



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

UBIRACUI PEREIRA DE LUCENA JÚNIOR

**CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE UMA PLATAFORMA DE TESTES DE BAIXO
CUSTO PARA APOIO À PESQUISA EM VANT'S**

MOSSORÓ-RN

2017

UBIRACUI PEREIRA DE LUCENA JÚNIOR

**CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE UMA PLATAFORMA DE TESTES DE BAIXO
CUSTO PARA APOIO À PESQUISA EM VANT'S**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Zoroastro Torres Vilar, Prof. Dr.

MOSSORÓ-RN

2017

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

J95c Júnior, Ubiracui Pereira de Lucena.
 Construção e Montagem de uma Plataforma de
 Testes de Baixo Custo Para Apoio à Pesquisa em
 VANT?S / Ubiracui Pereira de Lucena Júnior. -
 2017.
 35 f. : il.

 Orientador: Zoroastro Torres Vilar.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de , 2017.

 1. Plataforma. 2. VANT. 3. Baixo Custo. 4.
 Processo de Fabricação. I. Vilar, Zoroastro
 Torres, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

UBIRACUI PEREIRA DE LUCENA JÚNIOR

**CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE UMA PLATAFORMA DE TESTES DE BAIXO
CUSTO PARA APOIO À PESQUISA EM VANT'S**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Defendida em: 20 / 10 / 2017.

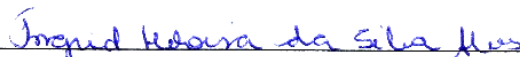
BANCA EXAMINADORA



Zoroastro Torres Vilar, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Fabrício José Nobrega Cavalcante, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Ingrid Heloisa da Silva Alves, Profa. (UFERSA)
Membro Examinador

DEDICATORIA

Ao meu avô, **José Alves Ferreira** (*In Memoriam*), grande homem, que trouxe paz e segurança para minha vida, exemplo de simplicidade e determinação.

Dedico a “**DEUS**” primeiramente, pela força nos momentos difíceis.

A **Maria Lúcia Alves do Monte Lucena**, minha mãe, uma mulher guerreira, independente e vitoriosa, a quem devo muito pela concretização deste trabalho e pelos caminhos trilhados.

A **Ubiracui Pereira de Lucena**, meu pai, um grande homem do coração bom, a base para que eu pudesse alcançar mais uma vitória em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me guiar nos momentos difíceis e por ter me abençoado com pessoas maravilhosas ao meu redor.

Aos meus pais, Maria Lúcia e Ubira, por toda dedicação e apoio, pessoas que tenho como exemplo e que me orgulham. Sou abençoado por ter vocês ao meu lado.

Aos meus irmãos, Ubiratã Alves e Ubirajara Lucena, pela torcida, apoio e confiança. Um dia irei retribuir tudo que vocês fazem por mim.

A professor Zoroastro Vilar, primeiramente, por ter aceitado o convite para me orientar neste trabalho. Obrigado pelos ensinamentos, dedicação, credibilidade, compreensão e competência, que foram imprescindíveis para concretização deste trabalho.

Agradeço aos amigos, Ana Paiva, Antônio Segundo e Paulo Ricardo por todos os momentos compartilhados, garantiram uma vida acadêmica muito mais divertida, vocês foram essenciais nessa caminhada.

Aos meus queridos melhores amigos Alexandre, Livia, Kim, Klinger, Jadson, Vitória, João Paulo, Emanuely, Nicholas, Hudson, Rafaela, Saulo, Flavinha e Braune vocês quem me escutam, me apoiam estão presente em meu coração sempre, além de fazerem parte da minha formação pessoal.

Aos amigos que o crossfit me deu: Ciro, Dani, Nacor, Giovanna, Ana Eliza, João Victor, Guilherme e Felipe a vocês eu tenho todo respeito e admiração.

Em especial a Adna Carvalho que sempre me conforta, me escuta e ajuda com seu carinho, compreensão e amor.

Os meus professores que tive no ensino fundamental, médio e na graduação, pela contribuição na minha formação acadêmica e no meu aprendizado.

A todos você, muito obrigado!

Porque dEle e por Ele, e para Ele, são todas as
coisas; glória, pois, a Ele eternamente.

Romanos 11:36

RESUMO

As pesquisas com VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) tem se desenvolvido em virtude dos avanços tecnológicos, e ganhado espaço nas aplicações militares e civis como vigilância, fotografias de locais de difícil acesso ou em situações de risco para humanos. Analisando esse crescimento foi desenvolvido, no trabalho proposto, uma plataforma de testes para a pesquisas com VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). O VANT utilizado na pesquisa foi do tipo quadricóptero que possui seis graus de liberdade, ou seja, tem a capacidade de realizar movimentos nos eixos x, y e z, além de movimentos em torno desses eixos, conhecidos como arfagem (*pitch*, ϕ), rolagem (*roll*, θ) e guinada (*yaw*, ψ) respectivamente. O material usado para fabricação e montagem é de baixo custo. Inicialmente, a plataforma foi simulada através do *software* SolidWorks® com a visualização prévia do protótipo para o melhor dimensionamento. O segundo passo foi a fabricação e montagem dos componentes da plataforma usando a soldagem e equipamentos mecânicos, como: torno mecânico e serra fita. Todo o processo de confecção foi realizado no laboratório de produção mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Para a validação da plataforma foi realizado um teste simulando um plano de voo afim de ajustar as velocidades dos motores do quadricóptero. Durante os testes foram aplicadas velocidades distintas nos motores obtendo assim, movimentos de rotação diversos em torno dos seus eixos. Foi verificado que o quadricóptero conseguiu se movimentar livremente nos seis graus de liberdade. Por fim, neste contexto o estudo prático teve seu objetivo alcançado, a fabricação de uma plataforma metálica de baixo custo, com boa resistência mecânica e bom desempenho com cargas dinâmicas.

