

TURBINA A GÁS

Bruno Costa ¹, Luan dos Santos ², Sergio Botelho ³, Thadeu Piemonti ⁴,
Marcos Henrique ⁵, Luis Quintino ⁶, Valter Menegatti ⁷,

RESUMO

Este artigo irá abordar o tema turbinas, mais especificamente turbinas a gás, que são as mesmas utilizadas em aeronaves, neste mesmo será descrita um pouco da história de sua criação, desenvolvimento e evolução no decorrer do tempo e como é aplicado atualmente, o foco principal deste artigo é a elaboração de um projeto que represente o funcionamento do modelo de uma turbina a qual será simulado em um tamanho reduzido afim de demonstrar uma ideia de como esta turbina seria em seu tamanho real a metodologia de montagem e elaboração. Todos os resultados que serão demonstrados na fase de desenvolvimento e testes serão apresentados.

Palavras-chave: Turbina, historia, projeto.

¹Graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Carlos Drummond de Andrade – Tatuapé – SP, brunnocs1995@hotmail.com.

²Graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Carlos Drummond de Andrade – Tatuapé – SP, luanhsd5@gmail.com.

³Graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Carlos Drummond de Andrade – Tatuapé – SP, shprojetos@gmail.com.

⁴Graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Carlos Drummond de Andrade – Tatuapé – SP, joserobertohigino@hotmail.com

⁵Coordenador e professor Orientador do curso de Graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Carlos Drummond de Andrade – Tatuapé – SP, prof.marcoshenrique@drummond.com.br

⁶Coordenador e professor Orientador do curso de Graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Carlos Drummond de Andrade – Tatuapé – SP, luis.quintino@drummond.com.br.

⁷Coordenador e professor Orientador do curso de Graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Carlos Drummond de Andrade – Tatuapé – SP, Valtermenegatti@gmail.com

1. Introdução

Turbina pode ser definida de maneira simples como um equipamento construído para captar energia mecânica e convertê-la em trabalho de eixo. Um fato conhecido sobre turbinas é sua larga aplicação na geração de energia e propulsão a jato. Para entender mais profundamente como o referido equipamento se tornou uma das máquinas mais importantes da engenharia atual é preciso citar a história de sua criação.

Podemos iniciar com Heron de Alexandria e seu invento o Eolipila, que é basicamente uma esfera que utiliza vapor direcionado através de dois tubos para gerar movimento em seu próprio eixo. Porém, apesar do potencial para ser usada como fonte de energia mecânica, esta descoberta foi tratada apenas como um experimento científico curioso. (PEREIRA; 2010)



Figura 1. Ilustração representativa de Eolipila. Fonte - PEREIRA; 2010.

Com a invenção do foguete no século XI, os chineses também tiveram sua contribuição para o que futuramente seria utilizado como meio de propulsão de aviões. Entretanto na época essa invenção era utilizada apenas como fogos de artifício, para meio de entretenimento e posteriormente essa tecnologia passou a ser usada para propelar armamentos de efeito moral.

Em 1290, após estudar teorias de matemáticos renomados como o inventor grego Arquimedes, um monge inglês chamado Roger Bacon escreveu que o ar, assim como a água, tinha algumas características de sólidos, e chegou à conclusão de que se pudesse ser desenvolvido uma máquina com as características adequadas, o ar a suportaria assim como a água suporta um navio. (PEREIRA; 2010)

1.1 Hélices

Quanto ao surgimento da hélice sabe-se que na antiga China elas já eram utilizadas para propulsionar embarcações, e também há esboços do matemático, engenheiro e inventor Leonardo da Vinci que retratava por meio de desenhos, planos para um helicóptero primitivo que fazia uso de uma hélice sólida sem pás. Possivelmente, ele tenha sido o primeiro homem a relacionar hélices com propulsão aérea.

