

PROJETO DE UM SISTEMA PARA CORTE DE ASAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COM PERFIL AERODINÂMICO PARA VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS DE ASA FIXA¹

Douglas Roberto Zaions*
Matheus Schmitz**

RESUMO

O crescente avanço tecnológico nas mais diversas áreas tem intensificado o desenvolvimento de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) de elevada complexidade para missões militares e civis. O emprego de materiais mais leves e configurações com asas de grande eficiência aerodinâmica é um diferencial competitivo nessa área de estudo. Neste artigo é apresentado o projeto de um sistema para corte de asas de poliestireno expandido com perfil aerodinâmico para VANTs de asa fixa. Para elaboração do trabalho foi utilizada a metodologia de projetos fundamentada por meio do desenvolvimento das etapas de Planejamento de Projeto, Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado. Na realização das etapas, todas as informações relevantes ao desenvolvimento do projeto foram compiladas utilizando-se as ferramentas preconizadas pela metodologia adotada. O resultado se mostrou satisfatório, uma vez que o protótipo físico do produto evidenciou a funcionalidade do projeto. O custo de fabricação firmou-se, aproximadamente, 40% abaixo da média dos produtos similares encontrados no mercado, viabilizando a fabricação. Nesse contexto, constatou-se que o emprego da metodologia adotada para o estudo permite desenvolver alternativas de solução que satisfazem às necessidades dos clientes, resultando em um equipamento que atende a todas as funções requeridas. Palavras-chave: Cortador de poliestireno expandido. Corte de perfil aerodinâmico. Corte de asas. Cortador CNC.

1 INTRODUÇÃO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), do inglês, *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)*, são definidos pelo Ministério de Defesa como plataformas aéreas de baixo custo operacional capazes de operar por controle remoto ou executar perfis de voo de forma autônoma, podendo ser utilizados para monitoramento de segurança, transportar cargas úteis convencionais, como sensores diversos e equipamentos de comunicação, servir como alvo aéreo e levar cargas letais, sendo, nesse caso, empregado com fins bélicos.

O desenvolvimento tecnológico tem propiciado a construção de VANTs de pequeno e médio portes para as mais diversas missões envolvendo pequenas, médias ou grandes distâncias percorridas. Para realizar missões de média e grande distância, os VANTs necessitam quantidades de combustível cada vez maiores, o que leva à construção de aeronaves com asas de dimensões mais elevadas e que garantam sustentação e velocidades necessárias.

Atualmente, as técnicas utilizadas para desenvolvimento e fabricação das asas de diversos modelos de VANTs são muito complexas, requerem um tempo de fabricação muito elevado, e a utilização de processos de corte de perfis como o laser que é muito onerosa. Uma possibilidade para otimizar e facilitar o desenvolvimento dessas asas é desenvolvê-las em poliestireno expandido (EPS) e, posteriormente, realizar o recobrimento com a fibra de carbono ou fibra de vidro.

* Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Pós-graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina; Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Maria; Professor do Curso de Engenharia de Produção Mecânica na Universidade do Oeste de Santa Catarina; douglas.zaions@unoesc.edu.br

** Graduado em Engenharia de Produção Mecânica pela Universidade do Oeste de Santa Catarina; pós-graduando em Engenharia de Estruturas Metálicas pela Universidade do Oeste de Santa Catarina; schmitz.matheus@hotmail.com

Dentro desse contexto, no presente trabalho visa-se apresentar as atividades de planejamento do produto, planejamento de projeto, projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado, fundamentado pela sistemática de Processo de Projeto de Pahl et al. (2005), para um equipamento que realize o corte de perfis em poliestireno expandido para asas de VANTs, por meio de Comando Numérico Computacional (CNC).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na presente seção tem-se como objetivo apresentar a fundamentação teórica abordando os principais conceitos relacionados ao processo de desenvolvimento de produtos, bem como as características dos processos atuais para obtenção de asas de VANTs.

2.1 PROCEDIMENTO METÓDICO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM PRODUTO OU SISTEMA TÉCNICO

Face à importância do desenvolvimento de um produto no momento certo e que desperte interesse por parte do mercado, torna-se necessário um procedimento para desenvolvimento de boas soluções que seja planejável, flexível, otimizável e verificável (PAHL et al., 2005, p. 5).

Pahl et al. (2005, p. 6) salientam que

[...] no curso de uma otimização, o processo de projeto não seja compreendido como um processo de controle estático, porém dinâmico, no qual o refluxo de informações deverá percorrer a malha em sentido inverso tantas vezes quantas necessário, até que o conteúdo de informações atinja a altura necessária para uma solução ótima.

Ainda para Pahl et al. (2005, p. 6), a progressiva concretização dos princípios de solução possibilita a seleção precoce e a otimização com o menor volume de trabalho. Rozenfeld et al. (2006, p. 6) corroboram que é nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos que são definidas as principais soluções construtivas e as especificações do produto. É nesse momento que são determinados os materiais e as tecnologias a serem utilizados, a forma construtiva, entre outros.

2.2 VEÍCULOS ÁEREOS NÃO TRIPULADOS

Conforme Jaxa-Malachowski (1996 apud WIDMAYER, 2005, p. 6), o primeiro voo de VANT ocorreu em 1908, e, desde então, eles têm acompanhado o crescimento da aviação. Durante a Primeira Guerra Mundial, alguns aviões foram convertidos em aviões-rádio controlados que, carregados de explosivos, eram guiados até o inimigo.

Atualmente, pelo menos 32 países estão desenvolvendo VANTs; os Estados Unidos, seguidos por Israel, estão liderando em tamanho, variedade e sofisticação. Outros países que possuem programas significativos de desenvolvimento de VANTs são Japão, Coreia do Sul, Austrália, França, Inglaterra, Itália, Alemanha e Suécia (WIDMAYER, 2005, p. 9).

