

PROJETO DE UMA TURBINA PULSO JATO PARA UTILIZAÇÃO EM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) DE ASA FIXA

Douglas Roberto Zaions¹
Matheus Záttera Chemin²

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo realizado na Universidade do Oeste de Santa Catarina, para aprofundar os conhecimentos sobre o funcionamento e desenvolvimento de Turbinas Pulso Jato para aplicação em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). O desenvolvimento de VANTs possui uma grande participação no cenário da aeronáutica atual, e o projeto da Turbina Pulso Jato focou na elaboração de uma revisão bibliográfica ampla e completa que envolve todo o funcionamento desse tipo de propulsão, evidenciando todas as fases do projeto, características de construção e cálculos para dimensionamento para garantir melhor funcionamento e eficiência. O projeto foi realizado a partir de metodologia de projeto amplamente utilizada na área de engenharia mecânica que possibilitou a adequada aquisição e o tratamento de informações de projeto. Como resultado obteve-se a construção do protótipo do sistema o qual foi preliminarmente testado, evidenciando o funcionamento e os resultados do projeto.

Palavras-chave: Pulso Jato. VANT. Turbina.

1 INTRODUÇÃO

Na última década, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), do inglês *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)*, definidos como plataformas aéreas capazes de operar por controle remoto ou de forma autônoma, têm sido exaustivamente utilizados para vários fins civis e militares para executar perfis de voo e transportar cargas úteis convencionais, como sensores e equipamentos de comunicação. Pela definição os VANTs não transportam nenhum operador humano e usam forças aerodinâmicas para sustentação e sistemas de propulsão. Os VANTs podem ser divididos em duas categorias: (i) Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), do inglês *Remotely Piloted Vehicle (RPV)*, cuja definição é adotada pela Força Aérea Brasileira (FAB) e são sistemas que possuem tecnologia embarcada que permite o cumprimento de missões de reconhecimento aéreo, sendo necessário um piloto, o qual porém, não é exposto a eventuais adversidades decorrentes das missões, pois pilota a aeronave de uma estação de controle terrestre; (ii) *Drone*, termo em inglês utilizado pela literatura técnica especializada que corresponde a uma aeronave sem piloto, que obedece aos comandos armazenados na memória do sistema de orientação.

Atualmente, o desenvolvimento tecnológico (mecânico e eletrônico) tem propiciado a construção de VANTs de pequeno e médio portes para as mais diversas missões envolvendo pequenas, médias ou grandes distâncias a serem percorridas com velocidades baixas e moderadas. Para realizar missões de média e grande distâncias em tempos cada vez mais reduzidos, os VANTs necessitam operar com velocidades cada vez maiores, exigindo motores de propulsão mais potentes e mais onerosos.

Uma das alternativas para otimizar a utilização dos VANTs é o uso da Turbina Pulso Jato que, por ser uma turbina de princípio de funcionamento simples e por não apresentar partes rotacionais, consiste em um sistema de fácil fabricação e pouco oneroso quando comparado com os motores à combustão, elétricos e a jato. Entretanto, para que tal turbina seja utilizada em VANTs, é preciso o desenvolvimento de novas pesquisas com desenvolvimento de protótipos para testar suas funcionalidades.

¹ Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Pós-graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina; Professor no Curso de Engenharia Mecânica na Universidade do Oeste de Santa Catarina; douglas.zaions@unoesc.edu.br

² Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; matheus_chemin@hotmail.com

Nesse contexto, o presente artigo tem por objetivo apresentar os principais resultados obtidos com o projeto de uma Turbina Pulso Jato para utilização em VANT de asa fixa.

Para realização do projeto, utilizou-se a metodologia de projeto de Pahl e Beitz (1996) que serviu de ferramenta para estudar e compreender o funcionamento das turbinas pulso jato bem como avaliar a utilização das turbinas pulso jato em VANT de asa fixa. A aquisição e o tratamento dos dados de projeto exigiram a realização do Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado preconizados por Pahl e Beitz (1996).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