O pioneiro em projeção de hélices foi Alberto Santos Dumont, a projetar hélices com o intuito de usá-las para propelar aeronaves. Ele aplicou o seu conhecimento para produzir uma hélice com pás de alumínio no seu biplanador 14 bis. Alguns dos seus projetos usavam uma folha de alumínio dobrado como pás, foi a primeira vez que o alumínio foi usado na construção de hélices.

Os estudos sobre as hélices avançaram com os irmãos Wright. Nesta época o conhecimento que se tinha sobre o assunto era obtido apenas de maneira prática, ou seja, tentativa e erro. A principal descoberta dos irmãos Wright foi que o ângulo de ataque variava de ponto para ponto nas pás em relação ao movimento, com isso se fazia necessário uma curvatura ou torção ao longo da envergadura de cada pá, isso fez com que suas pás de hélices fossem apenas 5% menos eficientes em comparação com as que são usadas atualmente, aproximadamente um século depois. (ARAUJO; 2017)



Figura 2. Hélices em funcionamento. Fonte: ARAUJO; 2017

1.2 Motores turbojatos

Já foram citadas algumas datas e eventos que tiveram importância para o desenvolvimento das turbinas aeronáuticas, todavia, foi apenas no século 20 em que diversos engenheiros progrediram com os estudos, até que em 1928 a turbina a gás finalmente tomou corpo com o conceito de sir Frank Whittle, dando origem ao formato dos turbojatos que conhecemos atualmente. Whittle era apenas um cadete da força aérea real britânica quando submeteu suas ideias sobre motor e reação a turbina aos seus superiores, seu conceito foi patenteado em 1932 e tinha como base dois compressores axiais alimentando um compressor centrífugo de tal modo que o ar era comprimido e direcionado para a câmara onde se misturava com combustível e posteriormente esse fluxo era dirigido as turbinas. Entretanto, seu conceito só saiu do papel em 1937 quando conseguiu funcionar um protótipo da turbina a gás. (JORDÃO; 2012)

Paralelamente ao projeto de Whittle, que mesmo com seu potencial reconhecido, não despertou atenção dos fabricantes e do governo britânico. Na Alemanha o engenheiro Hans Von ohain trabalhava em um conceito semelhante referente a propulsão por meio de turbinas a gás, e mesmo Hans tendo conseguido esboçar suas ideias apenas de maneira experimental, a indústria Ernst Heinkel em pouco tempo firmou parceria para que fossem desenvolvidas aeronaves dotadas de um motor a reação a turbina. A partir desse ponto o desenvolvimento dessa tecnologia acabou se dando por uma corrida entre ingleses e alemães, principalmente com o início da segunda grande guerra. Apesar de nenhum combate aéreo ter ocorrido entre turbojatos, os ingleses avançaram bastante com a tecnologia, o provável motivo de não a usarem nas batalhas era o receio que a Alemanha obtivesse essa tecnologia. Depois desses acontecimentos os motores a jato inauguraram uma nova era tanto na aviação militar quanto na civil.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo de uma turbina, para analisar a propulsão que pás, com tamanho reduzido e sendo movimentadas por um motor elétrico, podem gerar. Além da experiência de vivenciar todas as dificuldades que envolve uma montagem desse tipo, onde tantas outras pessoas que estudaram turbinas tiveram, e por fim relatar todos os resultados. (ARAUJO; 2017)



Figura 3. Motor Turbo jato J85/CJ-610 Fonte: ARAUJO; 2017

2. Metodologia

Para ser efetuada a montagem de uma turbina é extremamente necessário entender a terceira lei de Newton, esta lei afirma que para cada ação há uma reação igual ou oposta. Entende-se por "ação" a força que o corpo exerce em um segundo, e reação a força que um segundo corpo exerce sobre o primeiro. Este é o princípio físico por trás do funcionamento de um turbojato. (MORAN; 2103).

