, tanto técnicos quanto interpessoais, para o desenvolvimento pleno de um engenheiro.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial (PET/MEC) e à Faculdade de Engenharia da UFJF.

REFERÊNCIAS

Bouabdallah, S. (2007). Design and control of quadrotors with application to autonomous flying. doi:10.5075/epfl-thesis-3727.

Costa, B. (2017). A qualidade da educação em engenharia e seus impactos no desenvolvimento econômico brasileiro. *Tecnologia e Sociedade*, 13. doi:10.3895/rt.v13n28.3852.

Dormehl, L. (2018). The history of drones in 10 milestones. URL <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-drones/>.

Gomes, F. (2015). Reflexões sobre a prática tutorial na educação em engenharia.

Gomes, F., de Oliveira, A., de Oliveira, D., and de Souza, M. (2016). Utilização do pjbl na educação em engenharia: Projeto e construção de um drone. *Anais: XLIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Natal RN., 2016*.

Longo, W., Neto, R., and Telles, M. (2000). "reengineering"engineering research and education in brazil: cooperative networks and coalitions. *Science and Public Policy*, 1, 37-44.

- Lorenzoni, M. (2016). Aprendizagem baseada em projetos (pbl) em 7 passos. URL <https://www.geekie.com.br/blog/aprendizagem-baseada-em-projetos/>.
- Luukkonen, T. (2011). Modelling and control of quadcopter. *Independent research project in applied mathematics*.
- MEC (2006). Manual de orientações básicas. URL <http://portal.mec.gov.br/pet/232-programas-e-acoes-1921564125/pet-programa-de-educacao-tutorial-645721518/12228-manual-de-orientacoes-pet>.
- Müller, M. (2019). Reliable electric drive dimulations. URL <https://www.ecalc.ch/>.
- Nardini, E. (2016). Da guerra à paz, uma incursão pelo mundo dos drones. URL <http://comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&educacao=124&id=1503>.
- Pinto, D., Gomes, F., Farage, M., and de S. Bastos, F. (2012). Eficiência energética nas escolas: gerenciando grupos multidisciplinares usando pjabl. *Anais: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Belém PA., 2012*.