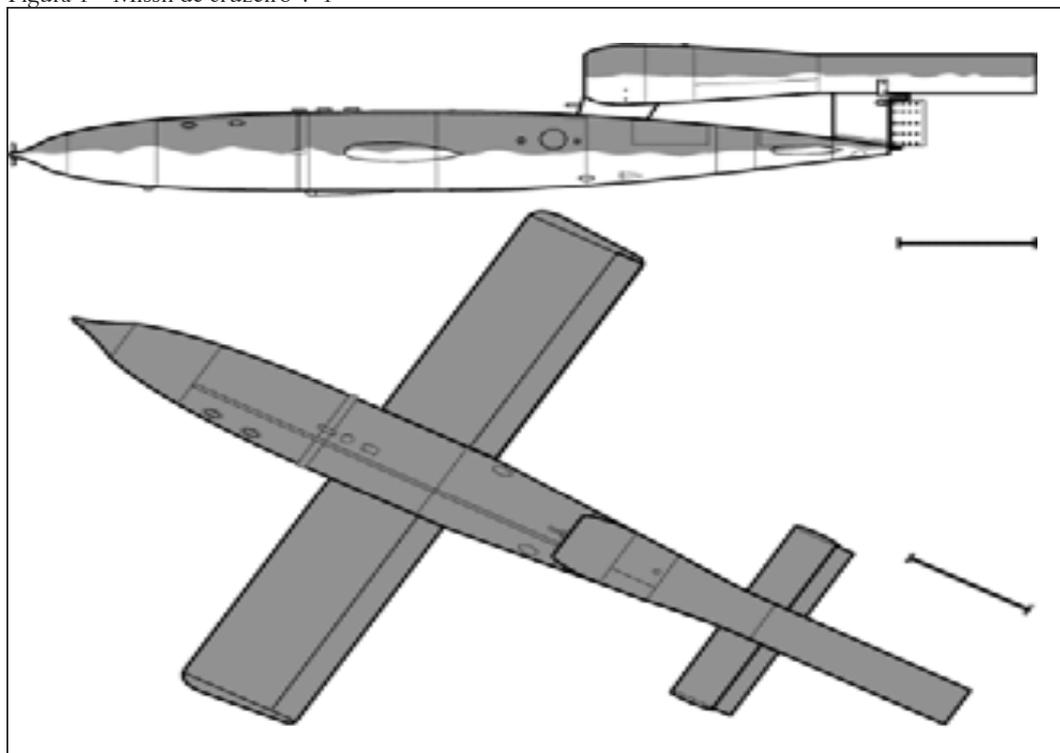
Os veículos aéreos não tripulados (VANT's) ou, do inglês, *unmanned aerial vehicles (UAVs)* são definidos como plataformas de voo (avião, helicóptero, dirigível, etc.) capazes de operar de forma autônoma ou operada remotamente por terra. A ideia de se desenvolverem veículos aéreos autônomos iniciou-se durante a Segunda Guerra Mundial, quando se percebeu que ao invés de se utilizarem pilotos suicidas (como aqueles da Força Aérea Imperial Japonesa), poderiam ser utilizados aviões ou mísseis autônomos, e iniciou-se, então, o desenvolvimento do motor pulso jato.

O motor pulso jato foi inventado por Karavodine em 1908 e foi aperfeiçoado e patenteado pelo engenheiro alemão Paul Schmidt em 1931. Assim, nos anos seguintes, durante a Guerra do Vietnã, os americanos puderam pôr em prática pequenas aeronaves espãs lançadas por outras aeronaves tripuladas que, quando abatidas, não causavam perdas humanas.

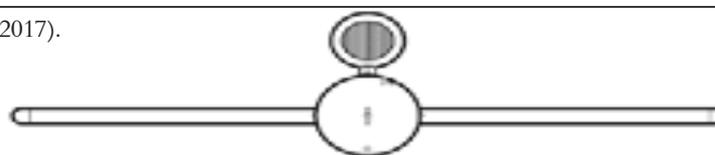
As referidas aeronaves, e também os seus modelos mais atualizados, apresentam diversos sub-sistemas funcionais que garantiam um voo seguro e eficiente para as missões planejadas, sendo o sub-sistema de propulsão um dos mais importantes, pois é o encarregado de gerar o empuxo necessário para que o VANT se movimente e se sustente no ar.

Os primeiros propulsores foram criados para as bombas V-1, como apresentado na Figura 1, e não tinham câmara de compressão, funcionando através de válvulas antirretorno na admissão de ar. De acordo com a numeração apresentada na Figura 2, o funcionamento dessas válvulas basicamente era (1) liberar a entrada de ar e simultaneamente o combustível era injetado e junto com o ar era (2) inflado, tendo, assim, a pressão (3) escapando pelo tudo de ressonância.