Palavras-chave: Plataforma, VANT, Baixo Custo, Processo de Fabricação.

ABSTRACT

Researches with VANT (Unmanned Aerial Vehicle) have developed due to technological advances, and gained space in military and civilian applications such as surveillance, photographs of difficult to reach places or in situations of human risk. Analyzing this growth, a test platform for research with VANT (Unmanned Aerial Vehicle) was developed in the proposed work. The VNA used in the research was a quadratic type that has six degrees of freedom, that is, it has the ability to perform movements on the x, y and z axes, as well as movements around these axes known as pitching, pitch, roll, θ) and yaw (yaw, ψ) respectively. The material used for fabrication and assembly is low cost. Initially, the platform was simulated through the SolidWorks® software with the preview of the prototype for the best sizing. The second step was the fabrication and assembly of the platform components using the welding and mechanical equipment, such as: lathe and sawing tape. The entire manufacturing process was carried out in the mechanical production laboratory of the Federal Rural Semi-Arid University (UFERSA). For the validation of the platform, a test was performed simulating a flight plan in order to adjust the speed of the motors of the quadricopter. During the tests different speeds were applied in the motors, thus obtaining different rotational movements around their axes. It was verified that the quadricopter was able to move freely in the six degrees of freedom. Finally, in this context the practical study had its objective reached, the manufacture of a low cost metal platform, with good mechanical resistance and good performance with dynamic loads.

Keywords: Platform, VANT's, Low Cost, Manufacturing Process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Quadricóptero	18
Figura 2	–	Ângulos de Euler	18
Figura 3	–	Movimentos do Quadricóptero	19
Figura 4	–	Plataforma de Testes para Quadricópteros	20
Figura 5	–	Método de Projeto	24
Figura 6	–	Giroscópio	25
Figura 7	–	Esboço da Plataforma de Testes	25
Figura 8	–	Vista em 2D	26
Figura 9	–	Vista em 3D	27
Figura 10	–	Arcos de Sustentação	28
Figura 11	–	Base da Plataforma	28
Figura 12	–	Montagem da Plataforma	29
Figura 13	–	Plataforma de Testes	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos dos Materiais Utilizados na Construção e Montagem	22
---	----

LISTA DE SIMBOLOS

θ	Ângulo de Arfagem (<i>Pitch</i>)
ϕ	Ângulo de Rolagem (<i>Roll</i>)
ψ	Ângulo de Guinada (<i>Yaw</i>)
$\varnothing$	Diâmetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	GERAL	16
2.2	ESPECÍFICO	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	PANORAMA DE PESQUISAS EM QUADRICÓPTEROS	17
3.2	QUADRICÓPTERO	17
3.3	PLATAFORMAS	20
4	METODOLOGIA	22
5	CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DA PLATAFORMA	24
5.1	PLANEJAMENTO DA PLATAFORMA DE TESTES	24
5.2	PROJETO DA PLATAFORMA	26
5.3	PROCESSO DE FABRICAÇÃO	27
5.4	TESTE DE VALIDAÇÃO DA PLATAFORMA	29
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
7	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

As pesquisas com VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) tem se desenvolvido em virtude dos avanços tecnológicos, e ganhado espaço nas aplicações militares e civis como vigilância, fotografias de locais de difícil acesso ou em situações de risco para humanos (BOUABDALLAH, 2007). Os VANTs são veículos que não necessitam de pilotos já que são controlados remotamente ou de forma autônoma.

Os VANTs podem ser classificados em aeronaves de asa fixa (aviões), de asa rotativa (helicópteros e multicópteros), entre outros (balões, dirigíveis, etc). Dentre os tipos de asas rotativas, quadricópteros tem ganhado destaque nas pesquisas devido as suas vantagens de maior estabilidade, manobrabilidade, voo vertical e poder de pairar (DANTAS, 2017). Suas aplicações se baseiam em tarefas em que a presença de seres humanos a bordo não é necessária ou desejável, como em missões perigosas, com o objetivo de eliminar o risco de acidentes. Entre os trabalhos encontrados pode-se citar: aquisição de imagens, monitoramento de áreas, inspeção de dutos, linhas de transmissão, busca e salvamento, agricultura, e atualmente, utilização no segmento de entrega de produtos como entrega de pizza impulsionam o mercado de VANT de grande e pequeno porte (VIEIRA, 2011).

Tendo em vista esse crescimento, e por ter em falta no mercado atual, foi desenvolvido uma plataforma de testes onde o quadricóptero, ou parte dele, é fixado na plataforma para que seja possível fazer alguns testes de forma segura, como testes de giro, empuxo, vibração, balanceamento e dentre outros. As plataformas de forma geral permite que o sistema efetue giros em três dimensões (x, y, z) permitindo assim, a obtenção dos resultados desejados. Os resultados obtidos pelos testes práticos são comparados com os realizados em simulações, de onde são feitas análises e tiradas algumas conclusões. Tais plataformas são comuns na literatura e fundamental para a segurança dos envolvidos na realização destes trabalhos. As plataformas também são importantes para evitar que os equipamentos, geralmente frágeis, se danifiquem elevando os custos do projeto.

Nesse contexto, usando os conhecimentos adquiridos no processo de fabricação, o estudo prático propôs a fabricação de uma plataforma metálica de baixo custo, com boa resistência mecânica e bom desempenho com cargas dinâmicas, onde serão testados quadricópteros. O projeto apresentado pode ser uma alternativa para reciclagem de materiais.