2.3 CARACTERÍSTICAS DAS ASAS UTILIZADAS EM VANTS

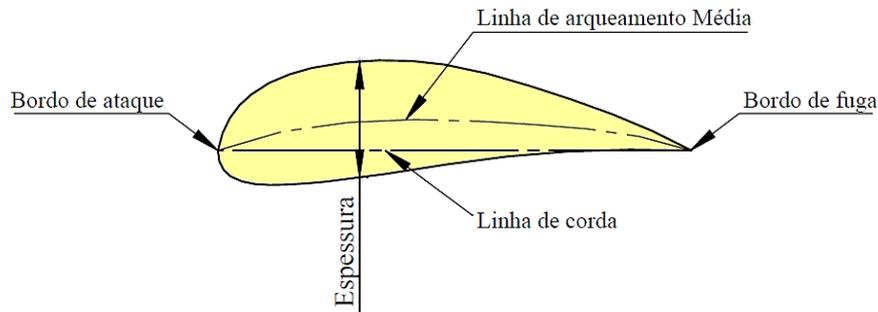
As asas são superfícies sustentadoras unidas a cada lado da fuselagem e representam os componentes fundamentais que suportam o avião no voo. Para as asas, existem numerosos projetos, tamanhos e formas usados pelos vários fabricantes. Cada modelo é produzido para atender às necessidades de desempenho previsto para o avião desejado (RODRIGUES, 2009, p. 14).

Para Vieira (2012, p. 23), “[...] a configuração da asa exerce grande influência no seu desempenho, afetando a distribuição do coeficiente de sustentação local, a maneira como o estol se propaga, o arrasto induzido, entre outros fatores. Algumas características são utilizadas para definir a configuração da asa, entre elas estão o formato da asa, o alongamento, a razão de afilamento, a torção e a corda média aerodinâmica.

Um perfil aerodinâmico é uma superfície projetada com a finalidade de se obter uma reação aerodinâmica a partir do escoamento do fluido ao seu redor. Os termos aerofólio ou perfil aerodinâmico são empregados como nomenclatura dessa superfície (RODRIGUES, 2009, p. 29).

O Desenho 1 evidencia um perfil aerodinâmico típico e suas principais características geométricas.

Desenho 1 – Características geométricas de um perfil aerodinâmico



Fonte: adaptado de Rodrigues (2009, p. 54).

3 METODOLOGIA

Com base nos objetivos propostos neste trabalho, observa-se que este envolve uma pesquisa descritiva-exploratória.

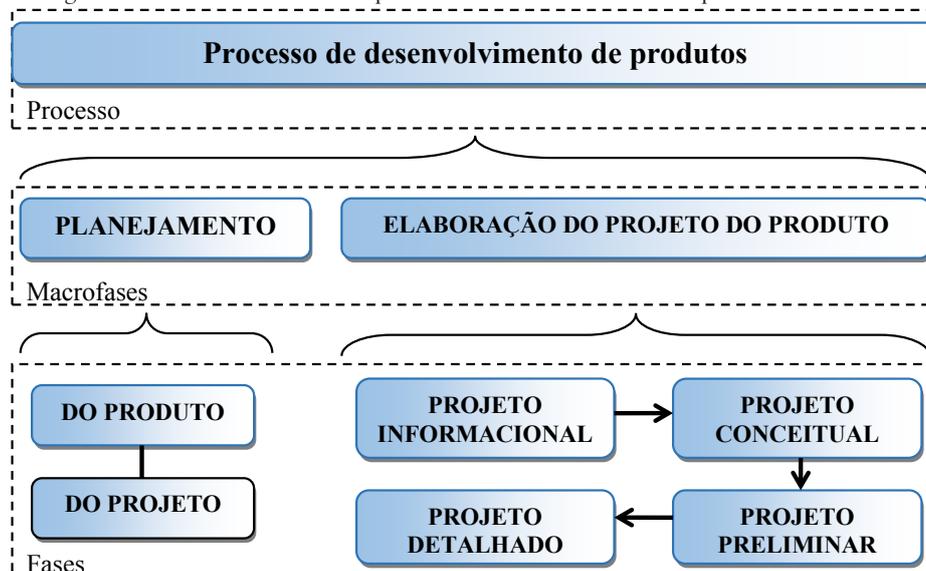
O levantamento bibliográfico com a fundamentação teórica sobre o assunto e a realização de entrevistas não estruturadas com as pessoas que têm experiência prática com o problema objeto da pesquisa constituem a parte exploratória.

No que se refere à parte descritiva, utilizam-se técnicas padronizadas para a coleta de dados e desenvolvimento do processo de projeto do produto, como as propostas por Pahl et al. (2005).

Com base nos procedimentos metodológicos, optou-se pela pesquisa-ação, pois é 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 não ocorre um processo de controle estático, porém dinâmico, no qual o refluxo de informações percorre a malha em sentido inverso tantas vezes quantas necessárias, determinada pela dinâmica do grupo de pesquisadores em seu relacionamento com a situação pesquisada.

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



Fonte: adaptado de Pahl et al. (2005, p. 89).

4 PROJETO DE UM SISTEMA PARA CORTE DE ASAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COM PERFIL AERODINÂMICO PARA VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS DE ASA FIXA

Nesta seção será apresentado o projeto do sistema para corte de asas de poliestireno expandido com perfil aerodinâmico para veículos aéreos não tripulados de asa fixa por meio da aplicação da sistemática de Pahl et al. (2005).