A turbina capta o ar pela parte da frente onde ele é pressurizado até um nível elevado, após isso ele é misturado ao combustível do avião e é feita a combustão, produzindo um jato de gases quentes que gera a aceleração do eixo da turbina, fazendo com que mais ar seja sugado pela parte da frente e maior seja a pressão do ar. Para que o movimento do avião seja iniciado, a força exercida pelos gases para trás deve ser maior que a força de atrito nos rolamentos das rodas do avião, causando assim propulsão para frente. Em resumo tudo pode ser definido pela terceira lei de Newton. O gás da turbina é expelido pelo avião de modo que ele exerce uma força para trás, e como toda ação tem uma reação, surge uma força contrária exercida pelos gases da turbina, fazendo com que o avião se movimente para a frente. (PAUL; 2009).

O nosso protótipo baseia-se inteiramente nos turbojatos, porém existem diversas diferenças, a principal delas é o meio pela qual será gerada a rotação do eixo da turbina. Não usaremos um motor a combustão, e sim um motor elétrico localizado na parte externa da turbina.

A seguir, será detalhada o processo de montagem do protótipo. Para melhor compreensão, na maioria das vezes comparamos as partes que constituem uma turbina

profissional (que são fabricadas por processo industrial), com as que fizemos ou utilizamos de outros equipamentos para operarem seu papel no nosso projeto.

2.1 Cubo central ou eixo da turbina

O eixo é responsável pela sustentação das hélices nas suas devidas posições, assim como por manter a distância necessária e sua ligação com o encapsulamento da turbina, de tal modo que ele precisa ter uma parte móvel para permitir o giro das hélices e outra fixa e estável para dar sustento ao encapsulamento na figura 4 e possível ter uma ideia do eixo central.

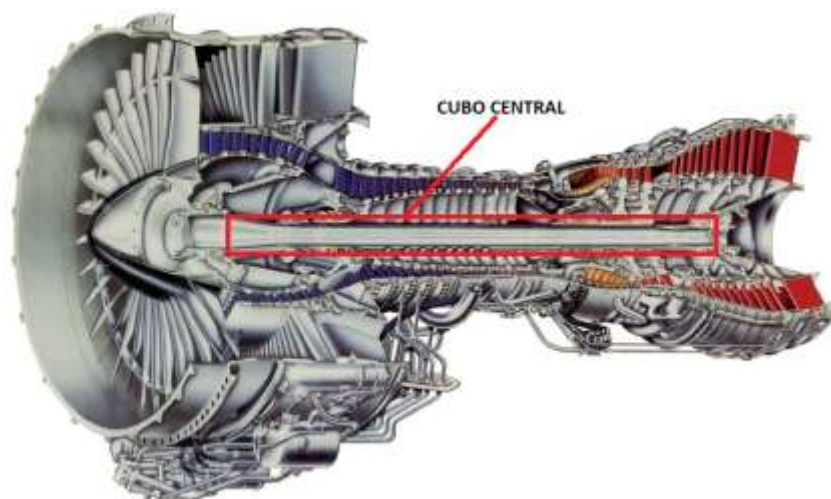


Figura 4. Cubo central de uma turbina Fonte: Pratt & Whitney; 2107

Para desempenhar esse papel utilizamos um cubo de rolamento para bicicletas, uma peça que atende as características necessárias para o projeto, além de tamanho apropriado, possui um formato cilíndrico e rolamento, ou seja, ela é constituída de parede dupla com cavidades internas onde se localizam esferas que movem os rolamentos, permitindo assim que o eixo gire de forma constante e a parte externa do cubo permaneça parada e fixa ao encapsulamento. (LIMA; 2107)