1.1 JUSTIFICATIVA

Mesmo com o grande crescimento das pesquisas com os VANTs que tem se desenvolvido muito em virtude dos avanços tecnológicos e ganhado muito espaço em diversas áreas, ainda existe um pouco de dificuldade para encontrar equipamentos necessários para sua pesquisa no mercado atual. Apesar de ser comum de se encontrar na literatura, um exemplo de um equipamento importante para realização de testes com VANTs que não se encontra no mercado é sua plataforma de testes. Devido a essa falta foi pensado e desenvolvido um modelo próprio para atender as necessidades de pesquisas com quadricópteros. Na busca para produzir essa plataforma foi utilizado materiais de baixo custo, tentando assim viabilizar todo o projeto.

Este trabalho contribuiu para o avanço das pesquisas nesta área na Universidade Federal Rural do Semi Árido (UFERSA), ampliando o conhecimento e experiência com processo de fabricação, através da aplicação da teoria na prática.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Entender e analisar os princípios de funcionamento de uma plataforma de testes para quadricóptero e projetá-la de tal forma para obter o movimento de rotação livre nos três eixos (x, y e z), simulando um plano de voo.

2.2 ESPECÍFICOS

A fim de atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram desenvolvidos:

- Compreender o princípio de funcionamento de uma plataforma para testes em VANTs;
- Projetar um modelo de forma eficiente;
- Analisar os materiais de baixo custo para a construção e montagem;
- Construção e montagem da plataforma;
- Analisar os testes para viabilizar o projeto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta o panorama de pesquisas em quadricópteros, seus conceitos, graus de liberdade, dimensões e outros. Por fim, será apresentado as plataformas e quais as mais usadas segundo a literatura.

3.1 PANORAMA DE PESQUISAS EM QUADRICÓPTEROS

Os primeiros quadricópteros que obtiveram sucesso datam de 1907 com a estrutura dos irmãos Breguet e Charles Richet, os voos eram de baixa altitude (em torno de 1 m a 1,5 m) e de poucos segundos. Os modelos desenvolvidos no início eram pesados (entre 400kg a 800kg) e tinham potência fornecida por gasolina e transmissão de correia (DANTAS, 2017). Com o tempo outros modelos foram desenvolvidos, mas o interesse por esse tipo de aeronave foi diminuído devido à dificuldade para se atingir a estabilidade, ressurgindo entre as décadas de 80 e 90 sob a forma de VANTs, graças ao avanço da tecnologia, miniaturização de dispositivos eletrônicos e diminuição de seus custos (LEISHMAN, 2000). O quadricóptero possui características não lineares e multivariáveis, isso faz com que seja um sistema difícil de controlar (COZA; MACNAB, 2006). No entanto, diversos projetos de pesquisa envolvendo controle de estabilidade, assim como controle de altitude de quadricópteros, foram bem sucedidos em todo o mundo. No Brasil diversas pesquisas sobre quadricópteros obtiveram bons resultados como Sá (2012), Alves (2012), Brandão (2013), Sanca (2013), Silva (2015), Benigno (2015). Já Miranda et al. (2013) projetou um controle Fuzzy de estabilidade, dos movimentos de arfagem e rolagem, de um VANT com oito motores. Foi construída uma plataforma girante (ou plataforma de Stuart), com o algoritmo de controle em execução onde o veículo é liberado a uma posição inicial com o objetivo de se manter em posição de equilíbrio.

3.2 QUADRICÓPTERO

Um quadricóptero é um tipo de VANT que possui seis graus de liberdade, ou seja, tem a capacidade de realizar movimentos nos eixos x, y e z, além de movimentos em torno desses eixos, conhecidos como arfagem (*pitch*, ϕ), rolagem (*roll*, θ) e guinada (*yaw*, ψ)

respectivamente. Esses movimentos são realizados pelos quatro motores e as quatro hélices que agem como atuadores (JOYO et al., 2013).

A Figura 1 mostra o tipo do quadricóptero que tem as seguintes dimensões: Altura 10cm; comprimento e largura 90cm (Distância entre as extremidades das hélices). Composto por: 1 frame do tipo X525 V3 de fibra de vidro, 4 motores Brushless (BLDC) modelo A2212/13T de 1000KV, 4 hélices do modelo 10x45, controlador eletrônico de velocidade, bateria Lion Power de carga 4200 mAh e capacidade de descarga de 30 C, sensores, plataforma arduino MEGA 2560®. A massa do quadricóptero é de 2,7kg.



Figura 1 – Quadricóptero.

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Segundo Almeida (2014), a atitude de um quadricóptero pode ser definida de acordo com a combinação de três ângulos, *Roll* (ϕ), *Pitch* (θ) e *Yaw* (ψ), também conhecidos como Ângulos de Euler. Destacados na Figura 2.

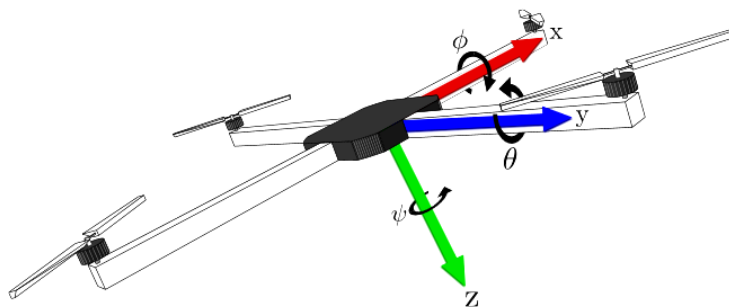


Figura 2 – Ângulos de Euler.

Fonte: (ALMEIDA, 2014).

Portanto, é necessária a construção de uma plataforma que permita o movimento dos ângulos de Euler para que seja possível testar todas as funções de um quadricóptero.

