



## **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM VEÍCULO AÉREO NÃO-TRIPULADO (VANT) APLICADO PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL**

**Fábio da Silva Barros** -fabio.barros@itec.ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica

Av. Augusto Correa, s/n

66075-900 – Belém - Pará

**Danyella Crystyane Silva Cardoso** - danyella.cardoso@itec.ufpa.br

**Rafael Gonçalves da Silva** - rafael.goncalves@itec.ufpa.br

**Jerson Rogério Pinheiro Vaz** – jerson@ufpa.br

**Anderson da Silva de Alcântara** - andersonalcantara40@yahoo.com.br

**Emílio Henrique Ferreira e Ferreira** – emiliohenriqueferreira@yahoo.com.br

**Antônio Carlos Rouso dos Santos** – antonio.rouso@itec.ufpa.br

***Resumo:** Este artigo tem como objetivo o projeto e construção de um veículo aéreo não tripulado (VANT) para o monitoramento ambiental, o projeto visa transmitir de forma detalhada os procedimentos de construção do equipamento, assim como disseminação do uso de VANTs na vigilância ambiental de localidades de difícil acesso. Investimentos estão sendo aplicados na utilização deste tipo de tecnologia, devido apresentar flexibilidade operacional, não possuir tripulantes, baixo custo na produção e manutenção das aeronaves, além de ter a capacidade de fornecer imagens de qualidade.*

***Palavras-chave:** Vant, Monitoramento ambiental, Veículo aéreo.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A exploração irregular dos recursos naturais da região Amazônica é um problema que já persiste por muitos anos, devido à falta de fiscalização em áreas de difícil acesso. Essa região é caracterizada por densas florestas e uma rica bacia hidrográfica o que atrai os olhares do mundo todo, inclusive de empresas, a fim de explorar os recursos minerais e hídricos dessa região.

A empresa VALE tem feito grandes investimentos em tecnologias e inovações que possam contribuir com o desenvolvimento sustentável da região Amazônica, inclusive a mesma já criou um Instituto Tecnológico de Desenvolvimento Sustentável (ITV-DS). Entre as linhas de pesquisas desenvolvidas por esse instituto, vale destacar, a tecnologia de monitoramento ambiental e o desenvolvimento sustentável (Portal ORM, 2013).

De acordo com o professor Roberto Dall’Agnol, o qual é coordenador de um dos projetos desenvolvidos pela VALE, novas tecnologias são desenvolvidas para o monitoramento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica situada no sudeste do



Pará, onde o principal objetivo é verificar os possíveis impactos ambientais para garantir a sustentabilidade daquele rio (O Liberal, 2013).

O monitoramento daquela região é feito usando imagens de satélites, onde é implantado oito estações de análise em pontos estratégicos formando uma rede, para verificar o funcionamento do sistema hídrico. Nesse sentido, a utilização de um Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) pode ser utilizado, como uma importante ferramenta, para o monitoramento de uma área ambiental, devido seu baixo custo de produção e manutenção, além de não oferecer risco de vida aos pesquisadores.

Muitos investimentos vêm sendo aplicados na utilização desse tipo de tecnologia, devido o VANT apresentar flexibilidade operacional, não possuir tripulantes, baixo custo na produção e manutenção das aeronaves, além de poder obter imagens com mais qualidade e detalhamento.

A aeronave é capaz de voar com certa carga útil, essa carga é definida durante a elaboração do projeto conceitual, de acordo com sua finalidade, podendo ser adaptada para voar com diversos equipamentos tais como: câmera de alta definição, equipamentos meteorológicos, climatológicos dentre outros.

Desse modo o VANT se torna economicamente viável nessa questão de monitoramento se comparados com os métodos atuais, pois reduzirá os custos de produção, manutenção e treinamento dos operadores, além de não oferecer qualquer risco de vida aos funcionários envolvidos.

