

APRIMORAMENTO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO PARA O LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO E CONTROLE DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO.

Elyabner Costa Dantas da Silva¹
Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale²

RESUMO

Este artigo aborda o aprimoramento de um protótipo de baixo custo para o laboratório de automação e controle da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Esse protótipo possui uma estrutura que mede ângulos de inclinação e foi desenvolvido com a integração de conceitos físicos, mecânicos e eletrônicos. A estrutura antiga, feita de madeira, apresentava problemas de instabilidade e precisão, levando à necessidade de melhorias. Optou-se por utilizar Metalon® para a nova estrutura, visando durabilidade e resistência. Foram realizadas adaptações, como a inclusão de mais batedores e diversos contrapesos. Componentes eletrônicos, como servomotor, ESC (*Electronic Speed Controller*), acelerômetro e Arduino®, foram integrados para controle e aquisição de dados. Os resultados demonstraram uma melhoria significativa no desempenho do protótipo, proporcionando uma base sólida para futuras pesquisas e aplicações práticas na área de controle e automação. O protótipo estará disponível no Laboratório de Automação e Controle do curso de Engenharia Elétrica da UFERSA e ficará apto a receber futuras melhorias, seja no material da sua estrutura ou modificações na parte eletrônica dos seus componentes.

Palavras-chave: Controle e Automação, Melhoria de Protótipo, Componentes Eletrônicos, Arduino®, Acelerômetro.

1 INTRODUÇÃO

Com o intuito de contribuir com o laboratório de automação e controle do curso de engenharia elétrica da UFERSA, mais especificamente no desenvolvimento de bancadas de testes para experimentos na área supracitada, esse estudo vai deter-se em trazer o aprimoramento de uma bancada de baixo custo.

Hoje, os estudantes enfrentam o desafio de aplicar os conceitos aprendidos em sala de aula nas disciplinas de Automação e Controle, sendo que contam com a complicação adicional da falta de recurso financeiro para a aquisição de processos apropriados, além de terem à disposição equipamentos notavelmente desgastados, muitos dos quais encontram-se no fim de seu ciclo de vida útil. Essa conjuntura impõe uma demanda adicional aos alunos, exigindo não apenas a aplicação teórica do conhecimento adquirido, mas também a habilidade de superar limitações práticas, promovendo assim uma experiência mais desafiadora e enriquecedora para o desenvolvimento de suas habilidades técnicas.

¹ Aluno regularmente matriculado no curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, e-mail: eliabner2014@gmail.com

² Professor, Doutor – Departamento de engenharia e tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, e-mail: marceloguerra@ufersa.edu.br

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O sistema de controle de ângulo, conforme a Figura 1, possui uma estrutura artesanal e baixo custo que possibilita simular ângulos de ataque de drones em uma das três dimensões. A estrutura conta com os seguintes equipamentos: Na extremidade esquerda do eixo, está localizado um servomotor com hélice e um ESC, e na outra extremidade do aparato encontra-se o contrapeso do sistema. No protótipo, ainda há um acelerômetro que mede angulação de ataque e um Arduino® usado para aquisição de dados e controle. Para alimentar o circuito, é utilizada uma fonte digital em corrente contínua.

Figura 1 – Protótipo do laboratório de Controle e Automação, UFERSA.



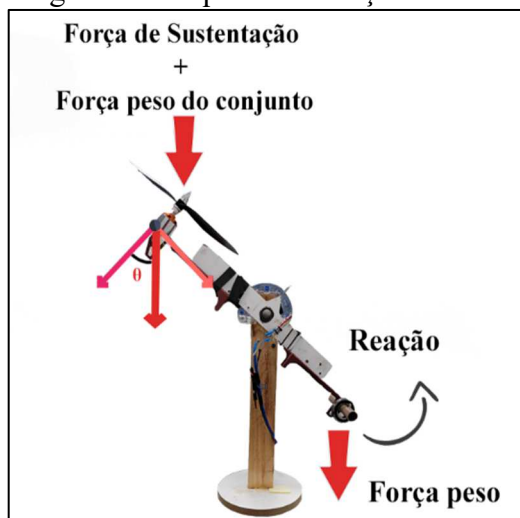
Fonte: Autoria própria (2023).

