

ENGENHARIA APLICADA A MODIFICAÇÕES: UMA OPÇÃO PARA DIMINUIÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL

André Hassesian ^a, Gustavo Kreutzer ^b, Luiz Gustavo Araújo Soares ^c, Mário Sérgio Demasi ^d, Miguel de Oliveira Jardim ^e, Rogerio Frauendorf De Faria Coimbra ^f, Thiago Pena Kinoshita ^g

- a – Aluno do PE-Safety, Turma 2006 - ITA
b – Aluno do PE-Safety, Turma 2006 - ITA
c – Aluno do PE-Safety, Turma 2006 - ITA
d – Aluno do PE-Safety, Turma 2006 - ITA
e – Aluno da FEAU - Eng. Aeronáutica e Espaço
f – Professor da UNIVAP
g – Aluno do PE-Safety, Turma 2006 – ITA

RESUMO

O foco dos fabricantes aeronáuticos no lançamento de novos produtos em detrimento do desenvolvimento de produtos existentes, faz da grande frota em operação um nicho de mercado promissor e pouco explorado. Neste trabalho aborda-se a oportunidade encontrada por uma empresa de engenharia que investiu no aperfeiçoamento do projeto da família de aeronaves turbo-hélice líder de mercado. São apresentados alguns dos *kits* de desempenho e, com base na melhoria do desempenho e conseqüente diminuição do custo operacional, é feita uma análise sobre o seu retorno de investimento.

Palavras Chave: Eficiência Aerodinâmica, Custo Operacional, Desempenho, Produtividade, Aperfeiçoamento de Projeto.

ABSTRACT

The focus of the aeronautical manufacturers on developing new aircraft rather than improving existing products makes the large operational fleet a promising and unexplored market. This paper shows the opportunity found by an engineering company, which invested on improving the design of the market leader turboprop aircraft family. A few performance kits are presented and a return on investment analysis is presented based on the operational cost decrease provided by the performance improvement.

Key Words: Aerodynamic Efficiency, Operational Cost, Performance, Productivity, Design Improvement.

Introdução

1 Introdução

É possível para uma empresa de engenharia aeronáutica, que a princípio não se envolveu diretamente com o projeto de uma aeronave, desenvolver modificações que a tornem mais eficiente? A resposta é sim.

Os sistemas abordados por este trabalho são desenvolvidos pela Raisbeck Engineering, uma empresa baseada em Seattle nos Estados Unidos da América para a família de aeronaves King Air, fabricados pela Beechcraft.

Dos quatro sistemas que são abordados por este trabalho, três são analisados com maior profundidade.

São eles: a modificação do perfil aerodinâmico da raiz das asas, a colocação de quilhas (*strakes*) no cone de cauda e a substituição do conjunto de hélices tripá por um quadripá mais eficiente.

A ênfase deste trabalho está sobre o modelo King Air B200, Figura 2.1, mas existem sistemas disponíveis para toda a família King Air, assim

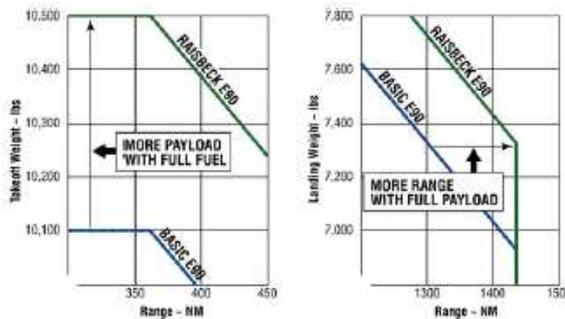
como para outras aeronaves de pequeno e médio porte, monomotores e bimotores com propulsão alternativa, turbo-hélices e jatos executivos. De igual modo, a Raisbeck não é a única empresa onde o *core business* é estabelecido através do desenvolvimento de modificações certificadas para uma melhor eficiência operacional das aeronaves. *Winglets* (superfícies defletidas verticalmente e instaladas nas pontas das asas com o objetivo de reduzir o arrasto induzido associado aos *tip vortices*) para o próprio B200 já estão certificados por uma outra empresa de engenharia junto ao FAA.