A Figura 3 apresenta os movimentos básicos do quadricóptero devido ao arranjo dos motores e suas respectivas hélices. As hélices adjacentes têm seus movimentos em sentido oposto, ou seja, uma em sentido horário e outra em sentido anti-horário, para que não seja necessário compensar o momento angular resultante.

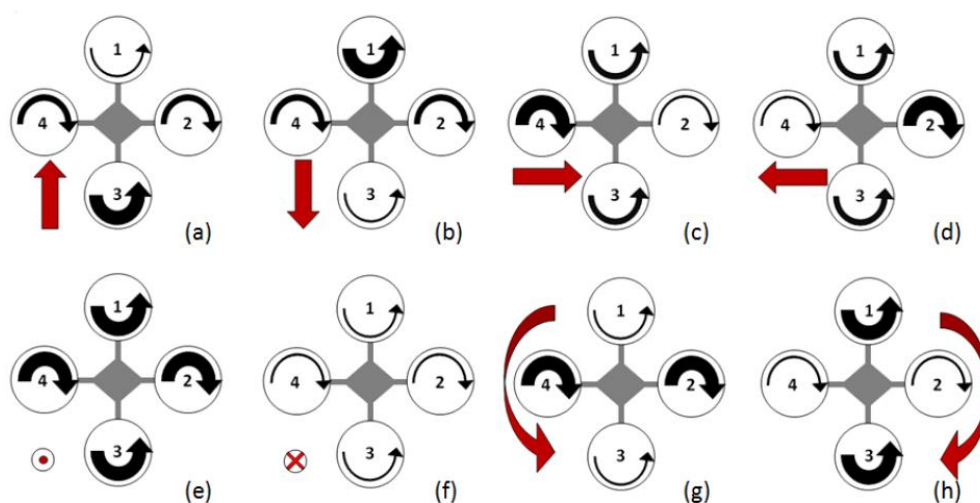


Figura 3 – Movimentos do Quadricóptero.

Fonte: (SÂ, 2012).

Para o movimento relacionado à altitude, os motores devem ser acelerados igualmente e gradualmente para que o quadricóptero suba (Figura 3-e), para descer desacelera-se igualmente e gradualmente os quatro motores (Figura 3-f). Para pairar no ar as velocidades devem ser iguais e constantes. O movimento de rolagem ocorre de duas maneiras: para frente e para trás. Para que o quadricóptero se desloque para frente (Figura 3-a), os motores 2 e 4 devem possuir velocidades iguais e constantes, enquanto que a velocidade do motor 1 deve ser menor que a do motor 3. Para que se desloque para trás (Figura 3-b), os motores 2 e 4 devem possuir velocidades iguais e constantes, enquanto que a velocidade do motor 3 deve ser menor que a do motor 1. O movimento de arfagem ocorre de duas maneiras: para direita e para esquerda. Para que o quadricóptero se desloque para direita (Figura 3-c), os motores 1 e 3 devem possuir velocidades iguais e constantes, enquanto que a velocidade do motor 4 deve ser maior que a do motor 2. Para que se desloque para esquerda (Figura 3-d), os

motores 1 e 3 devem possuir velocidades iguais e constantes, enquanto que a velocidade do motor 2 deve ser maior que a do motor 4.

Assim como o movimento de arfagem e rolagem, o movimento de guinada ocorre de duas maneiras: em sentido horário e anti-horário. Para o giro em sentido horário (Figura 3-h), os motores 2 e 4 devem possuir velocidades iguais e constantes, enquanto que deve haver um aumento da velocidade nos motores 1 e 3. Para o giro em sentido anti-horário (Figura 3-g), os motores 1 e 3 devem possuir velocidades iguais e constantes, enquanto que as velocidades nos motores 2 e 4 aumentam

3.3 PLATAFORMAS

Para efetuar os testes práticos e compará-los com os resultados obtidos nas simulações via software ou simular um determinado evento diretamente no quadricóptero, geralmente é desenvolvido uma plataforma de teste onde o quadricóptero, ou parte dele, é fixado para que se seja possível fazer alguns testes de forma segura, como testes de giro, empuxo, vibração, entre outros.

Tais plataformas são comuns na literatura e fundamental para a segurança dos envolvidos na realização destes trabalhos. As plataformas também são importantes para evitar que os equipamentos, geralmente frágeis, se danifiquem elevando o custo do projeto. Algumas das plataformas de testes para quadricóptero mais utilizadas na literatura podem ser vistas na Figuras 4 (a) e (b):

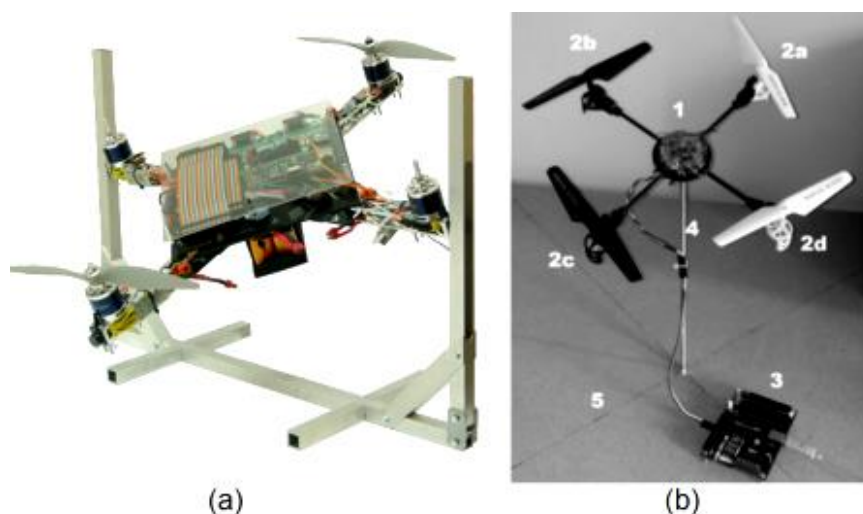


Figura 4 – Plataforma de Testes para Quadricópteros.