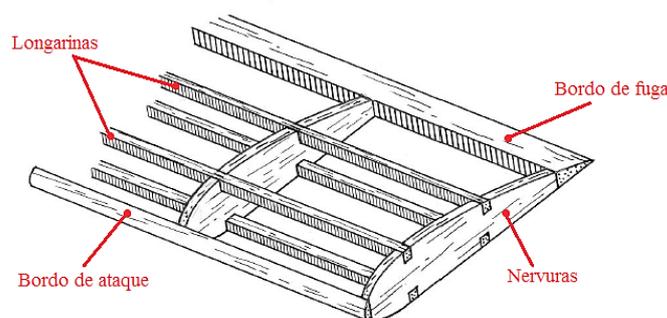
4.1 PLANEJAMENTO DO PRODUTO

A fase de planejamento do produto precede o processo de projeto propriamente dito. Esta fase tem a função de identificar as oportunidades e características do processo atual para elaboração das asas utilizadas em VANTs, estabelecendo um processo para apoiar a definição do projeto desenvolvido.

Atualmente, existem várias técnicas de construção que podem ser empregadas para a fabricação das superfícies de sustentação dos VANTs, cada um com características e técnicas diferentes. Os materiais mais comuns utilizados são madeira balsa, poliestireno expandido (eps), fibra de carbono, fibra de vidro, Divinycell, *honeycomb* e aramida.

Segundo Rodrigues (2004, p. 131), as asas de tipo clássico são constituídas, fundamentalmente, por nervuras, bordos de ataque e de fuga, longarina central e, em alguns casos, por bordos marginais, conforme exemplifica o Desenho 2.

Desenho 2 – Componentes principais de uma asa de VANT

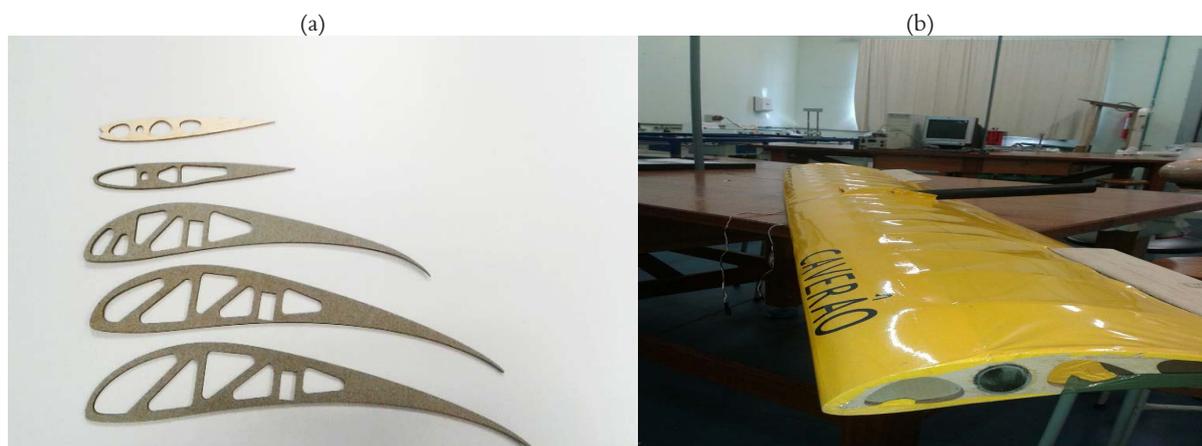


Fonte: Rodrigues (2004, p. 134).

Obtém-se o perfil aerodinâmico das asas em razão da geometria das nervuras, a qual deve possuir grande precisão dimensional. Para atingir a precisão requerida em projeto, são necessários processos de fabricação sofisticados e onerosos, como, por exemplo, o corte a *laser* e o corte a jato d'água.

A Fotografia 1(a) apresenta alguns modelos de nervuras utilizadas em VANTs. Estes modelos foram confeccionados a partir do processo de corte a *laser*, e os materiais utilizados foram Divinycell e madeira balsa.

Fotografia 1 – Fabricação das asas tipo clássica



Fonte: os autores.

A estrutura, após ter sido dada como terminada, deve ser entelada, ou seja, revestida com material adequado. Apesar da grande variedade, os materiais mais comuns empregados para essa finalidade são o vinil adesivo, o monokote, a fibra de carbono e a fibra de vidro.

O entelamento influencia, em grande parte, nas qualidades aerodinâmicas de um modelo, e mesmo com grande habilidade na realização do trabalho, este procedimento resulta em uma geometria não uniforme das superfícies de sustentação, reduzindo a eficiência aerodinâmica do modelo.

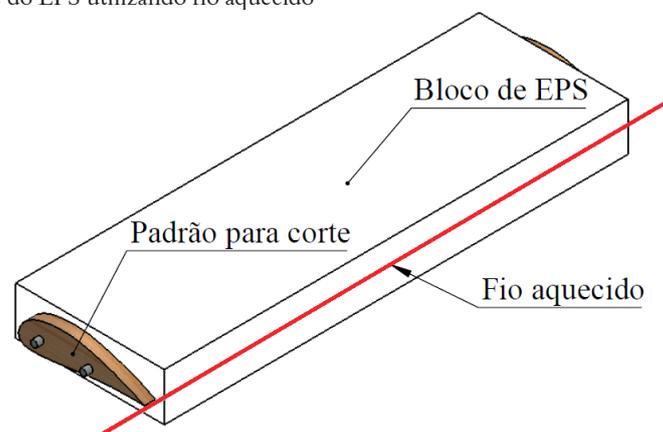
A Fotografia 1(b) evidencia a descontinuidade da superfície após o entelamento de uma asa empregando como matéria-prima o vinil adesivo.

Outro processo empregado para a fabricação das superfícies de sustentação é feito por meio do corte do perfil requerido em EPS, comumente chamado de isopor. Este processo geralmente é realizado manualmente e com auxílio de ferramentas artesanais.

A fabricação com a utilização desse procedimento, basicamente, consiste em definir o perfil aerodinâmico e, posteriormente, confeccionar um padrão, metálico ou em madeira, que servirá como guia para a realização do corte do perfil.

O Desenho 3 exemplifica o processo de corte do poliestireno expandido, por meio de fio aquecido e utilizando um padrão para corte fabricado em madeira.