## 2. PROJETO VANT

Um VANT conhecido também como Unmanned Airbone Vehicle (UAV) é toda e qualquer tipo de aeronave que não precisa de piloto para levantar voo, e portanto, pode ser controlada remotamente, por navegador de controle remoto com um operador em terra ou por estações de controle, onde o piloto envia e recebe informações da aeronave, segundo o relatório do Departamento de Defesa dos EUA, VANTs são:

*Veículos aéreos que não carregam operador humano, utilizam forças aerodinâmicas para se elevar, podem voar autonomamente ou ser pilotados remotamente, podem ser descartáveis ou recuperáveis e podem transportar cargas bélicas ou não bélicas. Excluem-se desta definição, veículos balísticos e semi-balísticos como mísseis de cruzeiro, e projeteis. (DOD, 2003 apud LONGHITANO, 2010).*

A ideia de construção de VANTs é antiga, e foi desenvolvida inicialmente para fins militares, os quais desenvolveram as primeiras plataformas de sensoriamento remoto e também as aerofotogrametria<sup>1</sup> de forma geral. “A aquisição de informações privilegiadas do território inimigo de forma rápida e muitas vezes sem ser notada impulsionou o desenvolvimento do sensoriamento remoto como um todo.” (LONGHITANO, 2010)

Os avanços tecnológicos e miniaturização de componentes eletrônicos favoreceram de forma significativa o progresso e utilização de VANTs em diversas áreas, não só para fins militares, mas também para monitoramento e aquisição de imagens de uma área ambiental, de uma fronteira de países ou apoio em missões terrestres. Atualmente, vários países têm desenvolvido trabalhos com VANTs para diferentes tipos de missões, aplicadas nas mais diversas áreas desde vigilância como para o desenvolvimento de

<sup>1</sup> Aerofotogrametria foi a primeira forma de aquisição de imagens aéreas para fins militares.



novas tecnologias, tais como software adaptativo, filme, comunicações, etc. No Brasil os primeiros indícios da utilização de VANTs se deu com o projeto ACAUÃ, desenvolvido pelo Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA), este tinha fins militares especificamente e ficou desativado, sendo somente reativado em 2007 como forma de incentivo do governo, para o desenvolvimento de VANT no Brasil.

Para realização desse trabalho foi necessário fazer a revitalização da aeronave projetada e utilizada no ano de 2011, pela equipe UFPA-Aerodesign, a qual é composta por alunos de Engenharia Mecânica, para participar da competição SAE Brasil Aerodesign. Como o projeto é regulamentado pela SAE Brasil, foram seguidos os requisitos operacionais e técnicos de acordo com o regulamento daquele ano.

Onde a principal finalidade do projeto foi encontrar soluções ótimas para minimizar as dimensões da aeronave e maximizar sua carga útil transportada, sem que a mesma sofresse com a perda de estabilidade em voo, ou seja, reduzir o peso estrutural da aeronave e obter a máxima eficiência estrutural da mesma.

Após analisar cuidadosamente a aeronave, avaliamos que seria necessário reconstruir toda a empenagem da mesma, e rever todos os cálculos aerodinâmicos, de estabilidade e de desempenho para o novo objetivo da missão, que visa o monitoramento de uma área ambiental.

Para o desenvolvimento do projeto foi utilizado à metodologia sugerida por ANDERSON (2000), a qual consiste em um conjunto de etapas seguidas durante o desenvolvimento do projeto a fim de se obter a aeronave ideal para conclusão dos objetivos determinados pela equipe.

### **3. CONSTRUÇÃO E ENSAIOS**

#### **3.1. Projeto conceitual da aeronave**

Este trabalho tem como objetivo apresentar o projeto e construção de um veículo aéreo não tripulado (VANT) para monitoramento de uma área ambiental, com o máximo alcance de cinco quilômetros limitado pelo sistema de navegação.

Após as análises, a configuração escolhida pela equipe “foi de um monoplane de asa alta semi-trapezoidal, sistema propulsivo na configuração “tractor”, trem de pouso modelo triciclo, e empenagem composta por um estabilizador horizontal convencional e três estabilizadores verticais posicionados de forma a reduzirem a altura máxima da aeronave.” (UFPA-Aerodesign, 2011).