Figura 5. Cubo de rolamento para bicicletas. Fonte: LIMA; 2017

2.2 Ventoinha e turbina

A parte do turbojato responsável pela captação do ar para se iniciar o efeito de propulsão é a ventoinha. Ela se situa na entrada da turbina e o seu funcionamento é similar ao de um ventilador. O modo pelo qual ela desenvolve esse papel se dá através de suas pás que formam uma hélice. Quanto ao seu rendimento, uma hélice em seu melhor regime atinge em torno de 50% a 87% de eficiência, pois há vários fatores que influenciam no seu desempenho, como por exemplo, o ângulo de ataque das pás ou o ângulo entre a direção da velocidade resultante. (FILHO; 2014)

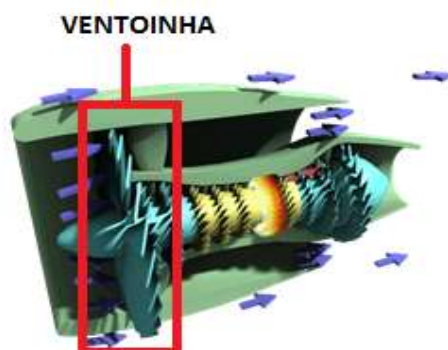


Figura 6. Representação de um turbina. Fonte: FILHO; 2014.

Diversos foram os desafios para criações das hélices do projeto, tanto para a da ventoinha frontal, como para as hélices traseiras. Como a terceira lei de Newton explica,

no processo de impulsão realizado pela turbina atuam duas forças: uma de ação e outra de reação. Quando nós tratamos dos turbojatos elas são classificadas como tração e força de arrasto, nesta ordem e o que determina o equilíbrio dessas duas forças é justamente o ângulo das pás de cada hélice. (FILHO; 2014)



Figura 7. Foto da hélice (lado esquerdo) e da ventoinha acoplada ao eixo (lado direito).

Fonte: AUTORES.

O processo contrário da captação é a impulsão do ar para fora, e os componentes responsáveis por essa tarefa em nosso projeto são as hélices traseiras que foram desenvolvidas da mesma forma que a da ventoinha, porém, com a finalidade de empurrar o ar ao invés de sugá-lo além da quantidade ser maior. Foram usadas duas hélices para desempenhar esse papel, como apresentado na figura 8.

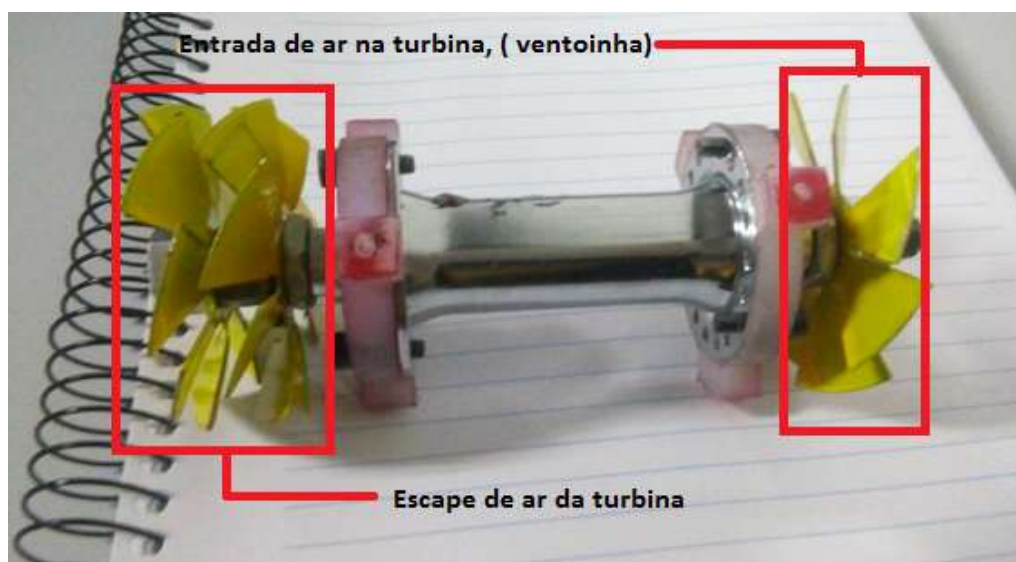


Figura 8. Foto das hélices responsáveis pela captação e escape de ar da turbina. Fonte: AUTORES.