Figura 1 – Míssil de cruzeiro V-1

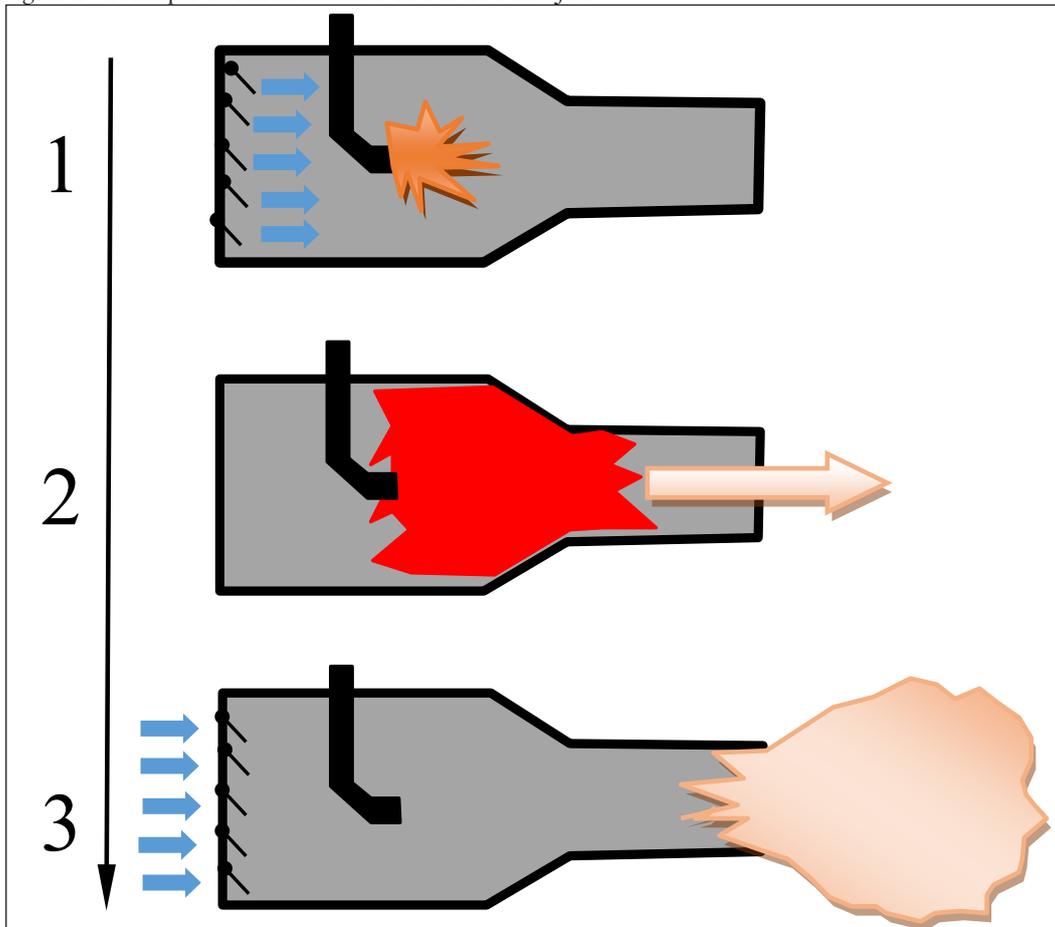


Fonte: Miraglia (2017).



Copyright 1997 ©Missile.Index All Rights Reserved

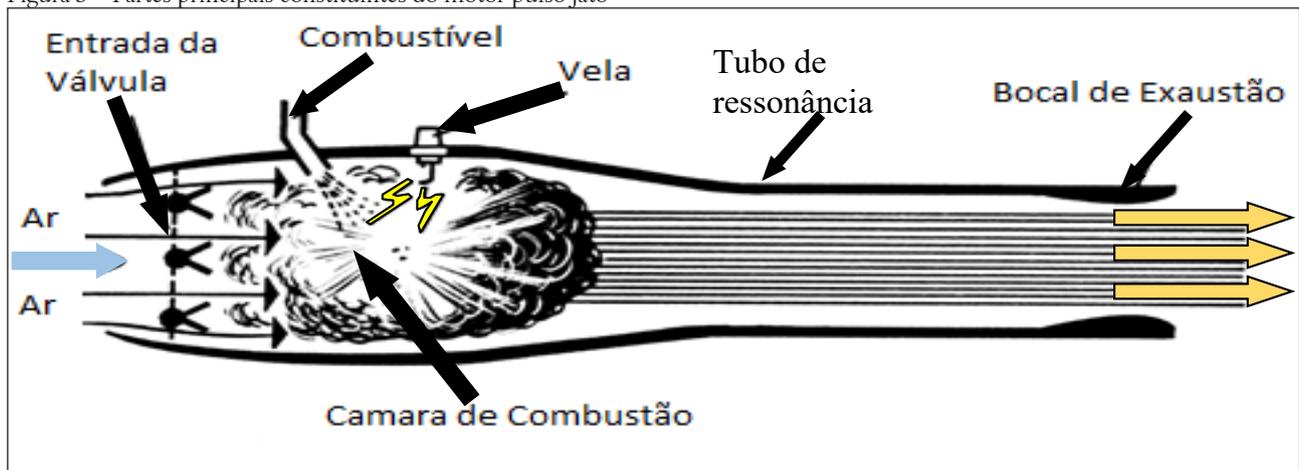
Figura 2 – Princípio de funcionamento do Motor Pulso Jato



Fonte: Miraglia (2017).

De acordo com Miraglia (2004), o Motor Pulso Jato, ilustrado na Figura 3, é um motor bastante simples com poucas peças e um componente móvel, o que o torna um motor que não necessita de muita manutenção e lubrificação. Um dos componentes do Pulso Jato é o tubo de ressonância, responsável por dissipar os gases da câmara, gerar empuxo e regular a frequência em que irão ocorrer as combustões na turbina.

Figura 3 – Partes principais constituintes do motor pulso jato



Fonte: adaptada de Simpson (2004).

Simpson (2004) afirma que para uma melhor eficiência do Pulso Jato o comprimento do tubo de ressonância deve ser no mínimo oito vezes maior que o seu diâmetro. Se essa proporção for menor que oito vezes, mais difícil será

a sustentação do ciclo e o empuxo irá se reduzir. Ainda, o autor relata que para Pulso Jato pequenos, com motores de 50 N de empuxo, essa relação do comprimento e do diâmetro do motor deve ser de no mínimo 14 vezes.

As válvulas, por sua vez, consistem no único componente móvel do motor do pulso jato e, por serem as peças mais exigidas no funcionamento do motor, são as que apresentam menor tempo de vida útil. A função da válvula é abrir e fechar na mesma frequência em que o motor está operando, sendo capaz de resistir às altas temperaturas dos gases de combustão e às baixas temperaturas do ar que entra no motor.

A válvula margarida é mais utilizada em motores de menor porte em razão da simplicidade do seu funcionamento e dimensionamento, sendo feita de uma única chapa. O que dificulta sua fabricação é a escassez de aço inoxidável da espessura ideal e dos equipamentos disponíveis para realizar o recorte das pétalas da válvula margarida. Como é submetida a grandes esforços e temperaturas, ocorrem desgastes em suas extremidades, e até mesmo a quebra.

Simpson (2004) sugere que a válvula ocupe cerca de 23% da área transversal do motor e, ainda, recomenda que o diâmetro dos furos que o sistema de válvulas terá que vedar seja menor que meia polegada, totalizando 12 furos com um ângulo de 30° entre si. Ademais, para que ocorra o adequado funcionamento da válvula é necessária uma folga que permita que elas se abram e se fechem sem entrar em contato com a parede do motor.