#### **3.2. Projeto aerodinâmico**

De acordo com as pesquisas feitas pela equipe UFPA-Aerodesign em 2011, o perfil aerodinâmico escolhido foi o ACSM 2030, por apresentar maior eficiência no método numérico e experimental, além de possuir um formato que facilita a construção da asa.

O método numérico teve como base o uso do software XFLR 5(DRELA 2000), que consiste em uma coleção de rotinas que promovem várias funções úteis para uma análise completa de um perfil aerodinâmico. A partir daí os diversos perfis selecionados, foram trabalhados com intuito de aperfeiçoamento de perfis. Com base nessas análises, os perfis que apresentaram melhores características de coeficiente de sustentação (Cl), coeficiente de arrasto(Cd) e eficiência(Cl/Cd), foram : ACSM 2030, Selig 1223 e Eppler 423.

A fim de comparar os resultados do método numérico com os dados reais, foi desenvolvido um teste em um túnel de vento do laboratório de Mecânica dos Fluidos da Universidade Federal do Pará – UFPA. O equipamento permite que sejam simuladas condições de escoamento não turbulento com velocidades inferiores a 12 m/s, permitindo que diversos dados a respeito do material de teste sejam coletados, tais como: velocidade do escoamento, distribuição de pressão e forças atuantes.



Figura 2- Um perfil aerodinâmico posicionado no túnel de vento

### 3.3. O equipamento de ensaio

Para o ensaio dos perfis foi utilizada uma balança aerodinâmica, equipamento que realiza medição das forças atuantes no aerofólio sob diversos ângulos. A balança possui três dinamômetros, capazes de medir a força de sustentação, arrasto e momento gerado pelo aerofólios com precisão de 0,01 Newton, as forças atuantes em cada dinamômetro são mostradas em um display eletrônico onde as forças atuantes em cada dinamômetro são identificadas como: F1, F2 e F3. Em função do mecanismo de funcionamento da balança sabe-se que a Força de Sustentação é dada pela soma das forças F2 e F3, a Força de Arrasto é dada por F1.



Figura 3- Equipamento que mostra as forças atuantes nos dinamômetros da balança aerodinâmica.

### 3.4. Escolha da geometria da asa

Como a asa foi projetada para a competição SAE-Aerodesign, o regulamento restringia um comprimento de pista para a decolagem de 50m. A partir daí a escolha da área, da envergadura e do alongamento foram obtidos através de uma análise numérica feita no software MATLAB, tendo com resultado o gráfico da figura 4, a asa escolhida possui uma área  $S=1,195\text{m}^2$ , um alongamento  $AR=6,19113$  e envergadura de  $b=2,72\text{m}$ .