2.3 Motor

Os motores utilizados nos turbojatos são do tipo combustão interna. Depois que o ar é sugado pela ventoinha ele passa por um compressor rotativo para ser comprimido em sucessivos estágios, de modo que ele atinja maior pressão antes de passar pela câmara de combustão. O ar comprimido se mistura ao combustível, que é queimado na câmara de combustão com auxílio de ignitores. Este processo faz com que a temperatura do gás seja elevada a níveis significativos, fazendo com que o referido se expanda através da turbina na qual a força é extraída para movimentar o compressor. O gás expandido sai da turbina através dos bocais de saída do motor, produzindo um jato de alta velocidade.(WALKER; 2012).

De maneira resumida, o processo inteiro é similar ao motor de quatro tempos, porém, a admissão, compressão, explosão e exaustão se dão ao mesmo tempo em diferentes seções do motor. A eficiência mecânica deste motor depende da razão de compressão (pressão de combustão/pressão de entrada) e da temperatura da turbina no ciclo.

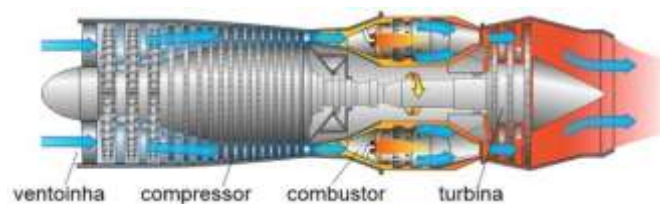


Figura 9. Representação de uma turbina e seus estágios. Fonte: JORDÃO; 2012.

O motor usado em nosso projeto foi do tipo elétrico de baixa potência, sua escolha será justificada no decorrer do trabalho assim como suas características de funcionamento e os resultados que obtivemos com ele. (JORDÃO; 2012)



Figura 10. Foto do Motor DC de baixa potência. Fonte: AUTORES.

2.4 Custo do Projeto

A seguir será apresentada uma tabela com os gastos de cada material necessário para o projeto.

Tabela 1. Custo e quantidade dos matérias

Material	Quantidade	Preço (Reais)
motor eletrico	1	29,8
cubo de rolamento	1	10
Chapa de aço inox	1	19,99
base de madeira	1	25
cano de PVC	1	8,85
Total :		93,64

Fonte: AUTORES.

No item da tabela 1, chapa de inox, consta o preço do material que utilizamos para desenvolver as hélices, assim como o cano de PVC foi o material do encapsulamento.

3. Resultados e Discussão

No decorrer da montagem ficou claro que nosso maior desafio para realização deste projeto seria equilibrar o peso dos materiais utilizados com sua eficiência, tais como resistência, quando se trata de peças para estrutura e desempenho das partes que geram movimento ou são movimentadas. Para que a melhor escolha fosse tomada, fizemos diversos testes e os resultados serão demonstrados e analisados, assim como a justificativa de cada escolha.

3.1 Encapsulamento

Na primeira tentativa de montagem do encapsulamento adotamos como critério principal dar uma maior atenção para a resistência dessa peça. Essa decisão foi tomada

por consequência do seu principal papel para turbina, que é encapsular seu eixo e suas hélices, resistindo a todas as vibrações consequente do trabalho realizado pelo motor e da passagem de ar. Tais motivos nos levaram a escolher o aço SAE 1020 que é um tipo de aço carbono, muito utilizado em componentes mecânicos como engrenagens, eixos, virabrequins, eixos-comando, pinos guia, entre outros. Utilizando torno mecânico o aço foi modulado no formato necessário.



Figura 11. Foto da primeira tentativa de encapsulamento. Fonte: AUTORES.