No que se refere às ações e reações mecânicas do sistema, o princípio da alavanca, junto com o equilíbrio de forças, rege os princípios físicos da estrutura. A força de sustentação ou empuxo, exercida pelas hélices, somada ao peso do conjunto do lado esquerdo, gera um torque no sistema móvel. De forma contrária, na outra extremidade, também é aplicado um momento, pois existe um contrapeso gerando torque no lado direito do eixo do protótipo.

Esse contrapeso serve principalmente para fornecer resistência ao movimento do sistema e ajudar a mantê-lo equilibrado. Devido ele estar em uma extremidade, há um contrabalanço com peso o lado oposto, onde está o servomotor e os outros componentes. Isso ajuda a garantir que o sistema possa ser ajustado com precisão e mantenha uma posição estável.

É importante destacar que, como o raio do braço de alavanca de ambos os lados têm tamanhos semelhantes, para que o sistema fique estático, o momento do lado direito deve ser igual ao esquerdo. Dessa forma, por exemplo, para que o operador visualize 135° no medidor de ângulo e ateste que o sistema está estático, após a decomposição dos vetores do diagrama de forças atuantes, a força de empuxo sobre a hélice, somada à força peso do conjunto servomotor + hélice + ESC, deve ser igual à força peso exercida no lado direito do protótipo. Logo, para que a extremidade direita possa sofrer uma força resultante maior ou menor e assim variar a angulação, conforme o servomotor rotaciona as hélices, o fluxo de ar pode aumentar ou diminuir de velocidade, causando, assim, um aumento ou diminuição da força de empuxo. Ver o esquema representado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema de forças atuantes



Fonte: Autoria própria (2024).

Dessa maneira, para que o sistema atenda às demandas propostas, o Arduino® recebe a referência do operador para a angulação desejada e comunica-se com o ESC. Este, por sua vez, controla a velocidade de rotação das hélices, atendendo assim à angulação medida pelos princípios eletrônicos do acelerômetro.

2.1 Princípio de funcionamento dos componentes da bancada

As seções seguintes irão tratar dos princípios físicos e eletrônicos para o funcionamento do protótipo.

2.1.1 Servomotor

Servomotor é um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica. Ele é composto por uma seção estacionária e uma seção rotativa, ambas armazenando e convertendo diferentes formas de energia. Enquanto a seção estacionária é alimentada por corrente e tensão elétrica, a seção rotativa adquire energia cinética. Essa transformação é expressa em termos de torque, que representa a força de rotação, e velocidade, que indica a rapidez do movimento [1].

Atualmente, os servomotores são classificados como motores especiais, conhecidos pela precisão e versatilidade em diversas áreas, tais como: sistemas de posicionamento, robótica industrial, linhas de transporte, máquina-ferramenta a comando manual e sistemas flexíveis de manufatura. Eles se destacam pela sua alta dinâmica, garantindo funcionamento em várias velocidades com binário constante, que é a força rotacional exercida sobre um eixo, além de um controle mais preciso. Também oferecem uma precisão na velocidade e na posição do rotor devido aos seus dispositivos de controle avançados [7].

O modelo utilizado neste trabalho é o Motor Turnigy Brushless D2836/8 1100kv completo, exemplificado na Figura 3. As especificações e dados técnicos estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações do Motor Brushless D2836/8 1100kv

Bateria	de 2 a 4 células / 7,4 ~14.8 V
RPM	1100
Corrente máxima	18 A
Corrente sem carga	1:00 AM
Potência máxima	336 W
Resistência interna	0,107 ohm
Peso:	70 g incluindo conectores
diâmetro do eixo	4 milímetros
Dimensões	28x36 m
Hélice recomendada	7.4.11x7 14.85V/7x3
Empuxo máximo	1130 g

Fonte: Hobby King (2024).