Desenho 3 – Processo de corte do EPS utilizando fio aquecido



Fonte: Os autores.

Esse procedimento apresenta como principal limitação a baixa precisão dimensional da superfície pelo fato de o movimento de corte ser realizado manualmente, não possuindo uniformidade no deslocamento e comprometendo a qualidade final da superfície acabada.

Após o corte do perfil, os suportes e as longarinas são fixados, e, em seguida, é realizado o entelamento da superfície, geralmente utilizando-se a fibra de carbono.

4.2 PROJETO INFORMACIONAL

A fase de projeto informacional é o início propriamente dito do desenvolvimento do projeto, em que serão tratadas todas as informações necessárias para as fases subsequentes do processo de projeto.

Definindo o ciclo de vida, torna-se fácil detectar os clientes internos, intermediários e externos, envolvidos e associados às fases do ciclo de vida. A definição dos clientes é fundamental para levantar as necessidades do projeto.

O Fluxograma 2 apresenta as fases do ciclo de vida para o produto a ser desenvolvido.

Fluxograma 2 – Fases do ciclo de vida do produto



Fonte: os autores.

Fundamentado nas necessidades dos clientes e no ciclo de vida do produto é realizado o estudo desses requisitos em relação às suas atribuições e seus graus de importância. Dessa maneira, obtém-se a matriz que apresentará as especificações do projeto, conforme evidencia o Quadro 1.

Quadro 1 – Requisitos do cliente

Requisitos do cliente		Grau de importância
DESEMPENHO FUNCIONAL		
Fixar EPS		5
	Cortar EPS	5
	Movimentar sistema de corte	5
	Velocidade no corte	4
	Baixo índice de desperdício	3
	Precisão no corte	5
	Programação por CNC	4
FATORES HUMANOS	Ser de rápido setup	4
	Ser seguro	5
	Ser ergonômico	4
PROPRIEDADES	Estrutura resistente	3
	Ser silencioso	3
	Estabilidade	4
ESPAÇO	Estrutura compacta	2
	Fácil montagem	2
	Facilidade de acesso aos elementos da máquina	2
CONFIABILIDADE	Baixo índice de manutenção	4
	Durabilidade	4
RECURSOS E MANUFATURA	Baixo custo de fabricação	4
	Materiais de baixo custo	4
	Rápida produção	3
	Possuir poucos componentes	3
	Mínimo de acessórios para fins estéticos	4
	Cores agradáveis	2
	Qualidade nas uniões fixas e móveis	3
	Elementos intercambiáveis	3

Fonte: Os autores.

Os requisitos de projeto avaliados pela equipe de desenvolvimento foram posteriormente compilados com os requisitos de cliente na matriz *QFD* (*Quality Function Deployment*). A partir da análise realizada com o auxílio da matriz *QFD*, têm-se como resultado as especificações do projeto, com respectivo grau de importância.

As especificações do projeto de produto estão expostas no Quadro 2, no qual são descritas com seu valor, meta e grau de importância para o projeto.

Os sensores definidos no Quadro 2 têm por finalidade realizar as medições impostas pelas metas estipuladas. Também são descritas as possíveis saídas indesejáveis que possam vir a ocorrer em termos das atribuições expostas.

Quadro 2 – Especificações do projeto

Grau de importância	Especificação	Objetivo (valor meta)	Sensor	Saídas indesejáveis
1	Corte em isopor de diversos perfis de asas para VANTs	Maximizar	Projetista	Elevar o custo do equipamento
2	Sistema de controle por CNC	90%	Projetista	Dificuldade de operação
3	Rigidez na fixação	Maximizar	Projetista	Diminuição do aproveitamento do material
4	Controle de velocidade de movimentação de sistema de corte	0 a 0,25 m/s	Sensor de velocidade	Aumento da complexidade do equipamento
5	Preservar a integridade do material	Maximizar	Usuário/Cliente	Aumento da precisão e custo do equipamento
6	Tamanho da área de corte	1,5 m x 0,5 m x 0,25 m	Trena	Aumento da instabilidade
7	Configuração simples	Simplificar	Usuário/Cliente	Limitação de operações
8	Segurança	Atender à NR-12	Projetista	Aumento do custo do equipamento, dificuldade de operação
9	Padronização dos elementos de máquina	85%	Projetista	Aumento do custo do equipamento
10	Resistência	Maximizar	Projetista	Aumento do peso do equipamento
11	Potência	Manter constante no corte	Medidor de potência	Aumento do consumo energético
12	Confiabilidade	Maximizar	Usuário/Cliente	Aumento do custo dos componentes
13	Peso	25 kg	Balança	Baixa robustez