No fim do processo obtivemos um encapsulamento com comprimento de 18,5 cm e raio de 7,2 cm e o objetivo de ser uma peça resistente foi alcançado, porém seu peso ficou em 800g, o que foi muito acima do esperado. Surgia então um novo problema, o benefício de resistividade da peça não compensava o seu peso, pois de maneira alguma seria possível a utilizarmos, se quiséssemos atingir um efeito de propulsão satisfatório.

Para solucionarmos o problema o aço foi substituído por um material mais leve, este material foi o cano PVC de 75mm de raio. Para modelarmos no formato da turbina utilizamos massa plástica, com isso obtivemos um encapsulamento com a resistência necessária e significativamente mais leve como apresentado na tabela 2

Tabela 2. Diferença de peso dos encapsulamentos

MATERIAL	PESO EM (g)
Encapsulamento com aço	800g
Encapsulamento com cano PVC	350g
DIFERENÇA:	450g

Fonte: AUTORES.

A figura 12 apresenta a foto do encapsulamento final escolhido para operar no projeto.



Figura 12. Foto do encapsulamento utilizado no projeto. Fonte: AUTORES.

3.2 Motor

Quanto ao motor, a principal dificuldade da escolha se deu pelo fato de ser necessário haver um equilíbrio de torque (força) e velocidade, pois ele deve ter torque suficiente para movimentar o eixo e conseqüentemente as pás, assim como a velocidade das hélices é de extrema importância para que uma quantidade suficiente de ar seja su-

gada e expelida, de modo que a turbina acoplada a base de madeira vença o atrito e gere um deslocamento. Nos testes usamos 4 tipos diferentes de motor. Para melhor compreensão eles foram numerados de 1 a 4 como mostra a figura 13.



Figura 13. Foto dos quatro motores testados. Fonte: AUTORES.

As características de cada motor são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Características dos motores

	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4
VELOCIDADE (RPM)	24000 RPM	17000 RPM	7800 RPM	12000 RPM
TENSÃO (V)	7.5V	3V	24v	12v
PESO (g)	32g	50g	90g	80g

Fonte: AUTORES.

3.2.1 Teste com motor 1

O primeiro motor que testamos foi um micro motor elétrico DC com tensão nominal de 4.7V a 7.5V, que é a tensão recomendada pelo fabricante. O motivo principal desse motor ter sido escolhido para testes foi como meio comparativo, pois já tínhamos receio de que ele não teria força suficiente para movimentar o eixo da turbina. Todavia, ele possui duas características muito favoráveis: o seu peso, que é de apenas 32g e sua alta velocidade, de incríveis 24000 RPM (rotação por minuto) quando alimentado com 7.5V.



Figura 14. Foto do motor de teste 1. Fonte: AUTORES.

Se ele fosse capaz de causar rotação no eixo com seu desempenho total a turbina teria apresentado resultados acima do esperado e ele com toda certeza seria o motor escolhido. Porém, não foi o que ocorreu, ao ligarmos o motor ele não teve torque suficiente para causar movimento do eixo, comprovando assim que deveríamos equilibrar torque e RPM na escolha do motor, para atingirmos um resultado satisfatório.

3.2.2 Teste com motor 2

Referente ao motor de número 2, ele também possui uma alta velocidade de 17000 RPM quando energizado com apenas 3v e seu peso de 50g também é muito baixo. Esse motor é normalmente utilizado para tracionar carros de brinquedo por esse fato ele possui uma tração relativamente superior ao do motor número 1 e se tratando de velocidade e peso, só ficou atrás do motor de testes número 1. Na prática, quando acoplado ao eixo da turbina ele não conseguiu atingir 100% de sua capacidade, longe disso, a turbina se mexia apenas levemente e para que isso ocorresse era necessário dar um impulso no eixo para a inércia ser vencida.



Figura 15. Foto do motor de teste 2. Fonte: AUTORES.