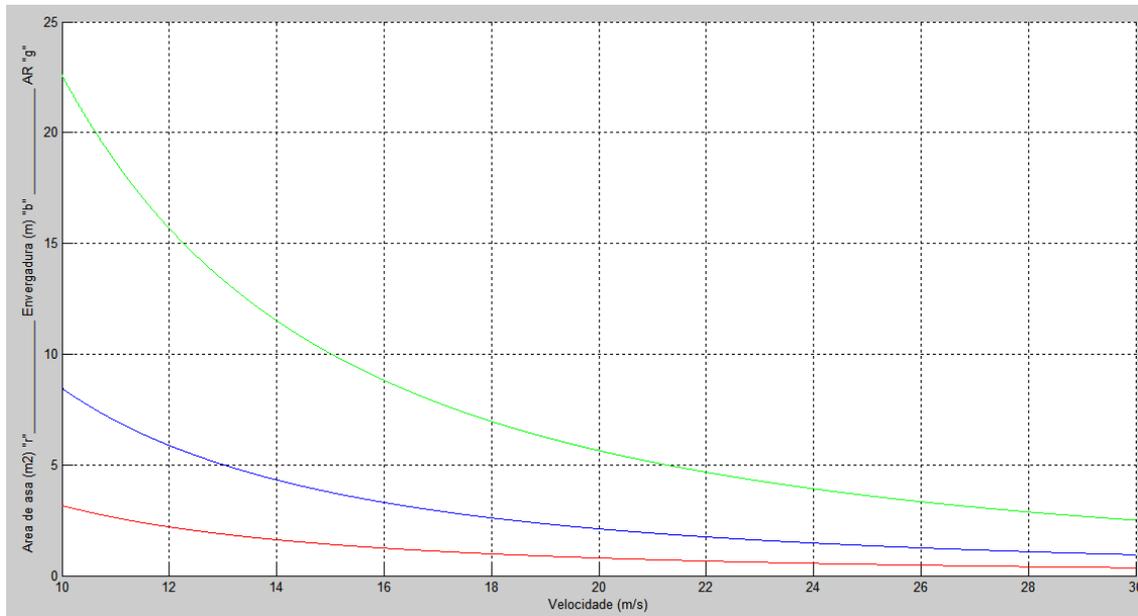


Figura 4- Área, alongamento e envergadura da asa em função da velocidade de voo.

### 3.5. Análise de desempenho de subida da aeronave

Na análise do comprimento de pista necessário para decolar a aeronave, foi utilizado o modelo proposto por Anderson, o qual pode ser determinado a partir da equação (1), onde foi considerada a variação da altitude e do peso de decolagem, como forma de se prever o comprimento de pista necessário para decolar a aeronave em diversas condições de altitude e peso.

$$S_{10} = \frac{1,44 \cdot W^2}{g \cdot \rho \cdot S \cdot C_{l_{m\acute{a}x}} \cdot \{T - [\mu \cdot (W - L)]\}_{0,7V_{L0}}} \quad (1)$$

### 3.6. Análise de pouso

Na análise de comprimento de pista necessária para pouso, foi utilizado por Anderson (2000), na equação:

$$S_{po} = \frac{1,68W^2}{g \cdot \rho \cdot S \cdot C_{lmax} \cdot [D + \mu(W - L)]_{0,7vp0}} \quad (2)$$

### 3.7. Distribuição da sustentação ao longo da envergadura

Para determinar a distribuição da carga na asa, foi utilizado o método de Schrenk para obter de forma aproximada e distribuída a carga da asa mista do presente projeto por meio das equações abaixo:

$$L_n = L \times n_{lim+} \quad (3)$$

$$L(y)_T = \frac{2 \times L_n}{(1 + \lambda)} \times \left[ 1 + \left( \frac{2 \times y}{b} \times (\lambda - 1) \right) \right] \quad (4)$$

$$L(y)_E = \frac{4 \times L_n}{b \times \pi} \times \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times y}{b} \right)^2} \quad (5)$$

$$L(y)_S = \frac{L(y) + L(y)_E}{2} \quad (6)$$

Com o auxílio do software MatLab obteve-se como resultado da distribuição de sustentação utilizando método de schrenk como visto na figura 6.