Figura 3 – Servomotor D2836/8



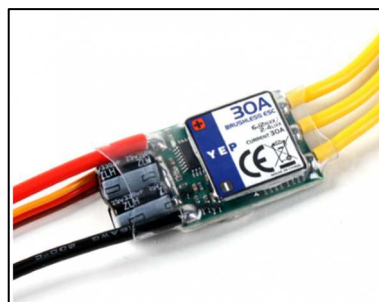
Fonte: Hobby King (2024).

Como este motor não possui escovas, ele oferece vantagens em comparação com os motores escovados, tais como: menor consumo de energia, maior vida útil e redução de interferências eletromagnéticas, que podem resultar em ruídos no sistema eletrônico do equipamento [10].

2.1.2 Electronic Speed Controller (ESC)

Para alcançar o mesmo nível de controle que os motores com escovas, os motores *brushless* exigem um circuito integrado complexo e, conseqüentemente, mais caro, conhecido como controlador eletrônico de velocidade. Esses ESCs regulam a velocidade do motor através de circuitos que recebem comandos do controlador e fornecem a carga elétrica necessária para os motores [10]. O ESC usado no protótipo é o modelo YEP 30A (2~4S) SBEC *Brushless Speed Controller*, ver Figura 4 e a Tabela 2 com as especificações.

Figura 4 – YEP 30A (2~4S) SBEC *Brushless Speed Controller*



Fonte: Hobby King (2024).

Tabela 2 – Especificações do YEP 30A (2~4S) SBEC *Brushless Speed Controller*

Corrente máxima	30 A
Corrente máxima de explosão	35 A por 10 segundos
Tensão de entrada	2 baterias de 4 células Li-XX ou Ni-MH/Ni-Cd
BEC	5.5 V/4 A Comutação BEC
PWM	8~16 KHz
RPM máximo	240.000rpm PCB de motor sem escova de 2 polos
Tamanho	34x24x9 mm
Peso	26g (incluindo fios)

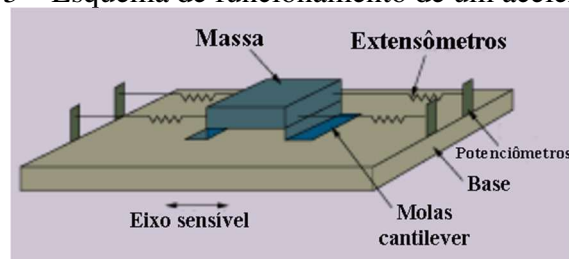
Fonte: Hobby King (2024).

O conjunto ESC+servomotor desempenhará o papel de atuador do sistema a ser controlado e está localizado na extremidade esquerda da Figura 1. O sinal de controle gerado pelo controlador da malha, ou seja, a variável manipulada, será justamente a entrada do conjunto ESC+servomotor.

2.1.3 Acelerômetro

O acelerômetro é um dispositivo usado para detectar vibrações ou alterações na aceleração de um objeto. Conforme o esquema da Figura 5, é possível ver que a força resultante de tais movimentos comprime um material piezoelétrico, gerando uma carga elétrica correspondente à força aplicada. Dado que a carga é diretamente proporcional à força e a massa permanece constante, a carga também é diretamente proporcional à aceleração [9], sendo assim, o dispositivo consegue fazer leituras em três dimensões, X, Y e Z.

Figura 5 – Esquema de funcionamento de um acelerômetro



Fonte: Ômega Engineering, adaptado (2024).

O modelo de acelerômetro usado é o MMA7361 (Multi-Axis), exemplificado na Figura 6. Esse dispositivo apresenta um baixo consumo de energia e possui alta sensibilidade. Além disso, é possível escolher entre dois níveis de sensibilidade: 1,5 g ou 6 g [3]. Apesar desse modelo conseguir medir a aceleração em três eixos diferentes (x, y e z), para a aplicação dos conhecimentos teóricos nessa estrutura simplificada, só será utilizado apenas um grau de liberdade, o eixo y.