Fonte: os autores

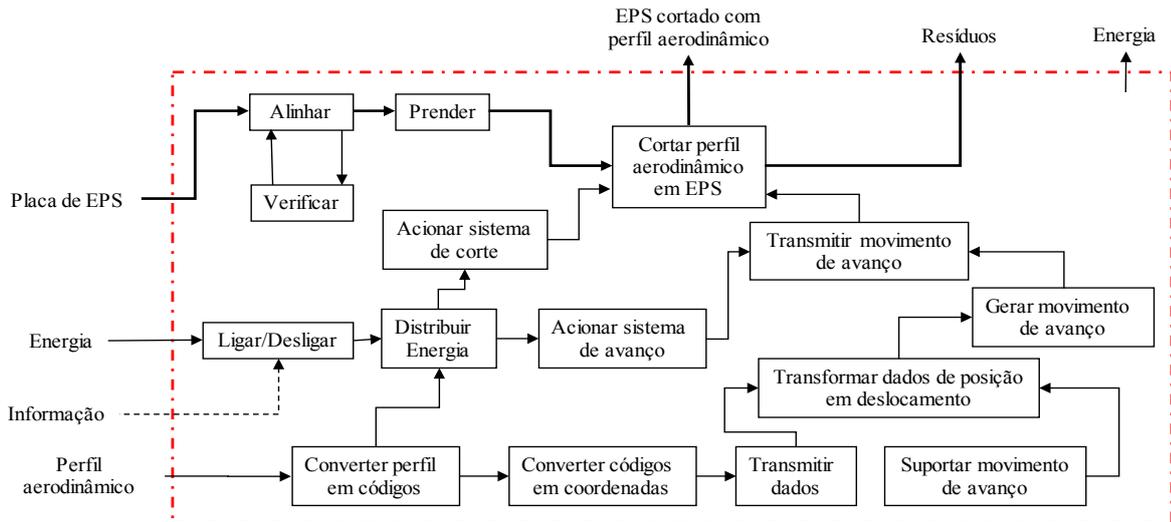
4.3 PROJETO CONCEITUAL

A fase de projeto conceitual tem como principal objetivo desenvolver as formas estruturais das funções que o equipamento para corte de perfis de asas para VANTs deverá executar em seu ciclo produtivo de utilização.

Antes de iniciar o desenvolvimento da modelagem funcional do produto, é necessário definir que tipo de modelo será utilizado para as descrições funcionais.

Conforme pode ser observado no Diagrama 1, a representação hierárquica funcional foi desenvolvida utilizando-se diagrama de blocos.

Diagrama 1 – Estrutura funcional do produto



Fonte: os autores.

A partir da modelagem funcional do produto, é elaborada a matriz morfológica, que consiste em uma tabela que comporta a estrutura funcional do produto e suas respectivas descrições até o nível de funções elementares. Ao lado de cada função elementar serão colocadas suas alternativas de solução física.

Na Figura 1 estão expostos alguns princípios de solução utilizados para o desenvolvimento do produto.

Figura 1 – Matriz morfológica

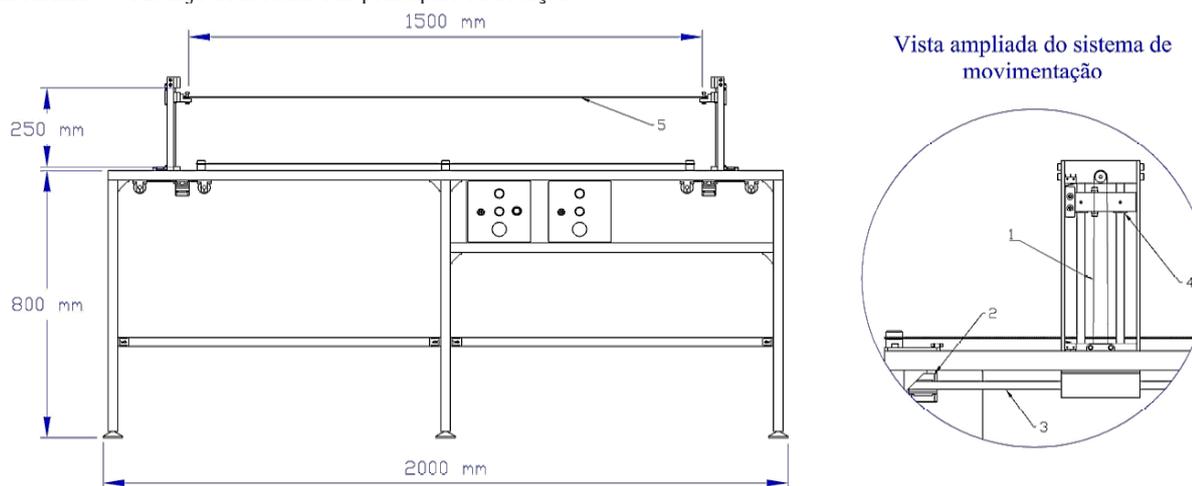
Função principal	Funções parciais	Funções elementares	Princípios de solução
Cortar perfil aerodinâmico em EPS	Movimentar sistema de corte	Gerar movimento de avanço	
		Suportar movimento de avanço	
		Transmitir movimento de avanço	
		Realizar corte do EPS	

Fonte: Os autores.

Com os princípios de solução definidos, idealiza-se o arranjo conceitual do produto, que consiste em um esquema pelo qual os elementos funcionais são arranjados em partes físicas/conceitual e em como essas partes interagem por meio das interfaces.

O Desenho 4, por meio de um modelo simbólico, apresenta os principais princípios de solução do sistema para corte de asas em poliestireno expandido.

Desenho 4 – Arranjo conceitual dos princípios de solução



Fonte: os autores.

Para sistema de movimentação dos eixos, de acordo com a numeração apresentada no Desenho 4, optou-se por utilizar correias sincronizadoras (1) com motores de passo (2) e sistema de guias retificados (3) com rolamentos lineares (4).

O sistema de corte do poliestireno expandido consiste no princípio de aquecimento e movimentação de um fio de corte (5) de material semelhante ao utilizado em resistências elétricas convencionais, como de chuveiros e aquecedores elétricos.

A fixação do poliestireno na área de corte da máquina ocorre por meio de cola solúvel em água. Este processo já é amplamente utilizado em máquinas de impressão 3D e possibilita rigidez na fixação sem comprometer a integridade do material a ser processado.

A programação da máquina será realizada diretamente em computador portátil, e a comunicação, por meio de transferência de dados via porta paralela e placa controladora CNC.

4.4 PROJETO PRELIMINAR

Na fase de projeto preliminar, foram realizadas as seguintes ações para o desenvolvimento do projeto em estudo: estudo de *layouts*; estudos do comportamento em uso; estudo dos materiais a serem utilizados na fabricação das peças; e estudo de custos.

Em relação ao *estudo de layouts*, definiu-se o tamanho da área de corte do isopor, fundamentada nas necessidades dos clientes, o qual deve atender às dimensões de 1,5 x 0,5 x 0,25 m.