Já a câmara de combustão, componente que recebe a mistura do combustível com o ar para ser inflamada, deve possuir um comprimento adequado para que ocorra a mistura de ar suficiente para iniciar a combustão. Simpson (2004) afirma que essa quantia de ar não deve ultrapassar 20% do volume do motor.

A câmara de combustão deve ser unida ao tubo de ressonância de modo a formar o comprimento total do motor. Recomenda-se que essa união seja em forma de cone, que tem como função elevar a compressão interna do motor, aumentando a combustão. Segundo Simpson (2004), o ângulo do cone convergente não deve ser maior que 45° e o comprimento do cone divergente deve ser na razão de três vezes o tamanho do cone convergente. Outro componente fundamental na mistura do ar com o combustível é o difusor, elemento que vai à frente do pulso jato, direcionando a mistura de ar e combustível para o sistema de válvulas.

Ademais, um dos grandes diferenciais do Pulso Jato é o seu sistema de ignição que após iniciar a combustão não precisa mais da atuação da ignição (faísca), pois quando um ciclo está chegando ao fim, outro ciclo está iniciando, fazendo com que a temperatura e os gases residuais no motor entrem em autoignição. Pode-se utilizar como ignição a vela, que criará centelhas que facilitarão o início do ciclo. Simpson (2004) sugere o uso de velas de motosserras e similares, pois utilizam um padrão de rosca e são facilmente encontradas. Vale ressaltar que o motor de um pulso jato é modelado utilizando o ciclo termodinâmico de Lenoir.

Com relação aos combustíveis utilizados pelos motores pulso jato, estes podem operar utilizando praticamente qualquer combustível, que pode ser escolhido conforme seu valor, seu desempenho e sua acessibilidade. Os combustíveis mais usados em pulso jatos são a gasolina, o GLP ou gases liquefeitos do petróleo (principalmente propano e butano) e o metanol ou álcool combustível (SIMPSON, 2004).

A respeito dos materiais empregados no desenvolvimento de motores pulso jato, estes devem ser maleáveis e resistentes a altas temperaturas e à formação de incrustações (oxidações superficiais que podem se desprender durante o funcionamento), indeformáveis e resistentes à fadiga (VEDIA, 1957). Um dos materiais muito usados para suportar altas temperaturas são os aços inoxidáveis, como o aço austenítico, que tem resistência à fluência e é comumente usado em componentes para fornos, aplicações em tubulações de trocadores de calor e componentes de motores e turbinas a gás.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

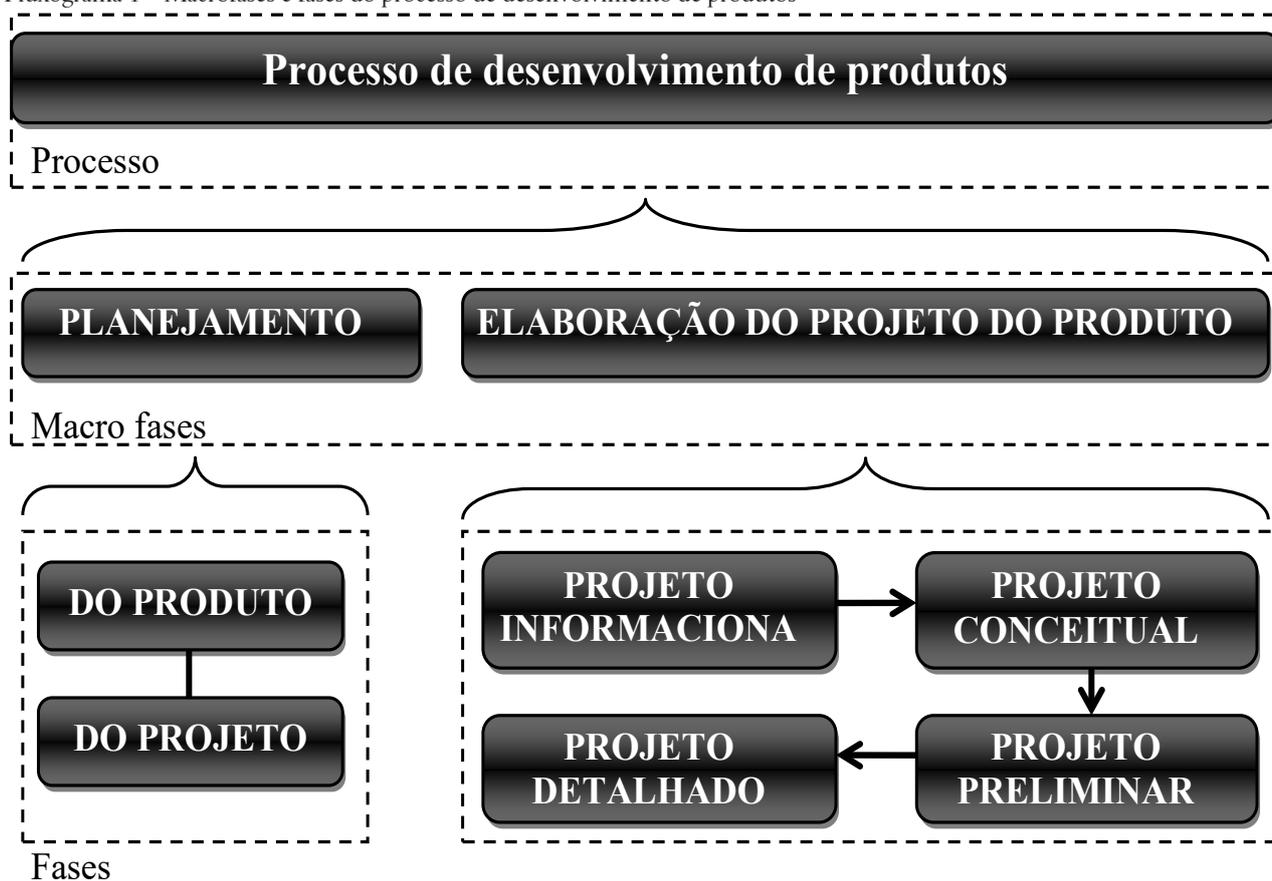
Com base nos objetivos propostos, a pesquisa realizada foi exploratório-descritiva em que o levantamento bibliográfico com a fundamentação teórica sobre o assunto constituem a parte exploratória. No que se refere à parte descritiva, utilizou-se de técnicas padronizadas para a coleta de dados e o desenvolvimento do processo de projeto do produto, como as propostas por Pahl e Beitz (1998) e adequada por Back et al. (2008).