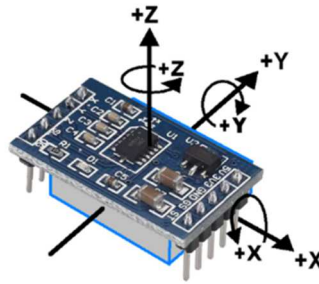
Segue as especificações do MMA 7361 na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações do Módulo MMA 7361

Tensão de operação	2,2 – 3,6 V
Dimensões	27,9 mm x 18,6 mm
Sensibilidade	800 mv/g a 1,5 g

Fonte: Eletrogate (2024).

Figura 6 – Módulo acelerômetro de 3 eixos – MMA 7361



Fonte: Eletrogate, adaptado (2024).

O acelerômetro fará o papel da parte sensível do sistema a ser controlado e está localizado na parte superior direita da haste móvel da Figura 1. O sinal de saída deste sensor será a alimentação da malha fechada, ou seja, a variável de processo.

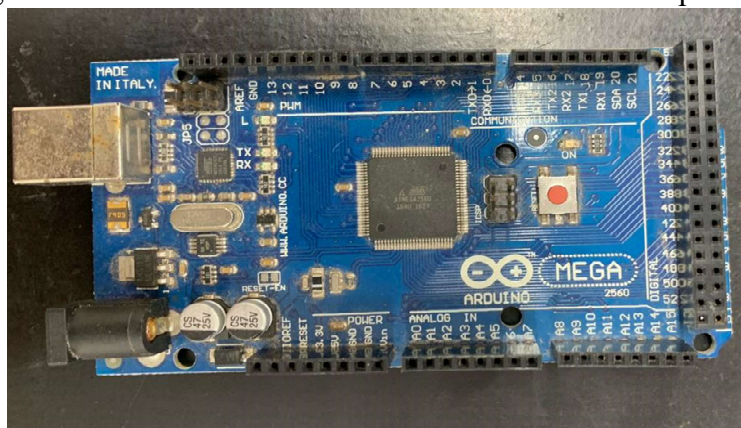
2.1.4 Arduino®

A plataforma de baixo custo e código aberto Arduino® foi desenvolvida na Itália em 2005 com o objetivo de facilitar a criação de protótipos de projetos a um custo mais acessível em comparação com produtos concorrentes. Além de incorporar um microcontrolador programável por meio de softwares de código aberto, o dispositivo possui entradas e saídas digitais e analógicas que permitem a interação com uma variedade de sensores e componentes eletrônicos [11].

O Arduino® tem uma ampla gama de aplicações, incluindo sensores para monitoramento de mudanças climáticas, desenvolvimento de robôs, construção de braços robóticos e muito mais. Assim como a cultura *maker*, essa plataforma de código aberto também fomenta a criatividade e promove o aprendizado autônomo. Isso ocorre porque os alunos podem explorar diversas disciplinas conforme a aplicação desejada, tornando o processo de aprendizagem mais dinâmico e envolvente [8].

Em decorrência disso, trabalhar com o Arduino® no protótipo se tornou uma opção bem mais viável. O modelo utilizado é o controlador ATMEGA 2560 R3, conforme a Figura 7. Este modelo é uma versão superior ao Arduino® Uno e possui as devidas especificações na Tabela 4. A utilização dessa versão de Arduino® se deu pelo fato de já se ter em laboratório.

Figura 7 – Controlador ATMEGA 2560 R3 utilizado no protótipo



Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 4 – Especificações do Controlador ATMEGA 2560 R3	
Microcontrolador ATMEGA 2560 R3	
Tensão operacional	5 V
Tensão de entrada (recomendado)	7-12 V
Tensão de entrada (limite)	6-20 V
Pinos de entrada analógica	16
Corrente CC por pino de E/S	20 mA
Corrente DC para pino de 3,3 V	50 mA
Memória flash	256 KB sendo 8 KB usados pelo <i>bootloader</i>
SRAM e EEPROM	8 KB e 4 KB
Velocidade do relógio	16 MHz
LED_BULTIN	13
Comprimento	101,52 mm
Largura	53,3 mm
Peso	37 g

Fonte: Arduino® Store (2024).