Fonte: (a) (MAGNUSSEN & SKJØNHAUG, 2011) e (b) (MIRCEA, 2015).

A Figura 4 (a) retrata a plataforma de teste desenvolvida por Magnussen e Skjønhaug (2011). Nesse modelo de plataforma, apenas um dos eixos do quadricóptero é fixado na estrutura metálica, deixando o outro eixo livre para realizar os testes pretendidos no trabalho. O eixo é fixado de forma a permitir o giro do segundo eixo com menor atrito possível e minimizar a interferência da plataforma na simulação. Já a Figura 4 (b) apresenta estrutura que é composta por uma haste metálica que fixa o quadricóptero em seu centro de massa através de uma esfera que permite o quadricóptero se mover com mais liberdade que a primeira estrutura, no entanto ambas as estruturas apresentam limitações nos movimentos a serem desempenhados pelo quadricóptero.

Para realização dos testes de voo em um quadricóptero de forma segura, é necessário utilizar uma plataforma de testes que permita simular todos os movimentos possíveis de um quadricóptero, ou seja, seu controle de atitude, de forma a obter todos os dados de voo necessários para uma aplicação de controle.

4 METODOLOGIA

Esse é um trabalho prático com análise de exemplos similares onde foi feito um levantamento bibliográfico geral de todos os aspectos a serem abordados visando solucionar problemas, definir parâmetros, aprimorando ideias e descobrindo intuições.

Inicialmente a plataforma foi simulada através do *software* SolidWorks®, com a visualização prévia do protótipo para o melhor dimensionamento e possíveis ajustes. O segundo passo foi a fabricação e montagem dos componentes da plataforma, usando a soldagem e equipamentos mecânicos como: torno mecânico e serra fita. Para a validação da plataforma foi realizado um teste simulando um plano de voo afim de ajustar as velocidades dos motores do quadricóptero. Durante os testes foram aplicadas velocidades distintas nos motores obtendo assim, movimentos de rotação diversos em torno dos seus eixos.

A plataforma em estudo apresenta um custo financeiro baixo, mas é importante ressaltar que o valor total apresentado não inclui o preço dos equipamentos utilizados que foram liberados para uso pela UFERSA, como: máquina de solda, torno, serra fita e dentre outros. Os valores dos materiais que obtiveram custos podem ser vistos na Tabela 1 na moeda americana (dólar).

Tabela 1 – Custo dos Materiais Utilizados na Construção e Montagem.

Item	Material	Quantidade	Valor (US\$)
01	Metalon galvanizado 50x30mm	6 m	9,34
02	Barra chata de aço carbono 1/2"x1/8"	6 m	5,80
03	Tarugo de aço 1020 Ø1"	0,2 m	3,03
04	Barra redonda de aço carbono Ø1/2"	1 m	2,50
05	Rolamentos fixo de esfera com Ø10mm interno e Ø19mm externo SKF	6 und	5,44
06	Eletrodo AWS E 6013 2,5mm	0,5 kg	1,97
07	Tinta spray preto de uso geral White Color	1 und	2,79
	Total		30,87

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Os preços foram cotados na cidade de Mossoró-RN onde foi priorizado o baixo custo, objetivando diminuir ao máximo os gastos referente ao projeto. Os valores foram cotados na moeda local (real) e convertidos para o dólar no mês de outubro do ano de 2017.

5. CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DA PLATAFORMA

Para a fabricação do equipamento usamos a metodologia de projeto encontrada na literatura de Back et al. (2008). Um projeto pode possuir várias fases, onde essas fases são divididas em tarefas até chegar ao produto final. A Figura 5 mostra o método implementado na fabricação da plataforma.

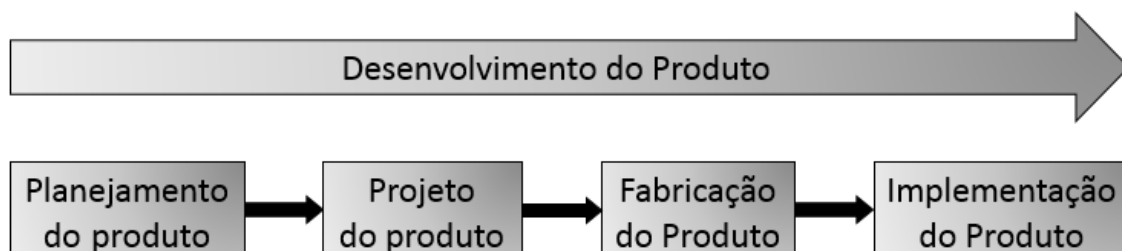


Figura 5 – Método de Projeto.

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

5.1 PLANEJAMENTO DA PLATAFORMA DE TESTES

Na fase de planejamento do produto foram levados algumas considerações, como: já existe algo no mercado, qual a vantagem de usar a plataforma e o modelo definido.

- Apesar de comum na literatura, um exemplo de um equipamento importante para realização de testes com VANTs que não se encontra no mercado é a plataforma de testes. Devido a essa falta foi projetado e desenvolvido um modelo próprio para atender as necessidades de pesquisas com quadricópteros;
- A plataforma é fundamental para a segurança das pessoas envolvidas na fase de testes simulando plano de voo. Evita também que os equipamentos, geralmente frágeis, se danifiquem elevando os custos do projeto.
- O modelo escolhido para a fabricação da plataforma, de autoria própria, se assemelha a um giroscópio, mostrado na Figura 6. Esse modelo permite que todo o sistema gire livremente em torno do seus eixos geométricos perpendiculares entre si que se interceptam no seu centro de gravidade. Outro critério usado para a escolha do modelo foi por ser de fácil fabricação e manutenção.