Com base nos procedimentos metodológicos, trata-se de uma pesquisa-ação, pois se caracteriza como um tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema

estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. Na pesquisa-ação ocorre um constante vaivém entre as fases, determinado pela dinâmica do grupo de pesquisadores (projetistas do sistema técnico) em seu relacionamento com a situação pesquisada.

Há inúmeras metodologias utilizadas no desenvolvimento de sistemas e que apresentam características similares. Nesta pesquisa utiliza-se a sistemática de projeto das quatro fases, conhecida no meio industrial como metodologia de Paul e Beitz, relacionada em Pahl e Beitz. (1996) com a introdução de etapas de planejamento de produto e de projeto sugeridas por Back et al. (2008). A integração de Back et al. (2008) e Pahl e Beitz (1998) podem ser visualizadas no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 – Macrofases e fases do processo de desenvolvimento de produtos



Fonte: adaptado de Back et al. (2008) e Pahl e Beitz (1996).

Na etapa do *Planejamento do Produto*, buscaram-se informações sobre os valores dos atributos tecnológicos e de mercado a fim de caracterizar ideias de produtos (BACK et al., 2008).

Na etapa de *Planejamento do Projeto* definiram-se as ações coordenadas, desde o reconhecimento do problema até a aprovação final da solução, baseadas em características como conhecimento, habilidade e princípios de gerenciamento (BACK et al., 2008).

No *Projeto Informacional* o problema de projeto foi transformado em sucessivas análises nas especificações de projeto de produto.

Na etapa de *Projeto Conceitual* elaborou-se a estrutura funcional do produto em que se buscaram os princípios de solução e sua combinação apropriada. A etapa iniciou com a geração de várias soluções alternativas que atendam às especificações anteriormente definidas no projeto informacional, e ao longo do processo selecionou-se a melhor e mais inovadora concepção para o produto (PAHL; BEITZ, 1996).

O *Projeto Preliminar* englobou a seleção de materiais, ajustes, tolerâncias, processos de fabricação e, principalmente, o dimensionamento estático de algumas partes do sistema. Utilizam-se ferramentas de apoio ao projeto que auxiliam na otimização do projeto e na visualização da sua forma construtiva, realizando simulações, análises estruturais e de movimento (PAHL; BEITZ, 1996).

O *Projeto Detalhado* contemplou a estrutura do projeto preliminar, definindo formas, dimensionamentos e acabamento superficial dos componentes, ou seja, definindo tecnicamente o produto em termos de desenhos técnicos (PAHL; BEITZ, 1996).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados do projeto, evidenciando as fases da metodologia de Pahl e Beitz para obter os resultados necessários.

4.1 O PROJETO DA TURBINA PULSO JATO

O projeto do sistema mecânico utilizando a metodologia de Pahl e Beitz objetiva aqui, desenvolver seis etapas, sendo elas (i) planejamento de projeto, (ii) planejamento de produto, (iii) projeto informacional, (iv) projeto conceitual, (v) projeto preliminar e (vi) projeto detalhado de uma Turbina Pulso Jato para utilização em veículo aéreo não tripulado.

A etapa de planejamento do produto compreende o planejamento para a concepção da Turbina Pulso Jato composta por algumas atividades. Com relação à análise de tecnologias, a Turbina Pulso Jato é caracterizada como parte de um VANT se acoplado em um veículo aéreo não tripulado. Dessa forma, os elementos construtivos e as tecnologias envolvidas apresentam como foco o uso para uma aeronave, evidenciando a utilização de materiais leves e dimensões reduzidas facilitando a decolagem, o voo e a aterrissagem dos VANTs.

A construção de uma Turbina Pulso Jato necessita praticamente de uma manufatura artesanal, pois o protótipo é construído em base de dimensões calculadas, e a precisão de sua construção é o que garante o bom funcionamento do sistema mecânico. Assim, são necessárias algumas ferramentas específicas como torno, furadeira de bancada e tesoura para aço, além de outras ferramentas comuns. Além disso, definiu-se a utilização de alumínio no motor e válvula em razão de suas propriedades e dos esforços desses componentes, e no restante do protótipo definiu-se a utilização de aço inoxidável que resiste às altas temperaturas nas quais o motor será solicitado.

Na etapa de planejamento do projeto, estabelecem-se as partes envolvidas no projeto, os pesquisadores que mantiveram comunicação via reuniões, troca de e-mails e encontros presenciais no laboratório.