3.2.3 Teste com os motores 3 e 4

Como os motores 1 e 2 não tiveram torque suficiente para movimentar o eixo da turbina atuando em sua capacidade máxima, a decisão ficou entre os motores de números 3 e 4. Ambos tem torque necessário para gerarem movimento no eixo sem que in-

fluencie no seu desempenho. Neste caso avaliamos os seguintes critérios: tensão em volts (V), ou seja, qual motor desempenha um melhor papel com menos tensão de alimentação, peso em gramas (g), para que sua massa não influencie na propulsão da turbina e por último, velocidade angular em rotações por minuto (RPM).



Figura 16. Foto dos motores de testes 3 e 4. Fonte: AUTORES.

Os resultados obtidos para ambos os motores estão apresentados no gráfico da figura 17.

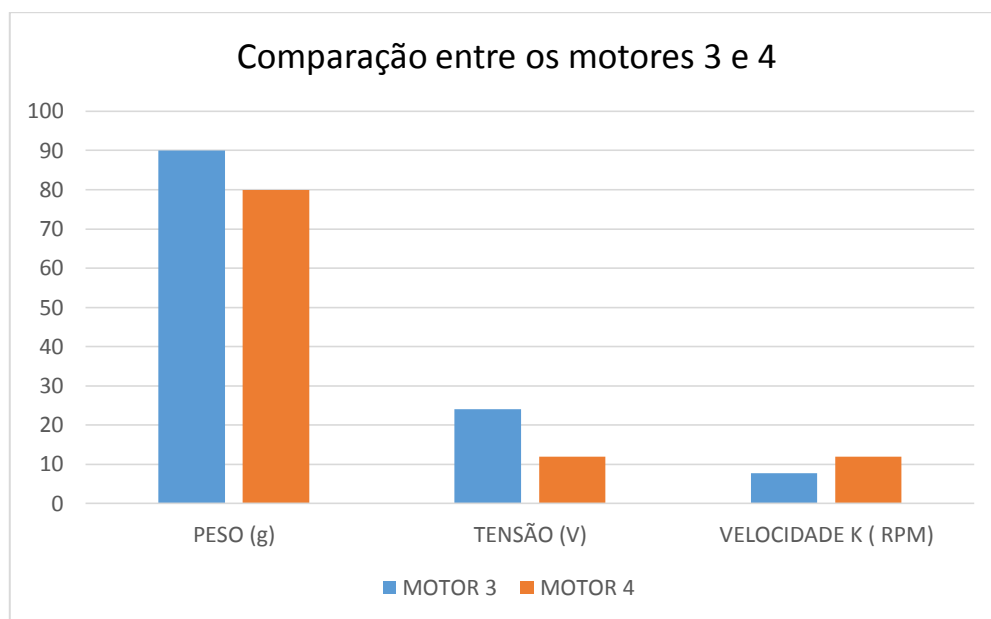


Figura 17. Gráfico da comparação entre os motores 3 e 4. Fonte: AUTORES.

Analisando os dados, fica claro que o motor de número 4 obtém vantagem em todos os critérios em relação ao motor de número 3, sua massa é menor e ele atinge uma velocidade maior com uma tensão de alimentação inferior. Outro motivo que nos levou a escolher o motor de número 4 foi o fato deste modelo ter sido fabricado para uma função similar à que exerce em nosso projeto, que é a de gerar movimento a uma hélice, pois sua principal utilização é em secadores de cabelo, enquanto o modelo número 3 é normalmente usado em impressoras onde não exerce um papel de giro constante e usá-lo desta forma faria com que não atingisse todo seu potencial, além de ter uma vida útil menor.



Figura 18. Foto do motor acoplado ao eixo da turbina. Fonte: AUTORES.



Figura 19. Foto final do protótipo. Fonte: AUTORES.