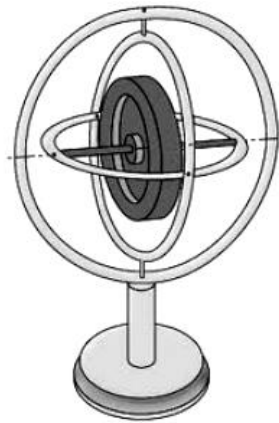


Figura 6 – Giroscópio.

Fonte: (CUBIÇA, 2014).

Foram usados os conceitos do giroscópio para a elaboração da plataforma, consistindo essencialmente em: uma base de sustentação que suporta dois arcos e um eixo central, articulados entre si, conectados por juntas de rolamento permitindo o giro livremente de seus componentes em todas as direções (x, y, z). O modelo de plataforma desse trabalho se diferencia dos desenvolvidos por Magnussen e Skjønhaug (2011) e Mircea (2015). A Figura 7 mostra o esboço da plataforma proposta feita pelo *software* SolidWorks®. A visualização prévia do protótipo é essencial pois ajuda em um melhor controle de dimensionamento e fabricação.

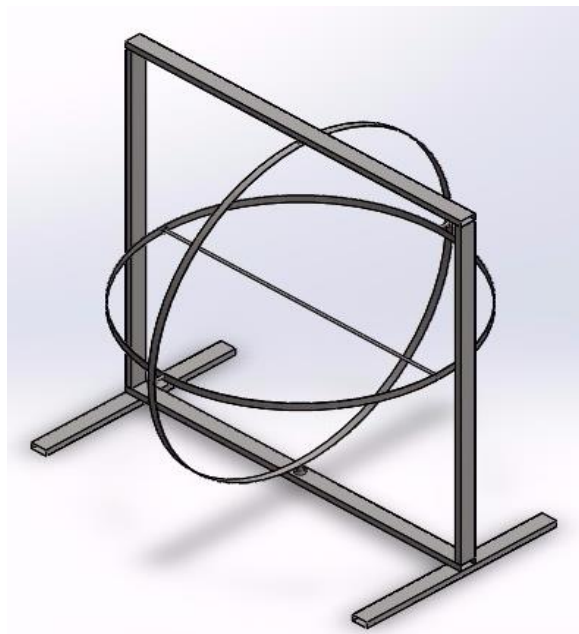


Figura 7 – Esboço da Plataforma de Testes.

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Nesse esboço de plataforma, o quadricóptero é fixado no eixo central, deixando todo o sistema livre para realizar os testes pretendidos para o trabalho. Não haverá interferência entre os eixos e os arcos fazendo com que todo o sistema gire livremente. O modelo aqui criado, diferentemente dos desenvolvidos pelas literaturas citadas, permite que o sistema simule de forma satisfatória um comando de voo, pois a estrutura apresenta limitações mínimas nos movimentos a serem desempenhados pelo quadricóptero.

5.2 PROJETO DA PLATAFORMA

Na fase de projeto foi escolhido o material utilizado e o dimensionamento das partes móveis e fixas da plataforma.

- O dimensionamento da plataforma levou em consideração o quadricóptero utilizado para os testes desse trabalho, visto na Figura 1. Pensando nisso, dimensionou-se os componentes mostrados nas Figuras 8 e 9.

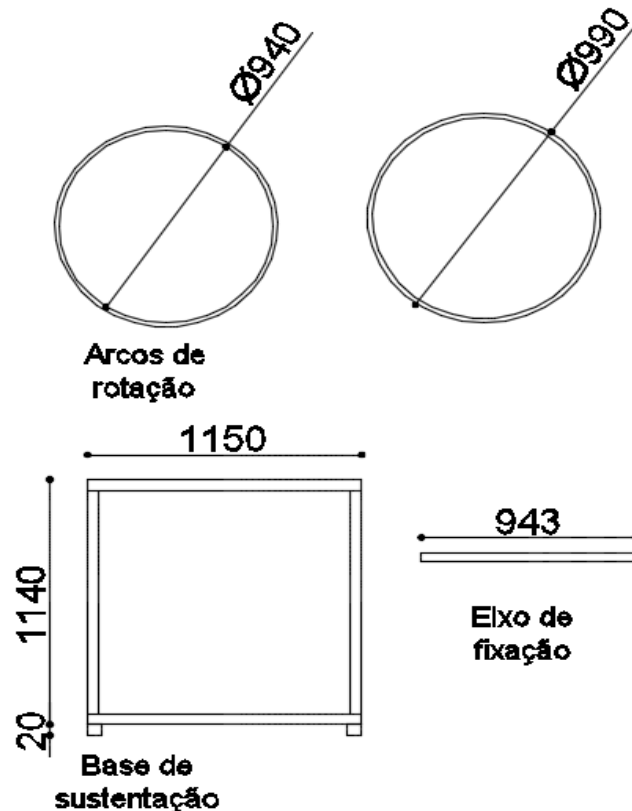


Figura 8 – Vista em 2D.

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

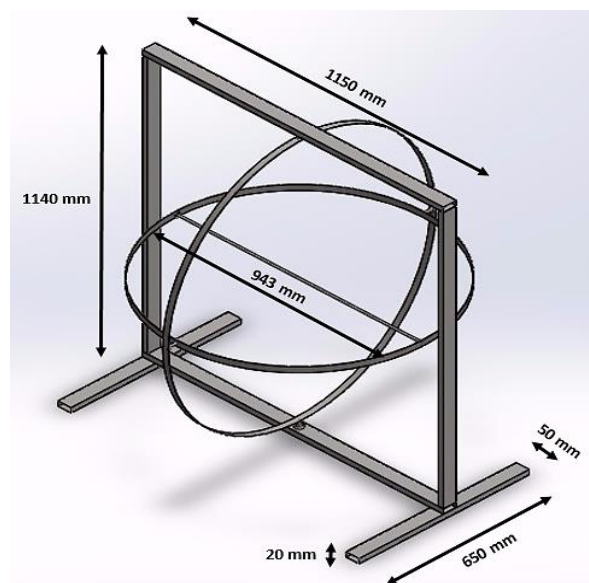


Figura 9 – Vista em 3D.