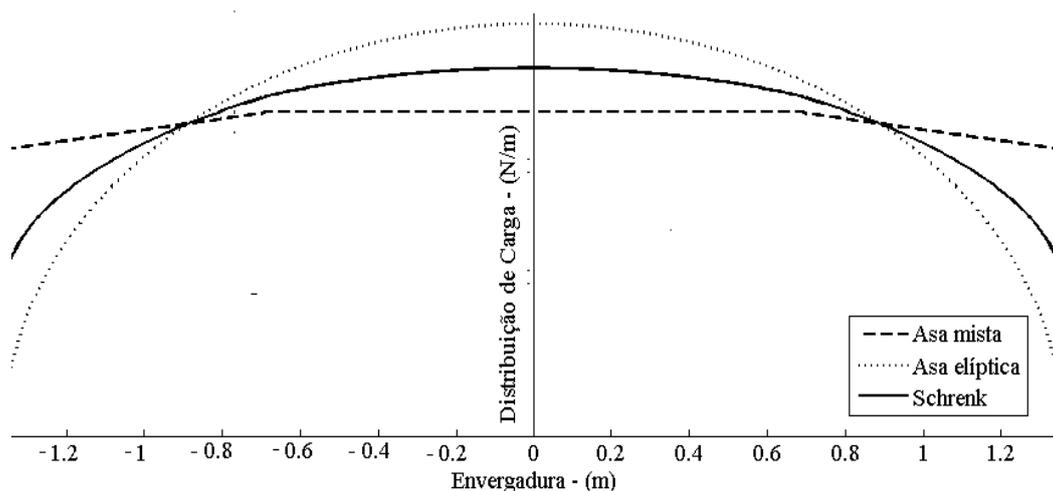
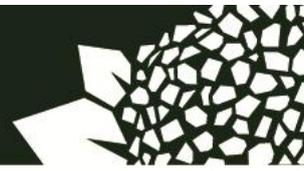


Figura 6 - Distribuição de Sustentação pela aproximação de Schrenk

### 3.8. Determinação do centro de gravidade



A posição do CG da aeronave vazia e carregada foi determinada a partir da Equação (32). Obtendo para aeronave vazia e com carga máxima de decolagem respectivamente  $h_{cgv}=0,19mm$  que corresponde a 41,85% da cma e  $h_{cgc} = 0,125mm$  que corresponde a 27,53% da cma, Considerando uma linha de referência localizada no nariz da aeronave.

$$h_{cg} = \frac{\sum W \cdot d}{\sum W} \quad (7)$$

### 3.9. Análise de manobras

A partir da teoria de Warren, onde a velocidade de manobra foi considerada igual a velocidade mínima de potência requerida, o fator de carga  $n$  é considerado como a razão entre a força de sustentação e o peso da aeronave carregada e pelo equilíbrio com as forças de inércia tem-se o raio de curvatura mínimo.

$$R = \frac{V_{\infty}^2}{g(n-1)} \quad (8)$$

$$R = \frac{V_{\infty}^2}{g\sqrt{(n^2-1)}} \quad (9)$$

### 3.10. Descida e planeio

Nesse tópico são calculados os valores do ângulo de planeio, da velocidade de planeio, da velocidade horizontal e da razão de descida da aeronave em uma condição de máximo alcance e em uma condição de máxima autonomia.

$$tgy = \frac{1}{(L/D)_{max}} \quad (10)$$

$$V_p = \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot \cos y}{\rho \cdot S \cdot Cl}} \quad (11)$$

$$V_h = V_p \cdot \cos y \quad (12)$$

$$R_D = V_p \cdot \sin y \quad (13)$$

### 3.11. Teste de motor e hélice

Nesse projeto foi utilizado o motor OS.61 usado na competição SAE-Aerodesign, e usadas as seguintes hélices: APC Sport 13x6, Master K-series 13x4, Master G/F3-séries 11x6. Para fazer o teste de motor e hélice, foi construída uma bancada, e a partir do ensaio dessas três hélices, foi determinado que a hélice 13x4 possui melhores características de desempenho, por possuir maior eficiência que as outras.