Como princípio de funcionamento, o Arduino® Mega 2560 R3 é a unidade de processamento do sistema, encarregado de controlar todas as operações. Ele começa lendo os valores do acelerômetro por meio de suas entradas analógicas. Com base na inclinação medida pelo acelerômetro, ele envia sinais para controlar o conjunto ESC + servomotor, ajustando o ângulo de inclinação do protótipo conforme a referência estabelecida. Por meio de ciclos contínuos de leitura dos sensores, cálculos e envio de sinais de controle, o Arduino® assegura que o protótipo mantenha a inclinação desejada, e, conseqüentemente, o ângulo de ataque adequado.

2.1.5 Fonte de alimentação

Conforme a Figura 8, na alimentação do sistema, é empregada na bancada uma fonte de alimentação digital do modelo FA-3030 simétrica de dois canais, fabricada pela Instrutherm®. Esta fonte pode fornecer uma tensão de até 64 volts (modo série) e uma corrente de até 6 Ampères (modo paralelo).

Figura 8 – Fonte de alimentação da bancada



Fonte: Autoria própria (2023).

Na banca em desenvolvimento ela irá funcionar em paralelo e irá alimentar o conjunto ESC+Servomotor. A ligação em paralelo se fez necessário para poder suprir a demanda de corrente do conjunto supracitado.

3 METODOLOGIA

A estrutura antiga do protótipo foi construída com dois tipos de madeira: pinus e compensado. Sua base é em formato circular, enquanto a parte móvel do sistema é feita de compensado, apesar de ser mais denso. Em decorrência disso, com o passar do tempo e devido

ao uso frequente, começaram a surgir folgas nas conexões entre o rolamento e o material do eixo. Essa folga resulta em instabilidade no sistema e ruído, o que compromete significativamente a precisão da leitura do acelerômetro e, por conseguinte, a precisão dos resultados obtidos.

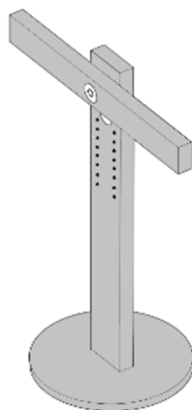
3.1 Aprimoramento

Mediante a problemática em questão, para aprimorar a experiência e o aprendizado do egresso, é necessário realizar uma mudança total ou parcial na estrutura do protótipo. Inicialmente, um grande obstáculo para a melhoria da estrutura reside no tipo de material empregado. A madeira utilizada na estrutura requer substituição, pois ela apresenta uma vida útil abaixo do necessário para um equipamento frequentemente manuseado. Opções como alumínio, aço carbono (Metalon®), acrílico e até mesmo a impressão 3D foram consideradas.

A princípio, a ideia era imprimir toda a estrutura em nylon, mas, seguindo as recomendações de pessoas especializadas no assunto, constatou-se que a estrutura não ficaria tão resistente quanto se necessitaria; ao longo do tempo, ela apresentaria folgas e fissuras no material da mesma forma que a madeira. Outra alternativa seria optar pelo uso do alumínio, por ser mais leve, mas, devido às condições do mercado, o uso dessa matéria tornou-se inviável em relação custo e mão de obra. Por fim, uma alternativa que se mostrou viável tanto financeiramente quanto durável foi o uso do Metalon®. Por ser uma liga metálica fácil de manusear e com bastante mão de obra disponível no mercado local, foi decidido que toda a estrutura seria feita com esse material.