Figura 1.1: Beechcraft King Air B200

Para esta categoria de aeronave, a escolha e instalação de modificações estão diretamente relacionadas com o impacto sobre a sua produtividade, o que significa, segundo a própria Raisbeck responder a 5 perguntas fundamentais: (Rasibeck, 2006).

1) Carga paga (*Payload*) – Quanto se pode transportar?



2) Alcance (*Range*) – Até onde se pode transportar?

3) *Block Speed* – Quão rápido se pode chegar lá?

4) Flexibilidade Operacional (*Operational Flexibility*) – Em quantas pistas / aeroportos se pode operar?

5) Custo (*Cost*) – Quais são os efeitos diretos e indiretos sobre o custo operacional?

Uma sexta pergunta não está diretamente relacionada à produtividade, mas é igualmente significativa:

6) Estilo (*Style*) – É agradável esteticamente?

Atualmente existem mais aeronaves desta família em operação no mundo que todos os outros modelos de turbo-hélice juntos. São mais de 6.000 aeronaves fabricadas desde 1964, e mais de 40 milhões de horas de voo acumuladas ou cerca de 18 bilhões de quilômetros percorridos. Para um país como o Brasil, onde a economia baseia-se em boa parte na agroindústria, aeronaves com flexibilidade e baixos custos

operacionais têm mercado garantido. No Brasil, existem 480 turbo-hélices em operação. Este número significativo de aeronaves se deve à infra-estrutura aeroportuária nacional, uma vez que das 4.200 pistas existentes, apenas 700 são pavimentadas (DA COSTA, 2006).

Segundo conclusões de George e Gustafson (1995), as aeronaves equipadas com esses sistemas são mais silenciosas, rápidas e econômicas que as aeronaves de fábrica (*factory stock*). Seu sucesso comercial levou a própria Beechcraft a oferecer os sistemas como opcionais de fábrica, e conseqüentemente a aceitar que empresas fora da organização possam oferecer melhorias e modificações economicamente viáveis aos seus projetos.

1.2 Sistemas de Aumento de Desempenho para o King Air 200/B200 e Série C90

Como mencionado anteriormente, analisam-se os sistemas projetados pela empresa de engenharia em questão para o King Air B200 e procura-se identificar os aspectos contribuintes para o aumento de desempenho da aeronave. Adicionalmente, comenta-se a respeito do modelo C90, no que diz respeito ao aumento significativo do MTOW (peso máximo de decolagem) apenas com a substituição do conjunto de hélices.

1.2.1 Sistema 1: Quiet Turbofan Propellers

Anteriormente ao BB-1439, o primeiro King Air “silencioso” produzido no final de 1992, Figura 1.2, a aeronave era equipada com um conjunto de hélices tripa fabricada pela Hartzell com 98.5 in de comprimento. Estas hélices em regime de cruzeiro, girando a 1700 a 2000 rpm no FL 310, geravam um ruído de 92 dBA no *cockpit*, sete decibéis a mais que o máximo permitido para trabalho contínuo em ambiente ruidoso determinado pela OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*). Trabalhando em conjunto com a Hartzell, a Raisbeck desenhou uma quadripá de 94 in, e de acordo com os testes feitos pela empresa, experimentaram uma redução de ruído superior a 7 dBA no *cockpit* e de 10 dBA na cabine de passageiros.

A Figura 1.3 mostra uma comparação da quantidade de ruído produzido por uma aeronave original (*Old 3-Bladed Props*) e uma aeronave com o sistema *Quiet Turbofan Propellers* (*Quiet Turbofans*).

Metodologia



Figura 1.2: Conjunto de Hélice Quadripá de Projeto Raisbeck Engineering e Fabricação Harzell

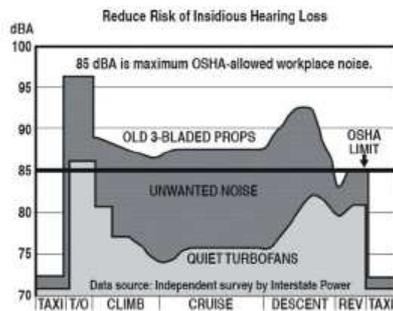


Figura 1.3: Gráfico Relacionando Nível de Ruído em Cada Fase de Voo

A Raisbeck também submeteu e aprovou junto ao FAA, os testes comprovando que a quadripá por ela projetada gerava maior tração (*thrust*) a baixas velocidades do que as hélices *standard*. Este aumento de tração resultou em uma redução de 18% da distância decolagem (*liftoff*) e em adição a isto, resultou também num aumento certificado de VMC de 86 KIAS para 91 KIAS.