Com relação ao projeto informacional, identificaram-se a problemática do projeto, o ciclo de vida e, de suma importância, os requisitos do projeto, que surgem do aprimoramento técnico das necessidades do cliente. As etapas que constituem a fase de projeto informacional são subdivididas em: (i) identificação do problema de projeto; (ii) identificação da demanda; (iii) identificação do ciclo de vida do produto; (iv) levantamento das necessidades do cliente; (v) requisitos de projeto; e (vi) especificação de projeto de produto.

A respeito do problema de projeto, este pode ser definido como a limitação da fabricação do protótipo em razão do espaço e das ferramentas disponíveis. Para isso, é necessário tomar conhecimento dos recursos próprios para desenvolvimento do modelo. Outra problemática que se pode citar é o desgaste que alguns componentes podem sofrer com o funcionamento.

Sobre a demanda, o projeto da Turbina Pulso Jato tem como objetivo atender a uma necessidade específica, e dessa forma é necessário apenas um protótipo funcional para a realização de futuros estudos e otimizações e para adaptá-lo a um VANT para voo.

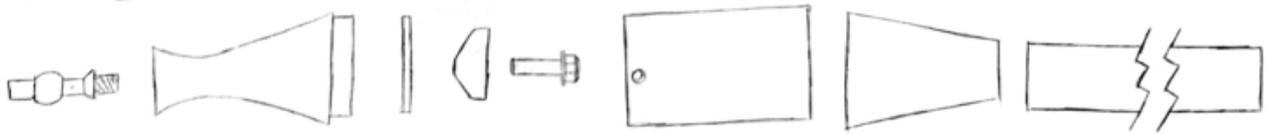
O ciclo de vida do produto, por sua vez, apresenta as seguintes características: uso para estudo e destinado a veículo aéreo não tripulado; realização de protótipo; é consumido em pouca escala e próximo ao centro de produção; apresenta montagem modular em decorrência do desgaste ocorrido da válvula; a fixação do difusor com câmara de combustão ocorrerá por meio de ajustes e parafusos que ofereçam boa fixação e fácil remoção, com válvulas e injetor encaixados por rosca; e possibilidade de reciclagem das partes de aço e alumínio.

Sequencialmente, foram definidos os clientes e usuários, sendo os clientes internos os estudantes de Engenharia da Unoesc; os clientes intermediários quem adquire os produtos para revenda e usuários; e os clientes externos, também conhecidos como clientes finais, os que adquirem o produto.

Os componentes do conjunto da Turbina Pulso Jato possuem funções para um melhor funcionamento onde está buscou-se atingir na etapa de desenvolvimento do projeto. Na Figura 4 é exposta a função de cada um dos componentes da turbina.

Figura 4 – Funções da Turbina Pulso Jato e seus elementos

1 – Injetor Permitir entrada de combustível	3 – Válvula Controlar a entrada da mistura de combustível e impedir o retorno dos gases	5 – Parafuso Fixar válvula e apoio junto ao difusor	7 – Cone Transição Auxiliar no mantimento do ciclo de funcionamento, é indicado que seu cone tenha um ângulo
2 – Difusor Realizar a mistura do combustível com ar comprimido	4 – Apoio Apoiar a válvula, limitando-a a um determinado curso de abertura	6 – Câmara de Combustão Realizar a queima dos combustíveis	8 – Tubo Ressonância Responsável pela exaustão dos gases que irão gerar o empuxo



Fonte: os autores.

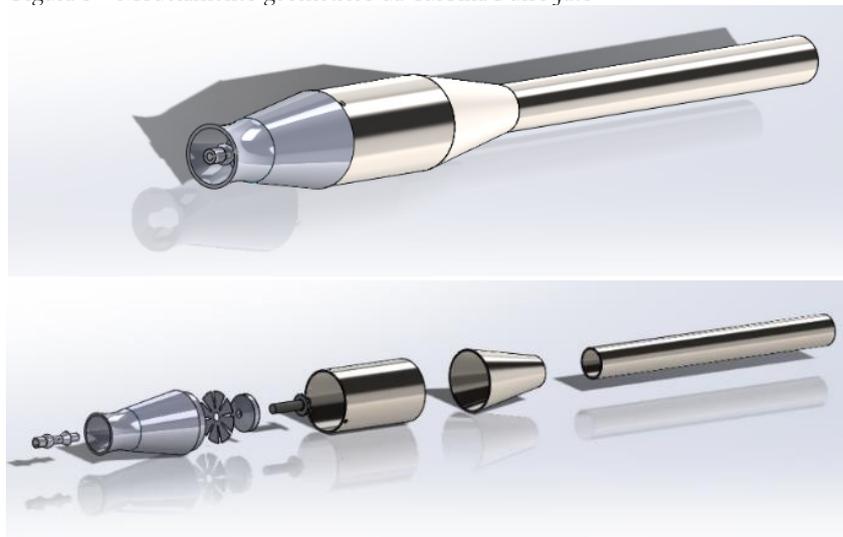
Exposta a estrutura funcional do produto apresentada na Figura 4, prosseguiu-se ao desenvolvimento do projeto conceitual, que consistiu na elaboração de formas estruturais das funções do equipamento. Essa etapa é necessária para que se busquem os princípios de solução para construção do equipamento.

A Estrutura Funcional do produto (Figura 4) evidenciou ainda algumas necessidades, como: resistência, na qual se objetivou alcançar a resistência a altas temperaturas; possibilitar o transporte por meio da montagem em módulos, e da união da turbina e base por intermédio de parafusos; e ignição, que envolve a vela e o isqueiro.