Foram utilizadas chapas de aço carbono moldadas conforme as medidas estabelecidas e coletadas em laboratório. Após obter todas as medidas com o uso de um paquímetro digital, foi necessário plotar o desenho técnico no AutoCAD, conforme o modelo 3D da Figura 9, e levar ao profissional especializado. Na Figura 10, destaca-se que, entre algumas poucas alterações na estrutura, a inclusão de mais batedores é significativa, pois esses batedores possibilitarão ao usuário limitar o ângulo de ataque no eixo principal. Outra mudança importante foi a inclusão de um segundo rolamento para a opção de subir mais o aparato móvel do modelo. Para o sistema de contrapeso do protótipo, anteriormente era utilizado um cano de PVC para acomodar pequenas anilhas de ferro, e com a modificação da estrutura optou-se por utilizar um extensor para aumentar o braço de alavanca, consequentemente o torque do lado esquerdo. Além disso, foi confeccionada uma cesta feita de tecido para acomodar contrapesos de diferentes naturezas. Todos os detalhes descritos podem ser vistos na Figura 12.

Figura 9 – Desenho 3D do esquema inicial



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 10 – Base do protótipo feito em aço carbono (Metalon®)



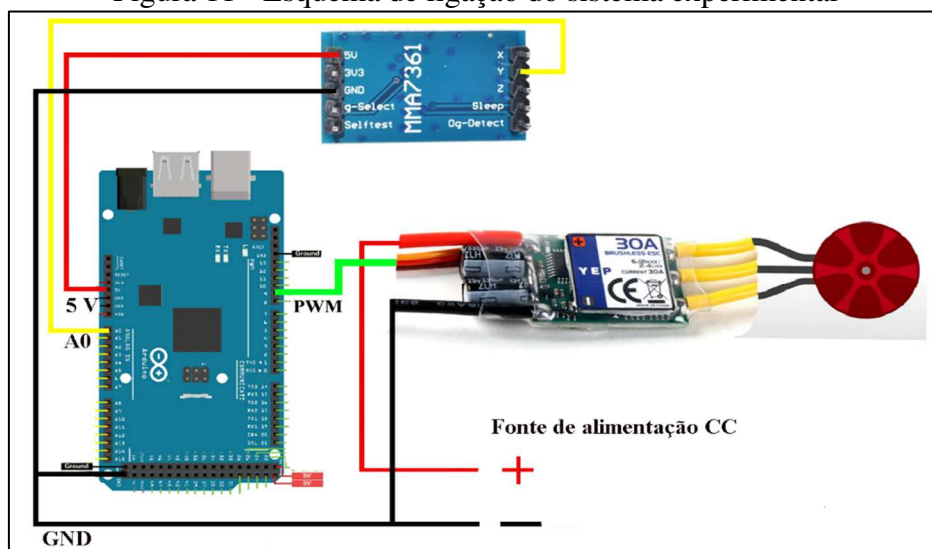
Fonte: Autoria própria (2024).

Quanto à mobilidade do eixo, embora tenha sido empregado o aço, o uso de uma chapa fina manteve a massa similar a madeira anterior, evitando assim um aumento significativo na carga do motor. Adicionalmente, para suportar o eixo, foram instalados rolamentos de rolos cilíndricos e um parafuso com porca e contraporca, garantindo a fixação segura do conjunto móvel.

3.2 Montagem do Sistema Experimental

Para a implementação do sistema de controle de ângulo de ataque, foi necessário realizar a integração de componentes eletrônicos e mecânicos. O esquema de conexões utilizado para interligar o acelerômetro, o servomotor e o ESC ao Arduino é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Esquema de ligação do sistema experimental



Fonte: Autoria própria (2024).

Descrição das ligações do circuito:

Acelerômetro MMA7361:

- VCC: Conectado ao 5V do Arduino.
- GND: Conectado a qualquer pino GND do Arduino.
- Y: Conectados aos pinos analógicos do Arduino (por exemplo, A0).

Servomotor D2836/8 e ESC YEP 30A:

- Sinal (PWM): Conectado ao pino digital 9 do Arduino.
- VCC: Conectado ao 5V do Arduino e à saída BEC do ESC.
- GND: Conectado ao GND do Arduino e ao GND do ESC.