As hélices da Raisbeck são tão efetivas a baixas velocidades, que as aeronaves equipadas com elas precisam da instalação de um *autofeather* (sistema de redução automática de torque), caso contrário, na falha de um dos motores o arrasto assimétrico e por consequência o momento de guinada (*yawing moment*) poderia ser ainda mais prejudicial.

As hélices da Raisbeck também aumentam a compressão de ar no motor para a combustão (*engine air inlet pressure*), como resultado da melhoria do *design* do perfil próximo ao cubo da hélice. Segundo o teste de certificação do FAA, houve um aumento de 6% no torque disponível, resultando em um aumento de 6 kt de TAS a uma potência de cruzeiro de 1700 rpm.

É importante que os conjuntos de hélice trabalhem em sincronismo de fase para uma produção mínima de ruído. As quadripás projetadas pela Raisbeck mantêm a fase numa faixa de 6 graus, o que significa diminuir muito o ruído causado por duas hélices operando numa mesma rotação e fora-de-fase (uma condição *out-of-phase* é causada pela passagem simultânea das pontas das pás de hélice pela região mais

próxima à fuselagem, causando o máximo de ruído interno e vibração).

A menor aeronave da família King Air, é o C90, e não se pode deixar de mencionar o aumento de desempenho alcançado pela simples substituição do conjunto de hélices.

Também neste caso, a Raisbeck juntamente com a Hartzell, projetou e certificou um conjunto de hélices quadripá que juntamente com a diminuição de ruído, aumento de TAS, melhoria das margens de segurança para decolagem e pouso, ainda aumentou a Carga Máxima de Decolagem (MTOW) para 10.350 lb, ou seja, 700 lb mais de carga útil (*“payload”*).

Observa-se que aeronaves alternativas ou turbopropulsores utilizam conjuntos motopropulsores com diferentes números de pás.

Uma análise superficial mostra que os engenheiros lidam com uma quantidade limitada de alternativas e parâmetros de *design* para lidar com a eficiência dos conjuntos de hélice dado uma determinada potência.

São eles (SCOTT, 2001):

- Aumentar o ângulo de inclinação (ou de *pitch*) das pás da hélice. Fazendo isso, o ângulo de ataque das pás aumenta, transferindo uma quantidade maior de energia para o escoamento de ar.
- Aumentar o diâmetro do conjunto de hélices, i.e. aumentar o alongamento das pás. As pás irão transferir mais energia para o escoamento atacando um maior volume de ar.
- Aumentar o número de revoluções por minuto do conjunto. A mesma quantidade de energia será transferida para o escoamento em um menor período de tempo.
- Aumentar o arqueamento (ou curvatura) do perfil aerodinâmico das pás. Aumentando o arqueamento, aumenta-se a tração, da mesma maneira que se aumenta a sustentação quando se aumenta o arqueamento de uma asa.
- Aumentar a corda das pás da hélice.
- Aumentar o número de pás.

Infelizmente, a maioria destas opções cria mais problemas que soluções, e são impraticáveis por pelo menos uma razão (SCOTT, 2001):

- Ângulo de inclinação: O *pitch* das pás é determinado pelo ângulo que otimiza sua eficiência aerodinâmica. Se este ângulo é alterado, se ganha um “tipo” de eficiência em detrimento de outro.
- Comprimento da Pá: Aumentar a velocidade das pontas das pás é preocupante, porém a elasticidade da pá normalmente é o maior problema nesta opção. À medida que o tamanho da pá aumenta, o trem de pouso precisa ser maior para evitar a colisão com a pista. Esta mudança tem um efeito “dominó”, sobre uma série de outros assuntos estruturais e de peso.

c. Revoluções por minuto: Para o mesmo diâmetro de hélice, as pontas das pás aumentam de velocidade à medida que a rotação aumenta. Eventualmente as pontas das pás tornam-se supersônicas, com a formação de ondas de choque e, conseqüentemente, com um aumento significativo do arrasto de onda, o que se contrapõe à eficiência.

d. Arqueamento do perfil: O perfil das pás é escolhido para a melhor relação de eficiência aerodinâmica. Alterando as seções, novamente sacrifica-se um tipo de eficiência por outra. Aumentar o arqueamento também pode comprometer a estrutura da pá.