Figura 7 – Bancada para teste de motor e hélice

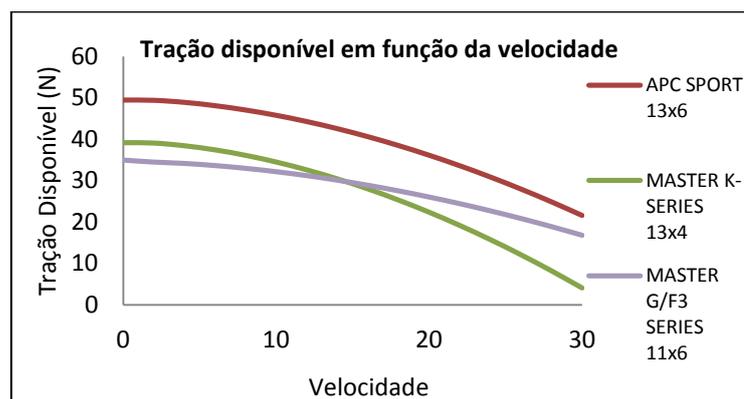


Figura 8 – Empuxo em função da velocidade

### FUNÇÕES GERADAS

#### APC SPORT 13X6

$$T(V) = -0,0078V^2 - 0,6183V + 49,51$$

#### Master K-series 13x4

$$T(V) = -0,0093V^2 - 0,4986V + 39,28$$

#### Master G/F3 series 11x6

$$T(V) = -0,0087V^2 - 0,5123V + 35,1$$

### 3.12. O sistema de imageamento

O sistema utilizado para imageamento será um sistema de FPV (First Person View), que usa uma conexão sem fio de áudio e vídeo com uma estação de controle. Com base nas imagens recebidas do sistema de câmeras da aeronave que o piloto conduz seu voo.



O sistema é constituído de uma microcâmara acoplada a um transmissor de áudio e vídeo wireless, instalados na aeronave, que envia as imagens obtidas através de radiofrequência para um receptor que fica em solo, que por sua vez envia para um monitor. A frequência do equipamento de áudio e vídeo que usaremos no projeto será de 5.8Ghz

O alcance máximo do sistema de FPV será de 5km e o rádio controle também terá o mesmo alcance do sistema. É importante resaltar que não se deve usar uma frequência de 2,4Ghz para transmissão de áudio e vídeo com um rádio controle de 2,4Ghz, para que os sistemas não interfiram um no outro. Por isso optamos pelo sistema de FPV de 5,8Ghz e um rádio controle de 2,4Ghz.

Para um melhor aproveitamento do sistema são acoplados acessórios complementares tais como, sistema de telemetria para coletar os dados da aeronave, um módulo gps e acelerômetro para fornecer as coordenadas geográficas e calcular a distância percorrida e altitude, o acessório de Pan e Tilt, que serve para a paronamização e verticalização da câmera .

Com esses sistemas o equipamento de FPV supre a necessidade do projeto de monitorar áreas ambientais.

## 4. RESULTADOS E DISCUÇÕES

### 4.1. Resultados da análise de desempenho

De acordo com os cálculos da análise de desempenho, foi gerada a seguinte tabela com vários dados sobre a aeronave.

Tabela 1 – Resultado da análise de desempenho

		Unid.			Unid.
Velocidade de estol	10,05	m/s	Fator de carga máximo	2,63	
Velocidade de decolagem	12,06	m/s	Ângulo de planeio	-4,42	Graus
Velocidade de Cruzeiro	17,28	m/s	Velocidade de maior alcance	18,76	m/s
Velocidade de manobra	16,26	m/s	Razão de planeio	1/14	
Velocidade de mergulho	24	m/s	L/D máximo	12,92	
Razão de subida máximo	1,75	m/s	Velocidade de máximo L/D	12,92	m/s
Ângulo de subida máximo	6,5	graus	Razão de descida	-1,4	m/s
Raio de curvatura mínimo	13,17	m/s	Distância de decolagem	31,81	m
Velocidade de maior autonomia	14,25	m/s	Distância de pouso	37,41	m

#### 4.2. Resultados da reforma da aeronave

Como foi dito anteriormente no trabalho, a aeronave foi otimizada com intuito de fazer monitoramento ambiental. A partir desse ponto, foi reconstruída a empenagem e reentelada.

No projeto da estrutura da aeronave, foi realizada uma modificação na parte frontal onde ficam situados o motor e o trem de pouso, na qual foi usado bastão de fibra de carbono e fio de fibra de carbono para fazer a junção das treliças. Foi também feita uma nova estrutura para segurar o trem de pouso que foi confeccionada de madeira balsa.