Na elaboração do *estudo do comportamento em uso*, foram utilizadas recomendações de fabricantes conceituados na seleção dos componentes empregados em projeto, em que o sistema de acionamento, de movimentação, bem como a estrutura da máquina se encontram de acordo com as solicitações requeridas.

Para a seleção do sistema de movimentação horizontal e vertical foram efetuados os cálculos necessários para garantir o perfeito funcionamento do equipamento; alguns dos dados utilizados estão listados no Quadro 3.

Quadro 3 – Dados do sistema de movimentação horizontal e vertical

Horizontal		Vertical	
Massa	15 kg	Massa	5 kg
Curso	600 mm	Curso	250 mm
Velocidade	0,5 m/s	Velocidade	0,5 m/s
Coef. Atrito (μ)	0,015	Coef. Atrito (μ)	0,015
Rotação máxima	1000 rpm	Rotação máxima	1000 rpm

Fonte: os autores.

A Equação 1 apresenta o procedimento para cálculo do torque necessário para os motores de passo utilizados no projeto.

$$T_{\text{total}} = \frac{1}{g} (J_{\text{carga}} + J_{\text{polia}} + J_{\text{correia}} + J_{\text{motor}}) \frac{\omega}{t} + T_{\text{atrito}} \quad (1)$$

A partir da Equação 1, torna-se possível realizar o cálculo da inércia de cada componente do sistema e, assim, expressar o valor numérico do binário necessário ao motor de passo, conforme demonstra a Equação 2.

$$T_{\text{total}} = \frac{1}{g} (W_c R^2 + \frac{W_p R^2}{2} + W_c R^2 + J_{\text{motor}}) \frac{v}{t} + (\mu \cdot N) R \quad (2)$$

Em que:

T = torque [N.m];

W_1 = peso da carga [N];

W_p = peso da polia [N];

W_b = peso da correia [N];

F = força de atrito [N];

R = raio da polia [N];

V = velocidade [m/s];

g = gravidade [m/s²];

J_{motor} = inércia do rotor do motor [N/m²].

Com os dados provenientes dos cálculos, constatou-se que os motores de passo devem garantir um torque mínimo de 2,5 kgf.cm considerando a pior situação de trabalho, que consiste na movimentação horizontal dos eixos. Assim, objetivando a padronização do equipamento, os motores selecionados para acionamento dos eixos são Nema 17, com capacidade para suportar um torque de 3,2 kgf.cm.

Por meio do curso e velocidade de trabalho dos eixos foi possível realizar a seleção das correias, polias e dimensões dos guias lineares utilizados no projeto, considerando recomendações dos fabricantes em função da solicitação requerida.

Para as correias sincronizadoras, relacionando torque *versus* precisão, o perfil mais adequado foi o *Power Grip GT2*, com passo de 2 mm e largura 6 mm. As polias foram selecionadas em função do perfil da correia utilizada.

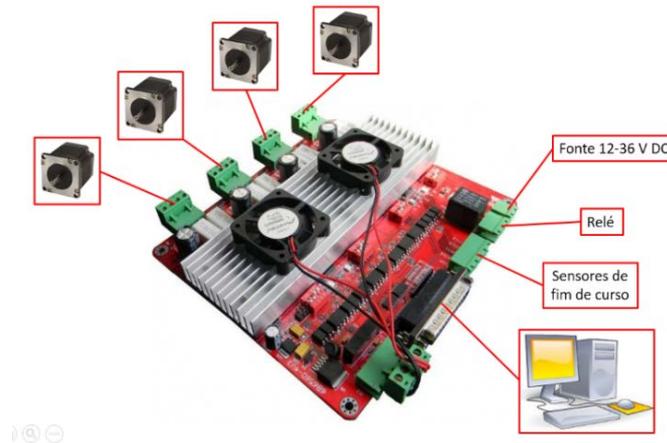
Como a carga aplicada sobre os guias lineares é baixa, aproximadamente 15 kgf, visando melhorar o aspecto visual do equipamento e aumentar o coeficiente de segurança, optou-se por utilizar os guias com diâmetro externo de 12 mm em aço ABNT 1045 com superfície retificada e rolamentos lineares de esferas recirculantes modelo *LM12UU*. A capacidade de carga estática suportada por este modelo de rolamento é de 590 N, e a capacidade de carga dinâmica é de 410 N.

O *software* adotado para a programação da máquina é o *Mach3*, o qual é gratuito na versão demonstrativa e possibilita a programação em até quatro eixos simultâneos. O *Mach3* é um programa muito flexível projetado para controlar máquinas, como fresadoras, tornos, cortadores por plasma e *routers*.

O sistema eletrônico de controle dos eixos foi selecionado conforme potência requerida pelos motores de passo e considerando fator de segurança para garantir o funcionamento em casos de sobrecarga. Além da potência requerida, outro fator relevante para a seleção do modelo do sistema eletrônico foi a facilidade de operação e a possibilidade de comunicação com o *software* gerador de códigos CNC.

A placa controladora selecionada, conforme exemplifica o Esquema 1, é da marca *Toshiba*, modelo *TB6560 - 4V3*. Esta placa possibilita o acionamento simultâneo de quatro eixos por meio de motores de passo, comunicando com o computador por meio de porta paralela padrão compatível com o *software* gerador de códigos (*Mach3*), além de possuir entradas para fins de curso e relé.

Esquema 1 – Placa controladora CNC



Fonte: os autores.

O método adotado no projeto para o corte do poliestireno expandido consiste em aquecer uma resistência elétrica (fio) e movimentar com auxílio do controle CNC, reproduzindo a superfície idealizada em *software*.

A Fotografia 2(a) exemplifica o princípio de funcionamento do sistema de corte, em que, por meio do controle de tensão atuando sobre a resistência, será possível controlar a temperatura do fio de corte.