Portanto, o que resta são apenas duas opções: Aumentar a corda da pá ou aumentar o número de pás. Ambas resultam em aumentar a solidez das hélices. Solidez refere-se à área do disco da hélice que é efetivamente ocupada por componentes sólidos (*solid components*), i.e., a relação entre a área total das pás das hélices pela área do disco das mesmas. À medida que a solidez aumenta, as hélices podem transferir mais potência para o ar. Aumentar a corda torna-se uma opção mais fácil, porém menos eficiente porque se diminui o alongamento (*AR-Aspect Ratio*) das pás resultando em alguma perda de eficiência aerodinâmica. Portanto, conclui-se que aumentar o número de pás é a solução mais atraente (SCOTT, 2001). A aeronave russa Tupolev Tu-114, Figura 1.4, equipada com o mais potente motor turbo-hélice já construído, possui oito pás por motor.



Figura 1.4: Tupolev Tu-114 com Oito Pás por Motor

1.2.2 Sistema 2: *Enhanced Performance Leading Edges*

A seção interna de asa do King Air B200, Figura 1.5 – entre a nacele dos motores e a fuselagem – apresenta um perfil que é capaz de produzir sustentação em grandes ângulos de ataque. Portanto o estol da aeronave é definido pela perda de sustentação na parte externa que por

sua vez provoca a queda de asa e possível perda de eficiência dos ailerons. A velocidade de estol certificada é conservadoramente alta (99 KIAS com 12.500 lb), de acordo com o Manual de Voo da Aeronave (AFM) aprovado pelo FAA.

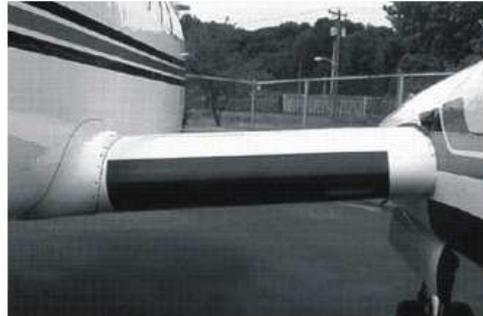


Figura 1.5: Bordo de Ataque e Perfil Desenhados pela Raisbeck Engineering (Raisbeck, 2006)

Em altas velocidades, a seção interna produz pouca, ou nenhuma, sustentação em ângulo de ataque de cruzeiro, segundo as pesquisas levantadas em vôos de teste pela Raisbeck. A seção externa da asa tem que prover praticamente toda a sustentação ficando sobrecarregada, uma vez que a seção interna funciona mais como um *engine pylon* sem carregamento aerodinâmico.

A Figura 1.6 ilustra a diferença entre a distribuição da sustentação ao longo da asa original e da asa redesenhada.

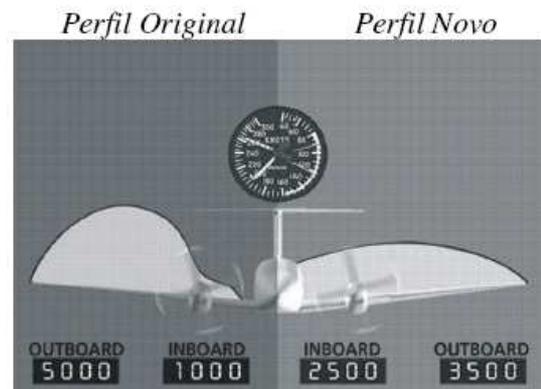


Figura 1.6: Distribuição de Carga sobre as Asas (Raisbeck, 2006),

A proposta da Raisbeck foi redesenhar o perfil da seção interna da asa aumentando o raio de curvatura do bordo de ataque e alterando o arqueamento tanto do intradorso como do extradorso, Figura 1.7. A aeronave perdeu a tendência de rolar sobre uma das asas durante o estol, podendo atingir ângulos de ataque maiores, alcançando maior coeficiente de sustentação e reduzindo a velocidade de estol.