Fonte de Alimentação: O fornecimento de energia do sistema é obtido através de uma fonte de alimentação de corrente contínua (CC), capaz de fornecer até 6 amperes. Esta fonte foi conectada ao VCC e GND do ESC para alimentar o sistema.

Este esquema e as conexões foram fundamentais para a operação adequada do sistema, permitindo o controle preciso do servomotor com base nas leituras do acelerômetro.

4 RESULTADOS

Os resultados das modificações realizadas na estrutura do protótipo foram obtidos através da implementação das alternativas consideradas durante a fase de metodologia.

Na Figura 12, é possível visualizar toda a estrutura montada e devidamente ajustada na bancada do laboratório. Para fixar os componentes eletrônicos foram utilizadas abraçadeiras de nylon e fitas isolantes para evitar o contato do acelerômetro com o metal, além de exercer uma fixação extra dos componentes na estrutura.

Figura 12 – Estrutura completa montada no laboratório de Automação e Controle da UFRSA.



Fonte: Autoria própria (2024).

Assim como antes, no qual um transferidor de 180° era utilizado para medir a angulação do eixo, no novo modelo foi acoplado um novo semicírculo para a comparação dos dados de ângulos de ataque programados no Arduino® com efetiva angulação do sistema.

Conforme a Tabela 5 e 6 mostram, foi medido tanto na estrutura antiga quanto na aprimorada, virando-se 10° em 10°, o valor real através da leitura do transferidor e comparado

com os valores do sensor (variável apresentada no monitor serial do controlador). Após plotar os dados e obter os gráficos no Excel e ter as linhas de tendência, as Equações 1 e 2 foram introduzidas nos respectivos códigos do controlador para obtenção do valor nominal da angulação do sensor.

Tabela 5 – Valores obtidos com a estrutura antiga

Protótipo antigo			
Sensor	Medição (graus)	Angulação (graus)	Erro (%)
336	130	131,05	0,8046
370	120	119,27	0,6125
405	110	107,14	2,6023
428	100	99,17	0,8320
452	90	90,85	0,9467
476	80	82,54	3,1700
504	70	72,83	4,0486
545	60	58,63	2,2875
574	50	48,58	2,8420

Fonte: Dados experimentais (2024).

$$y = -0,3465 * sensor + 247,47 \quad (1)$$

Tabela 6 – Valores obtidos com a estrutura aprimorada

Protótipo aprimorado			
Sensor	Medição (graus)	Angulação (graus)	Erro (%)
236	140	139,5092	0,3506
258	130	129,3826	0,4749
277	120	120,6369	0,5307
302	110	109,1294	0,7915
319	100	101,3043	1,3043
343	90	90,2571	0,2857
364	80	80,5908	0,7385
385	70	70,9245	1,3207
413	60	58,0361	3,2732
430	50	50,211	0,4220

Fonte: Dados experimentais (2024).

$$y = -0,4603 * sensor + 248,14 \quad (2)$$

Portanto, ao calcular as médias dos erros percentuais nas leituras do sensor em cada ângulo, é observado que na estrutura antiga, a média de erros experimentais chegou a 2,0162%, enquanto na estrutura nova a média de erros foi de 0,9492%, ou seja, existe uma diferença de mais de 1% entre elas, e isso ao longo do tempo tende a aumentar, pois a estrutura de madeira se deteriorará mais rapidamente com as práticas laborais.

No que se refere aos custos envolvidos no aprimoramento do protótipo, a estrutura de aço carbono totalizou um investimento de R\$ 328,00. A seguir, na Tabela 7, estão detalhados os valores gastos nessa estrutura.