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

- O material utilizado foi: metalon galvanizado 50x30mm, barra chata de aço carbono 1/2"x1/8", barra redonda de aço carbono Ø1/2", tarugo de aço 1020 Ø1", rolamentos fixo de esfera com 10mm de diâmetro interno 19mm diâmetro externo e a pintura feita de tinta spray preto de uso geral. Os materiais foram escolhidos pelo baixo preço de mercado, por serem leves e suportarem os esforços dinâmicos.

5.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Para a fabricação da plataforma foi usado os conhecimentos adquiridos na área da soldagem, usinagem e montagem de peças. A plataforma é composta por: base de sustentação (feita por metalon), arcos de rotação (feito pela barra chata), alojamento dos rolamentos (feito de tarugo de aço) e eixo de fixação (feito de barra redonda).

Inicialmente, na primeira etapa, foi projetado a plataforma ilustrado na Figura 8 e 9, utilizando o software SolidWorks® e baseando-se nas dimensões do quadricóptero utilizado no trabalho. A segunda etapa foi a de construção e montagem, utilizando a soldagem e realizando usinagem. Essa etapa da fabricação teve início com o corte das peças da base de sustentação, corte do tarugo para o alojamento dos rolamentos, corte da barra chata para os arcos e da barra redonda para os eixos de fixação nas dimensões desejadas pelo projeto, utilizando a máquina serra fita. Em seguida iniciou-se a etapa de soldagem, onde foi soldado

as barras chatas formando os arcos de sustentação, como exposto na Figura 10, e soldado o metalon formando a base da plataforma, de acordo com a Figura 11.



Figura 10 – Arcos de Sustentação.

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).



Figura 11 – Base da Plataforma.

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Os eixos de fixação, feitos de barra redonda, foram usinados em um torno mecânico afim de deixá-lo nas dimensões projetadas. Os rolamentos fixos de esfera são responsáveis por melhorar o movimento de rotação diminuindo o atrito entre as partes móveis, os arcos e eixos. Para fixação dos rolamentos foram confeccionados alojamentos, de tarugos de aço 1020. Primeiro foi usinado o tarugo deixando nas dimensões desejáveis, logo após soldado junto a base de sustentação e aos arcos de rotação de forma que não ocorra movimento relativo entre as superfícies fixadas durante o funcionamento ou quando sob carga. Por fim, a

barra redonda tem a função de fixar o quadricóptero e permitir o movimento sobre seu eixo. A Figura 12 mostra o processo de montagem dos componentes da plataforma.



Figura 12 – Montagem da Plataforma.

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

5.4 TESTE DE VALIDAÇÃO DA PLATAFORMA

Para o teste foi desenvolvido um controle PID (Proporcional, Integral e Derivativo) que são baseados em resposta a uma equação matemática. O controlador calcula um valor de erro, diferença entre a medida da variável e um valor desejado, ou *setpoint*. Em outras palavras, o controlador desenvolvido ajusta de acordo com a necessidade a velocidade dos motores individualmente do quadricóptero. Em Dantas (2017) estão contidas as informações maiores sobre esse controle PID.

Para a validação da plataforma foi realizado um teste simulando um plano de voo afim de ajustar as velocidades dos motores do quadricóptero. O teste foi realizado em um ambiente fechado da seguinte maneira: fixando o quadricóptero ao eixo central da plataforma com os motores desligados e, em seguida, foi conectado o controle PID. Após ligar todos os motores o mesmo tem que permanecer parado, plainando. Se tentar girar, em qualquer direção, o controlador PID vai está programado para perceber essa mudança e vai informar que alguns motores estão precisando de mais velocidade que outros, com isso ajustando todo sistema. Durante os testes foram aplicadas também velocidades distintas nos motores obtendo assim, movimentos de rotação diversos em torno dos seus eixos. A plataforma teve o desempenho

satisfatório pois na primeira situação conseguiu ficar parada com o quadricóptero plainando e na segunda situação se movimentou livremente nos seis graus de liberdade.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após todo processo de fabricação descrito no capítulo anterior, a Figura 13 mostra a plataforma desenvolvida com toda estrutura adequada e devidamente pintada, com o quadricóptero instalado.

Durante os testes foram aplicadas velocidades nos motores a fim de obter movimentos de rotação em torno dos eixos e foi verificado que o quadricóptero conseguiu se movimentar livremente, em seis graus de liberdade, atingindo assim o objetivo do trabalho. Importante ressaltar que tivemos uma pequena dificuldade em fixar o quadricóptero ao eixo central, o problema foi resolvido aplicando um parafuso passante prendendo o quadricóptero ao eixo. Lembrando que as articulações compostas por rolamento minimizaram bastante o atrito gerado pela rotações das articulações entre os componentes, uma vez que, não foi constatado vibração visível em todo conjunto plataforma/quadricóptero. Todo o sistema conseguiu girar livremente.



Figura 12 – Plataforma de Testes com o Quadricóptero.