No projeto detalhado, elaborou-se um procedimento para a realização do dimensionamento dos componentes, originando o memorial de cálculo do equipamento. Esse memorial foi realizado utilizando-se o software Microsoft Excel, o qual constitui em uma ótima ferramenta para auxiliar a engenharia.

Após tais definições, passou-se ao desenvolvimento do Projeto Detalhado, no qual se realizou a modelagem da Turbina Pulso Jato conforme as considerações do projeto preliminar. Utilizando os valores obtidos do dimensionamento dos componentes da Turbina Pulso Jato, foi realizado o modelamento geométrico genérico do protótipo, como observado na Figura 5.

Figura 5 – Modelamento geométrico da Turbina Pulso Jato



Fonte: os autores.

Com base nos resultados obtidos pelo modelamento geométrico, foi possível a construção da Turbina Pulso Jato, da qual foi fabricado cada componente.

4.2 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DA TURBINA PULSO JATO

A construção da Turbina Pulso Jato iniciou-se pelo tubo de ressonância, pela câmara de combustão e pelo cone de transição. Foi utilizado tubo de tamanho comercial que atendia aos tamanhos do projeto, sendo necessário realizar o corte do tamanho necessário utilizando uma serra fita para aço. Para o tubo de ressonância foi utilizada a furadeira de bancada para realizar os furos nos quais serão inseridos os prendedores que realizarão a fixação entre difusor e câmara de combustão. Já para o cone de transição utilizou-se um pedaço de barra maciça de aço com diâmetro comercial próximo das medidas projetadas. Para realizar sua execução e atingir os valores determinados utilizou-se um torno.

Para a construção da válvula, por sua vez, foi utilizada uma chapa com espessura de 0,3 mm, como sugere Simpson (2004). O ideal para a fabricação da válvula é o corte a laser em virtude da sua precisão, porém, como seria fabricado em baixa escala, seu custo se tornaria inviável para sua fabricação, além da escassez desse serviço na região.

Primeiramente foi realizado o desenho da válvula utilizando o software Solidworks na escala 1:1 com posterior confecção de molde de papelão (Fotografia 1). Para sanar o problema do corte a laser, foi decidido realizar o desenho da válvula com suas “pétalas” em forma de “V”. Simpson (2004) explica que com esse formato podem-se obter bons resultados, com eficiente vedação dos furos. Assim, realizou-se o corte da chapa com uma tesoura para aço, e o furo central para a fixação foi realizado com uma broca utilizando a furadeira de bancada.

Fotografia 1 – Válvula margarida (a) modelo de papelão e (b) modelo em aço inoxidável após uso



(a)



(b)

Fonte: os autores.

Para a fabricação do injetor (Fotografia 2), utilizou-se um eixo maciço de aço, e após isso, para atingir as medidas propostas foi utilizado um torno CNC em conjunto com o torno convencional.

Fotografia 2 – Injetor



Fonte: os autores.

Para a realização das roscas, em razão de as suas dimensões serem muito pequenas e também pela simplicidade, utilizou-se a ferramenta de tarraxa tipo fêmea para roscas externas e tipo macho para roscas internas.

Já para a fabricação do difusor, foi utilizado um eixo maciço de alumínio próprio para a aeronáutica devido às suas resistências mecânicas. Para tanto, foi utilizado o torno CNC para melhor se obterem as medidas especificadas. Após isso, para a realização dos furos inclinados foi utilizada uma furadeira de bancada que possibilitava a rotação da peça. Para a fabricação das roscas que seriam utilizadas para fixação do injetor e do parafuso que prenderia a válvula junto ao difusor foi utilizada uma tarraxa tipo macho. A Fotografia 3 apresenta o difusor usinado e o detalhe interno dos canais de alimentador do difusor.

Fotografia 3 – (a) Difusor usinado; e (b) Detalhe interno dos canais de alimentação do difusor



(a)



(b)

Fonte: os autores.

Para fabricação do apoio da válvula (Fotografia 4) foram utilizados o torno e a furadeira de bancada. Esse apoio foi posteriormente fixado junto a um parafuso M6.