Fotografia 2 – Sistema de corte do EPS



Fonte: os autores.

Por intermédio de testes práticos realizados com auxílio de câmera termográfica, conforme Fotografia 2(b), constatou-se que a tensão de 24 volts é suficiente para aquecer, à temperatura de 130 °C, um fio de cromo-níquel com diâmetro de 0,5 mm, suficiente para cortar o poliestireno expandido e não expor o operador a riscos de choque elétrico.

No estudo dos materiais a serem utilizados na fabricação das peças, foram priorizados materiais de baixa densidade, objetivando a redução do peso do equipamento.

Como o equipamento não sofrerá grandes esforços mecânicos, foram definidos, para a utilização na estrutura, perfis estruturais de alumínio 30 x 30 mm extrudado, com montagem por fixação não permanente. Esse tipo de montagem oportuniza futuras alterações no projeto, facilitando a manutenção, além de aumentar a durabilidade do sistema e agilizar a montagem, melhorando o aspecto visual do produto.

Após a definição de todos os componentes, foi elaborado o estudo de custos envolvidos na fabricação do projeto em estudo no qual foram considerados somente os custos dos componentes e da matéria-prima.

O Quadro 4 ilustra os custos dos componentes e da matéria-prima utilizada para a fabricação das peças.

Quadro 4 – Orçamento do projeto

N. do item	Nome da peça	Material e dimensões	Qtd.	Valor unitário	Valor total
1	Estrutura em alumínio	Perfil alumínio 20 x 20 mm – 1,5 x 0,8 x 0,6 m	1	R\$ 580,00	R\$ 580,00
2	Mancal guia linear	Alumínio SK 12	8	R\$ 12,00	R\$ 96,00
3	Guia 600 mm	Aço ABNT 1045 TR – retificado	4	R\$ 21,00	R\$ 84,00
4	Mancal rolamento linear	Diâmetro 40 mm x 150 mm	4	R\$ 25,00	R\$ 100,00
5	Rolamento linear	LM12UU	12	R\$ 9,00	R\$ 108,00
6	Motor de passo	Nema 17 – 3,3 kgf.cm	4	R\$ 75,00	R\$ 300,00
7	Suporte de fixação do motor de passo	Alumínio 80 x 40 x 5 mm	2	R\$ 5,00	R\$ 10,00
8	Chapa carro inferior	Aço ABNT 1020 – chapa #12	2	R\$ 5,00	R\$ 10,00
9	Polia sincronizadora	Polia GT2 – 20 dentes	4	R\$ 10,00	R\$ 40,00
10	Rolamento polia louca	Rolamento 308 – ZZ	8	R\$ 2,00	R\$ 16,00
11	Suporte de fixação da polia giro livre	Alumínio 80 x 40 x 5 mm	2	R\$ 5,00	R\$ 10,00
12	Bloco fixação da correia	Alumínio 120 x 50 x 45 mm	2	R\$ 22,00	R\$ 44,00
13	Guia 200 mm	Aço ABNT 1045 TR – retificado	4	R\$ 11,00	R\$ 44,00
14	Bloco fixação da correia superior	Alumínio 120 x 50 x 45 mm	2	R\$ 22,00	R\$ 44,00
15	Carro Y	Alumínio 120 x 50 x 30 mm	2	R\$ 18,00	R\$ 36,00
16	Perfil 20 x 5 mm	Alumínio 330 x 20 x 5 mm	4	R\$ 15,00	R\$ 60,00
17	Suporte do fio polímero	Nylon 80 x 30 x 25 mm	2	R\$ 20,00	R\$ 40,00
18	Vidro	Vidro 1510 x 710 x 2 mm	1	R\$ 180,00	R\$ 180,00
19	Suporte fixação vidro	Alumínio diâmetro 1" x 30 mm	6	R\$ 5,00	R\$ 30,00
20	Painel de distribuição de energia	Dimensões 200 x 200 x 150 mm	2	R\$ 80,00	R\$ 160,00
21	Controlador temperatura	Controlador de tensão 0 – 24 v	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
22	Mola	Mola tração compr. 40 mm	2	R\$ 3,50	R\$ 7,00
23	Sensor de fim de curso	Sensor Micro Switch	8	R\$ 6,50	R\$ 52,00
24	Fio de corte	Fio Cr+Ni diâmetro 0,5 mm x 2 m	1	R\$ 4,00	R\$ 4,00
25	Placa controladora CNC	Placa controladora TB 6560 Toshiba 4 eixos	1	R\$ 359,00	R\$ 359,00
26	Computador com acessórios	Computador com acessórios	1	R\$ 1200,00	
TOTAL					R\$ 3.639,00

Fonte: os autores.

4.5 PROJETO DETALHADO

O enfoque principal do projeto detalhado foi a elaboração da documentação para a produção, especialmente dos desenhos de componentes individuais, desenhos de conjuntos e do desenho completo até as listas das peças. Simultaneamente, foram efetuadas otimizações de detalhes a respeito da forma, do material, das superfícies e das tolerâncias ou ajustes. Esta fase do projeto contou com o auxílio do sistema CAD Solidworks.

Por meio de um protótipo virtual evidenciado na Figura 2, foi possível modelar o projeto em três dimensões, atribuindo materiais, componentes, cores e formas ao produto final. Além disso, torna-se possível verificar propriedades como massa, volume e até mesmo interferências entre os componentes.