Tabela 7 – Custos com a estrutura do protótipo

Materiais/Serviço	Custo
Chapa 3 mm	R\$ 100,00
Chapa de 1,5 mm	R\$ 50,00
Rolamentos (4 Und)	R\$ 32,00
Parafuso e porcas	R\$ 5,00
Transferidor	R\$ 4,50
Tinta Spray (Cinza primer)	R\$ 17,00
Tinta Spray (preto fosco)	R\$ 14,50
Abraçadeiras e fita isolante	R\$ 5,00
Mão de obra	R\$ 100,00
Total	R\$ 328,00

Fonte: Autoria própria (2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos da pesquisa, ficou evidente que as modificações realizadas na estrutura do protótipo foram fundamentais para melhorar sua eficiência e desempenho. A substituição da madeira pelo Metalon® e a implementação das adaptações propostas resultaram em um sistema mais eficiente e funcional, além de mais firme e resistente. A análise do desempenho e da viabilidade das mudanças realizadas demonstra que estas estão alinhadas com os objetivos estabelecidos no início desse trabalho.

Com a redução da interferência e do ruído, a leitura do acelerômetro deixou o sistema preciso e menos oscilante a vista do que estava antes. Portanto, é possível concluir que as alterações implementadas contribuíram significativamente para aprimorar o protótipo, abrindo caminho para futuras investigações e aplicações práticas na área, além de melhorar a experiência do egresso do curso de engenharia elétrica da UFERSA.

O Protótipo encontra-se disponível no Laboratório de Automação e Controle do curso de Engenharia Elétrica da UFERSA, no qual os alunos da disciplina de controle digital já têm feito o uso dele com sucesso para o trabalho final. Além do mais, todo o aparato ficará apto a receber futuras melhorias, seja no material da sua estrutura ou modificações na parte eletrônica, com a substituição por outros componentes mais modernos e precisos.

REFERÊNCIAS

[1] ABDULLAH, Fatin Nabeel; AZIZ, Ghada Adel; SHNEEN, Salam Waley. Simulation model of servo motor by using matlab. Journal of Robotics and Control (JRC), v. 3, n. 2, p. 176-179, 2022.

[2] ARDUINO, Store. Arduino Mega 2560 Rev3. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>>. Acesso em: 27 mar. 2024.

[3] ELETROGATE. Módulo acelerômetro de 3 eixos - MMA7361. Disponível em: <www.eletrogate.com/modulo-acelerometro-de-3-eixos-mma7361>. Acesso em: 15 mar. 2024.

[4] KING, Hobby. Turnigy D2836 / 8 1100KV Brushless Outrunner Motor. Disponível em: <https://hobbyking.com/pt_pt/turnigy-d2836-8-1100kv-brushless-outrunner-motor.html>. Acesso em: 12 mar. 2024

[5] KING, Hobby. YEP 30A (2~4S) SBEC Brushless Speed Controller. Disponível em: <https://hobbyking.com/pt_pt/turnigy-d2836-8-1100kv-brushless-outrunner-motor.html>. Acesso em: 13 mar. 2024

[6] LOPES, J.V.B, Júnior, D.S.,& Munareto, S.S.(2018, Setembro).Um projeto com abordagem multidisciplinar na formação do profissional de engenharia de controle e automação. XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Salvador, BA, Brasil, 1-10.

[7] MATOS, Nuno Miguel Rodrigues de et al. Análise do funcionamento de um servomotor de corrente alternada com ímãs permanentes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores) - Universidade do Porto, 2012. 33 p.

[8] MILHOMEM, Edeilson; ARAÚJO, Adão Henrique Ribeiro; DE BARROS BIANCHINI, Guilherme. Drones de baixo custo: Oficina de Impressão 3D e Robótica para promover o conhecimento científico e a cultura Maker no ensino médio. Capim Dourado: Diálogos em Extensão, v. 4, n. 2, p. 52-64, 2021.

[9] OMEGA, Engineering. ACELERÔMETROS: Introdução aos acelerômetros. Disponível em: <www.br.omega.com/prodinfo/acelerometros.html>. Acesso em: 17 jun. 2024.

[10] SANCHEZ, Anand et al. Hovering flight improvement of a quad-rotor mini UAV using brushless DC motors. Journal of Intelligent & Robotic Systems, v. 61, n. 1, p. 85-101, 2011.

[11] SILVA, João Lucas de S. et al. Plataforma Arduino integrado ao PLX-DAQ: Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35. XIV Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE). Feira de Santana, BA, 2014.