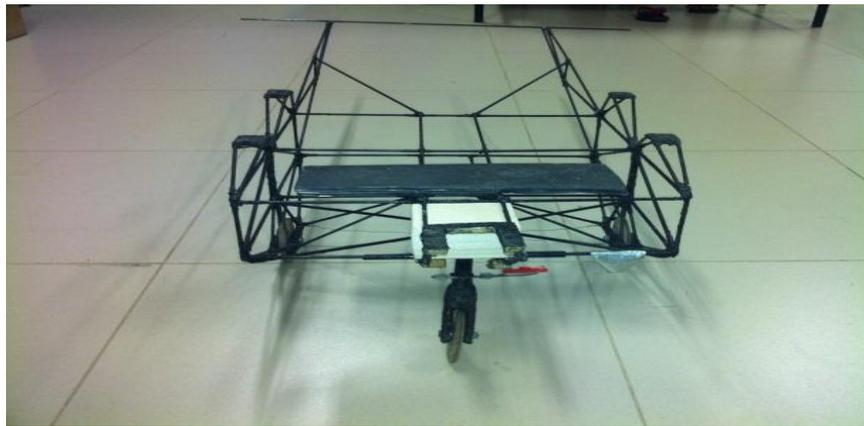


Figura 10 - Visão frontal da aeronave

A reforma da asa foi feita seguindo duas etapas, na primeira foram feitos reparos estruturais, onde foram feitos reforços e substituições de estruturas de madeira balsa. Na segunda etapa, foi refeita a entelagem da asa.



Figura 11 – Estrutura final da aeronave



Figura 12- Aeronave em vôo

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto teve como objetivo mostrar as etapas realizadas para a construção de uma aeronave visando o monitoramento ambiental.

Após projetada, simulada, a aeronave foi contruída e montada, e a partir dos dados e estudos feitos, pudemos concluir que ela se adequa ao seu requisito, na qual os esforços dos alunos de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará foram recompensados ao final deste projeto.

## 6. REFERÊNCIAS / CITAÇÕES

ANDERSON, John. *Introduction to Flight*. New York: McGraw-Hill. 2000.

DRELA, Mark. *Aerodynamics, Computational Fluid Dynamics, Design Methodology. Low-Order Modeling of Aeromechanical Systems*. 2000

JORGE, Lúcio A. G., INAMASU, Ricardo Y. CARMO, Rhendrix B. *Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em Agricultura de Precisão no Brasil*. São Paulo, 2011.

LONGHITANO, George Alfredo. *VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas*, ed. rev. São Paulo, 2010.

NELSON, ROBERT. C., *Flight Stability an Automatic Control*, 2ª Ed, McGraw-Hill, Inc. New York 1998.

PINHEIRO, Carlos A. P. *Veículos Aéreos não tripulados para monitoramento de ambientes desestruturados e comunicação de dados*, dissertação de mestrado – IME. Rio de Janeiro, 2006.



RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda. J. Fundamentos da Engenharia Aeronáutica – Aplicações SAE-AeroDesign. Vol 1 – Princípios Fundamentais, Aerodinâmica, Propulsão e Análise de Desempenho. São Paulo, 2009.

VEÍCULOS                      Aéreos                      Não-Tripulados.                      Disponível                      em:  
<<http://www.oern.pt/noticia.php?id=684>> Acesso em: 17 Maio 2013.

## **DESIGN AND CONSTRUCTION OF A UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) APPLIED FOR ENVIRONMENTAL MONITORING**

***Abstract:** This work aims at the design and construction of an unmanned aerial vehicle (UAV) for environmental monitoring in order to transmit the detailed procedures of construction equipment, as well as spread the use of UAVs in environmental surveillance of places of difficult access. Investments are being applied in the use of this technology due to present operational flexibility has no crew, low cost production and maintenance of aircraft, as well as having the ability to provide quality images.*

***Keywords:** UAV, Environmental Monitoring, Aerial Vehicle*