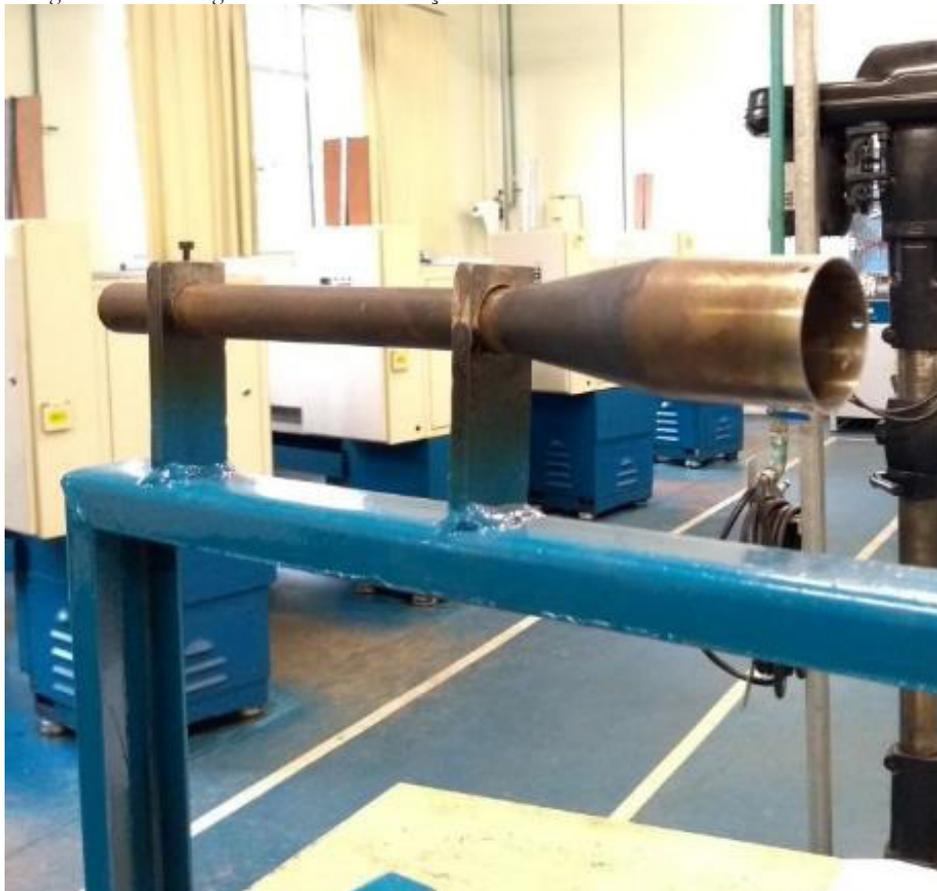
Fotografia 4 – Apoio da válvula



Fonte: os autores.

Para a montagem dos componentes, primeiramente foi realizada a união do tubo de ressonância, cone de transição e câmara de combustão utilizando-se do processo de fabricação e soldagem (Fotografia 5). Sequencialmente, realizou-se a montagem da válvula junto ao apoio no difusor, como ilustrado na Fotografia 6.

Fotografia 5 – Montagem do cone de transição e câmara de combustão



Fonte: os autores.

Fotografia 6 – Montagem da válvula margarida e difusor



Fonte: os autores.

Após, realiza-se a união dos componentes desenvolvidos com a utilização dos prendedores, como demonstrado na Fotografia 7.

Fotografia 7 – Montagem do cone de transição e da câmara de combustão com válvula margarida e difusor



Fonte: os autores.

O próximo componente para montagem do pulso jato é o injetor, que é rosqueado no difusor como indicado na Fotografia 8.

Fotografia 8 – Montagem da Turbina Pulso Jato



Fonte: os autores.

Finalmente, foi inserida a conexão que fornecerá combustível à Turbina Pulso Jato com gás. A Fotografia 9 apresenta essa ligação montada em um suporte azul que permite o teste da turbina.

Fotografia 9 – Montagem final da Turbina Pulso Jato



Fonte: os autores.

A fim de apresentar a descrição das etapas desenvolvidas no projeto e demonstrar o funcionamento do protótipo da Turbina Pulso Jato desenvolvida, insere-se neste trabalho (Figura 6) um código de barras bidimensional denominado Código QR que pode ser facilmente escaneado usando a maioria dos telefones celulares equipados com câmera.

Figura 6 – Código QR com descrição das atividades de projeto e funcionamento do protótipo da Turbina Pulso Jato desenvolvida



Fonte: os autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do projeto da Turbina Pulso Jato para utilização em veículo aéreo não tripulado era o objetivo, o qual foi alcançado, já que os componentes foram estudados, dimensionados e desenhados com base nos conhecimentos de engenharia. A pesquisa e o desenvolvimento obtiveram resultados altamente satisfatórios, pois possibilitaram o estudo da Turbina Pulso Jato, o desenvolvimento de seus cálculos e também a realização de sua fabricação, possibilitando a construção de um protótipo e a realização de testes de seu funcionamento.

Nos testes realizados observou-se a falta de pressão do combustível injetado em razão da válvula presente no registro do botijão de gás, em que esta era uma restrição, e para esse problema foi compensada a redução do ar comprimido em sua mistura. Outro fator que poderia ser trabalhado na fabricação dos próximos protótipos seria a fabricação de um molde no qual houvesse facilidade na fabricação da válvula, pois esta interfere diretamente na eficiência e é o componente que apresenta maior desgaste com o funcionamento da turbina.

Para os próximos trabalhos sugere-se o desenvolvimento de uma bancada para a verificação do empuxo desenvolvido pela turbina.

Design of a pulse jet turbine for a unmanned aerial vehicle of fixed wings

Abstract

This work was developed through a study carried out at the University of the West of Santa Catarina, to increase the knowledge about the operation and development of Pulse Jet Turbines for application in Unmanned Aerial Vehicles (UAV). The development of UAV has a great participation in the current aeronautical scenario, and the Pulse Jet Turbine design focused on the elaboration of a comprehensive and complete bibliographical revision that involves all the operation of this type of propulsion, evidencing all phases of the project, characteristics of construction and calculation for sizing to ensure better operation and efficiency. The project was carried out from a widely used design methodology in the mechanical engineering area that enabled the adequate acquisition and treatment of design information. As a result the construction of the prototype of the system was obtained, which was preliminarily tested, evidencing the operation and the results of the project.

Keywords: Jet Pulse. UAV. Turbine.

REFERÊNCIAS

- BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. Berlim: Spring Verlag, 1996.
- MIRAGLIA, J. **Conhecendo o PULSO JATO**. 2004. Disponível em: <<http://www.minifoguete.com.br/silverjet/artigo.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2017.
- SIMPSON, B. **The Enthusiast's Guide to PULSEJET ENGINES**. 2. ed. New York: [s.n.], 2004.
- VEDIA, R. M. **Motores Térmicos**. Buenos Aires: Reverté, 1957.