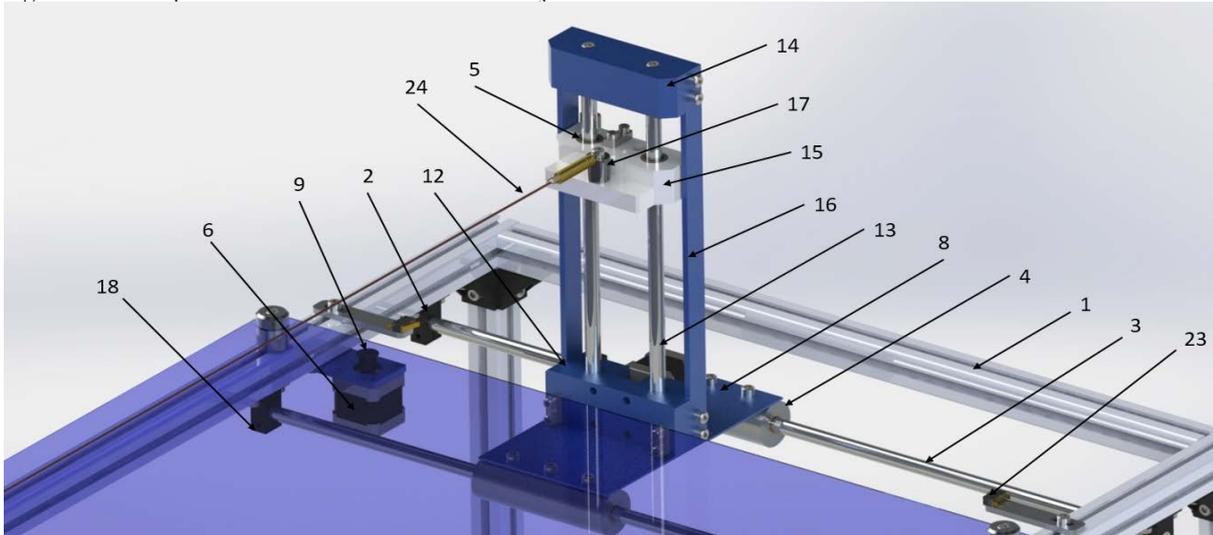
Figura 2 – Protótipo virtual da concepção final de projeto



Fonte: os autores.

A Figura 3 apresenta uma vista ampliada do sistema de movimentação dos eixos, destacando alguns dos componentes numerados no Quadro 4, os quais correspondem aos princípios de solução adotados para o projeto.

Figura 3 – Vista aproximada do sistema de movimentação dos eixos



Fonte: os autores.

4.6 ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO FÍSICO

Esta etapa permitiu a equipe de projeto realizar os testes de funcionamento e ajustes necessários, evidenciando a funcionalidade do projeto em estudo.

Ademais, a construção do protótipo físico possibilita a realização de futuros estudos sobre o comportamento e precisão no momento do corte e a realização de melhorias e futuras otimizações, como implantação de sistema digital do controle dos eixos e inserção de controle manual para movimentação dos eixos.

A Fotografia 3 demonstra o protótipo físico do projeto em estudo, desenvolvido em escala real.

Fotografia 3 – Protótipo físico do equipamento



Fonte: os autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com o desenvolvimento do trabalho evidenciam que a aplicação da metodologia fundamentada pela sistemática de processo de projeto de Pahl et al. (2005) auxilia na definição de soluções criativas para resolução dos problemas de projeto.

O custo final do produto firmou-se em R\$ 3.639,00, viabilizando a fabricação do equipamento. Este custo corresponde a, aproximadamente, 40% do custo médio de mercado para equipamentos similares, conforme pesquisa realizada com diversos fabricantes.

O protótipo físico evidenciou a funcionalidade do produto desenvolvido com a aplicação da metodologia adotada, uma vez que foi possível realizar o corte dos perfis aerodinâmicos por comando numérico, conforme objetivo inicial do trabalho. As soluções adotadas em projeto se mostraram eficazes na prática, atendendo a todas as especificações de projeto definidas na etapa do projeto informacional.

O desenvolvimento do projeto possibilita a realização de futuros estudos por parte da universidade, visto que melhorias podem ser realizadas no equipamento a fim de otimizar e aperfeiçoar ainda mais a qualidade do trabalho realizado. Além disso, a elaboração de projetos de pesquisa relacionados ao desenvolvimento de perfis aerodinâmicos foi facilitada, por meio da redução do custo para a fabricação das asas dos VANTs.

Design of a system for polystyrene expanded wings cut with aerodynamic profile for use in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) of fixed wings

Abstract

The increasing technological advances in several areas has intensified the development of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) with high complexity for military and civil missions. The use of lighter materials and high aerodynamic efficiency wings are actually a competitive advantage in this area. In this paper, the design of a system for cutting polystyrene expanded wings with aerodynamic profile for fixed-wing UAV is introduced. To develop the research, was used the design methodology based in the developing of design planning stages, Informational Design, Conceptual Design, Preliminary Design and Detailed Design. All information relevant to the development of

the design were compiled using the tools recommended by the methodology adopted. The results were satisfactory, given that the physical prototype showed the functionality desired of the design. The cost of manufacturing was approximately 40% below the average of similar products found in the market, enabling his manufacture. In this context, it was found that the use of the methodology adopted for the study, allows the developing of alternative solutions that meet customer needs, resulting in a device that meets all the required functions.

Keywords: Polystyrene expanded cutter. Aerodynamic profile cutter. Wings cutter. CNC cutter.

NOTA EXPLICATIVA

¹ Apoio financeiro: Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (Pibiti) do Conselho Nacional de Iniciação Científica (CNPq).

REFERÊNCIAS

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia**: Fundamentos no desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

ROSENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

RODRIGUES, L. E. M. J. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica – Aplicações ao Projeto SAE-AeroDesign**: Aerodinâmica e Desempenho. Salto: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2009.

VIEIRA, L. da S. **Projeto aerodinâmico-estrutural e de estabilidade de um Mini-VANT para imageamento giroestabilizado utilizando técnicas analíticas e numéricas no âmbito da chamada pública MCT / FINEP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)–Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

WIDMAYER, K. **Algoritmo genético aplicado a otimização de asas de material compósito de veículos aéreos não tripulados**. 2005. 2003 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