4. Conclusões

A realização deste trabalho nos proporcionou uma experiência muito satisfatória referente aos meios necessários para obtenção de resultados em uma montagem dessa complexidade. Um fato que ficou claro no processo de desenvolvimento foi que, quando se trata da escolha de material ou modelo de peça, sempre se faz necessário equilibrar as vantagens que ele traz para o projeto com suas desvantagens. Não poderíamos apenas visar o desempenho do referido equipamento em sua função. Dois exemplos deixam isso claro: a escolha do encapsulamento e motor. O encapsulamento inicial teve de ser substituído mesmo atendendo ao objetivo principal, que era dar resistência a turbina, isso ocorreu porque sua desvantagem referente ao peso era maior do que seu benefício de resistência, já na escolha do motor a ideia inicial era de um motor com maior RPM (rotação por minuto) pois dessa forma, a turbina geraria mais propulsão, todavia, notamos que os motores de maior velocidade eram os que tinham menor tamanho e torque, isso se dá pelo fato deles não terem sido projetados para movimentar uma carga como o do cubo central de bicicleta. Até mesmo os motores de pequeno porte, que conseguiam movimentar o eixo da turbina, deixavam claro em sua performance que não estavam atuando em sua capacidade máxima, por isso se fez necessário a escolha de um motor com o RPM um pouco menor, mas de torque suficiente para que o mesmo atingisse 100% de sua capacidade.

De modo geral, concluímos que o projeto atendeu as expectativas, tanto na dificuldade do processo de montagem e das pesquisas, quanto nos resultados obtidos. Foi possível notar que mesmo sem a utilização de um motor potente a combustão, e sem os compressores rotativos, a terceira lei de Newton se fez presente, conseguimos captar o ar pela parte da frente e repeli-lo com velocidade na parte de trás pelas turbinas, e o rendimento aumentava regulando a curvatura das pás de cada hélice, dessa forma gerando movimento.

5. Agradecimentos

Agradecemos a Deus por nos conceder a vida, aos nossos pais pela dedicação e ensinamento, ao mestres e coordenador Valter Menegatti da Universidade Drummond pelo conhecimento transmitido e apoio, ao amigo graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Carlos Drummond de Andrade, Jorge L. Landim pelo apoio dado.

Referências

ARAÚJO, D. **Turbinas aeronáuticas: história, conceitos e empregos**. Disponível em: <<http://www.autoentusiastas.com.br/2017/01/turbinas-historia-conceitos-empregos-parte-2/>>. Acesso em: 28 Abr.2017.

FILHO, Joao Vieira Santana. **Turbina de avião conceitos**. Disponível em: < ciencia-tecnologiafoco.blogspot.com.br >out-2014. Acesso em: 28 Abr.2017.

JORDÃO, Fabio. **Como funciona um motor com turbina a gás de avião**. Disponível em: < <https://www.tecmundo.com.br/aviao/33110-como-funciona-um-motor-com-turbina-a-gas-de-um-aviao-infografico-.htm> > 2012. Acesso em: 28 Abr.2017.

LIMA, Iran. **Qual Melhor cubo?** - Disponível em: reciferiders.blogspot.com.br Acesso em 12 Maio, 2017

MORAN, M. SHAPIRO², H. BOETTNER³, D. BAILEY⁴, M. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 7. ed.. LTC Editora, 2013 - RJ.

PAUL, A. GENE², M. **Aplicações das leis de newton**. Física, mecânica, oscilações e ondas termodinâmica. 5.ed.. LTC Editora, 2009 - RJ.

PEREIRA, Célio Roberto. **Invenções da antiguidade – Eolipila**. Disponível em: < historiofobia.blogspot.com.br/2010/11/invencoes-da-antiguidade-eolipila.html >. Acesso em 20 Abr.2017

Pratt & Whitney. **Cubo central de uma turbina** - Disponível em: www.pw.utc.com Acesso em 20 Abr.2017

WALKER, J. **Fundamentos de física**. 9.ed..LTC Editora, 2012- RJ.