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Diante das análises realizadas nesse trabalho, com o foco principal desse estudo em construir uma plataforma de testes utilizando materiais de baixo custo, o projeto apresentado

pode ser uma alternativa para reciclagem de materiais como os materiais encontrados em sucatas e ferros velhos. Para o fim proposto, a plataforma apresenta uma boa relação custo x benefício e além disso, os processos de construção e montagem são simples. Importante ressaltar que toda a parte de projeto, construção e montagem, como: soldagem, usinagem e projeto foram feitos de acordo com a experiência profissional do autor do trabalho.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho prático, foram apresentados componentes para a construção e montagem de uma plataforma para testes em quadricópteros. Entendendo e analisando o princípios de funcionamento afim de projetá-la de tal forma para obter o movimento de rotação livre nos três eixos (x, y e z).

Foi fabricado um modelo de plataforma eficiente, onde o conceito se assemelha a um giroscópio. Seus componentes podem girar livremente em torno de seus eixos geométricos perpendiculares entre si que se interceptam no seu centro de gravidade. Nesse modelo de plataforma, o quadricóptero é fixado no eixo central, deixando todo o sistema livre para realizar os testes pretendidos para o trabalho. Não haverá interferência entre os eixos e os arcos fazendo com que todo o sistema gire de forma eficaz. O modelo criado, diferentemente dos desenvolvidos pelas literaturas aqui citadas, permite que o sistema simule de forma precisa um comando de voo, pois a estrutura não apresenta limitações nos movimentos a serem desempenhados pelo quadricóptero.

Os materiais para a construção desse trabalho foram escolhidos pelo baixo preço de mercado, por serem leves e suportarem os esforços dinâmicos. Utilizou: metalon, barra chata, barra redonda, tarugo de aço, rolamentos fixo de esfera e a pintura. A fabricação da plataforma foi realizada de forma simples, utilizando o *software* SolidWorks® para projetar peças, a soldagem para unir os componentes, a usinagem para fabricá-las e a pintura para minimizar a oxidação. O teste para validar a plataforma foi o de balanceamento, onde foi realizado em um ambiente fechado e com auxílio do controlador PID desenvolvido por Dantas (2017).

Para o fim proposto, a plataforma foi fabricada de forma eficiente atingindo o objetivo deste trabalho. Apresenta uma boa relação custo x benefício e os processos de construção e montagem são simples e podem ser repassados com facilidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Diogo. **Event-Triggered Attitude Stabilization of a Quadcopter**. 2014.

ALVES, Ana Sophia Cavalcante. **Estudo e Aplicação de Técnicas de Controle Embarcadas para Estabilização de Voo de Quadricópteros**. 2012. 121 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

BACK, Nelson; OGLIARI, André; SILVA, Jonny Carlos. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

BENIGNO, Tayara Crystina Pereira. **Modelagem Matemática e Controle de Atitude e Posição do Quadrotor**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

BOUABDALLAH, Samir. **Design and Control of Quadrotors with Application to Autonomous Flying**. 2007. 155 f. Tese (Doutorado) – Faculté des Sciences et Techniques de L'ingénieur, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2007.

BRANDÃO, Almir. Silvério. et al. **Modelagem e Controle Não Linear Subatuado de um Quadrotor**: Parte 1. Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 19., 2012, Campina Grande. Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2012). Campina Grande: UFCG, 2012. p. 449-454.

COZA, Crus.; MACNAB, Calvin. **A new robust adaptive-Fuzzy control method applied to quadrotor helicopter stabilization, Annual meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society**, (2006). NAFIPS 2006. pp. 454–458.

CUBIÇA, Savio. José. Hilton. **Modelagem, simulação e controle de um giroscópio** – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2014. XI, 54 p.: il.; 29, 7cm.

DANTAS, Flávia Elionara Freire. **Controle para um veículo aéreo não tripulado do tipo quadricóptero.** – 2017. 64f. : il.

JOYO, Kamran *et al.* **Altitude and Horizontal Motion Control of Quadrotor UAV in the Presence of Air Turbulence.** In: IEEE CONFERENCE ON SYSTEMS, PROCESS AND CONTROL (ICSPC), 2013, Kuala Lumpur. Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Systems, Process and Control. Kuala Lumpur: IEEE, 2013. p. 16-20.

LEISHMAN, Jash. Gordon. **A History of Helicopter Flight.** s.l. : University of Maryland, Disponível em: <http://terpconnect.umd.edu/~leishman/Aero/history.html>, 2000.

MAGNUSSEN, Øyvind; SKJØNHAUG, Kjell Eivind. **Modeling, design and experimental study for a quadcopter system construction.** 2011.

MIRCEA, Handre. *et al.* **Simulation of nonlinear position and attitude control for micro quadcopter with low disturbance controlled by Sliding-mode and Backstepping methods.** Acta Technica Napocensis-series: Applied mathematics, Mechanics, and Engineering, v. 58, n. 3, 2015.

MIRANDA, Brun Costa *et al.* **Controle Baseado em Lógica Fuzzy para Veículos Aéreos Não Tripulados do Tipo Octorotor,** Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Fortaleza, 2013.

SÁ, Rejane Cavalcante. **Construção, Modelagem Dinâmica e Controle PID para Estabilidade de um Veículo Aéreo Não Tripulado do Tipo Quadrirotor.** 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado em Teleinformática) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Teleinformática, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SANCA, Armando Silva. **Modelagem e Controle de um Microveículo Aéreo: Uma Aplicação de Estabilidade Robusta Com a Técnica Backstepping em uma Estrutura Hexarrotor.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Natal, 2013.

SILVA, Monique Fernandes. (2015) **Modelagem Dinâmica, Identificação de Parâmetros e Controle de um Veículo Aéreo Não Tripulado do Tipo Quadricóptero. Dissertação.** Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

VIEIRA, José Carlos da Silva. **Plataforma Móvel Aérea QuadRotor. Dissertação, Mestrado. Universidade do Minho, 2011.**