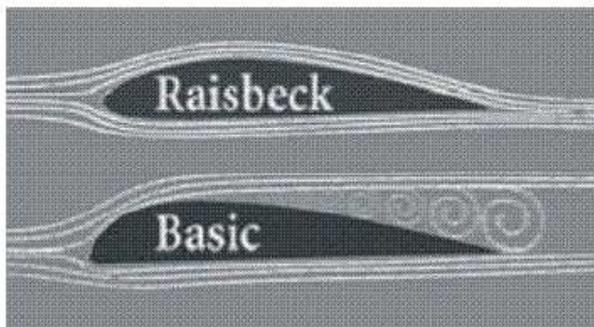


Figura 1.7: Perfil Básico e Perfil Desenhado pela Raisbeck (Raisbeck, 2006)

Após estudos, a velocidade de estol certificada foi reduzida para 89 KIAS com 12.500 lb de peso, ou seja, 10 kt a menos que a de fábrica, além de conseguir características de estol mais aceitáveis. O novo perfil gera mais sustentação a baixos ângulos de ataque, ou seja, em ângulos de ataque de cruzeiro, distribuindo melhor a carga sobre toda a asa e diminuindo o arrasto induzido e gerando um incremento de velocidade de cruzeiro próximo de 5 kt.

1.2.3 Sistema 3: *Dual Aft Body Strakes*

A Raisbeck desenhou o DABS, Figura 1.8, para aumentar a estabilidade direcional do King Air B200, e para reduzir o arrasto de pressão provocado pelo descolamento do ar no cone de cauda. Este incremento adicional de estabilidade direcional (*yaw stability*) certificou que o B200 pode operar no seu teto de serviço de 35.000 pés com o *yaw damper* inoperante.

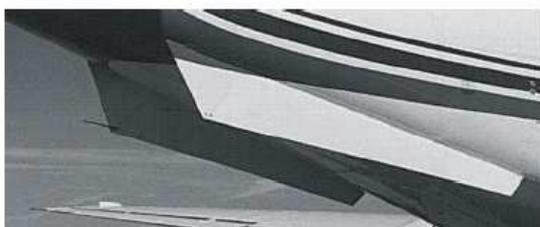


Figura 1.8: Quilhas de Cone de Cauda (Raisbeck, 2006)

Mesmo com o *yaw damper* inoperante, o DABS atenua em até 95% a amplitude da guinada em sete ciclos na posição do centro de gravidade mais traseira permitida, segundo os dados de certificação submetidos ao FAA.

O DABS também reduz o arrasto, pois aparentemente ele captura os vórtices gerados na junção asa-fuselagem, redirecionando-os na região inferior do cone de cauda. Deste modo, o escoamento naquela região é reenergizado, reduzindo o descolamento e, portanto o arrasto, Figura 1.9. O resultado disso são mais 2 kt de TAS.

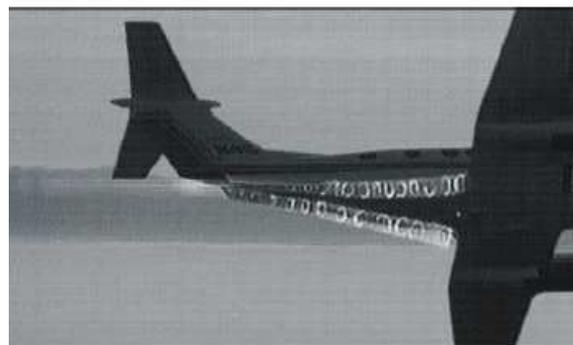


Figura 1.9: Comportamento do Escoamento sob a Fuselagem (Raisbeck, 2006)

1.2.4 Sistema 4: *Ram Air Recovery System*

O sistema de injeção de ar no B200, Figura 1.10, assim como outras aeronaves equipadas com motores Pratt & Whitney PT6A, no caso as -40/-42, tem dois objetivos primários que normalmente estão em conflito. Primeiramente, a forma do *air inlet system* (Figura 1.11) tem que prover uma alta eficiência volumétrica para a tomada de ar e, em segundo lugar, sua geometria tem que ser capaz de quando necessário defletir o gelo e objetos estranhos para fora da captação de ar do motor.

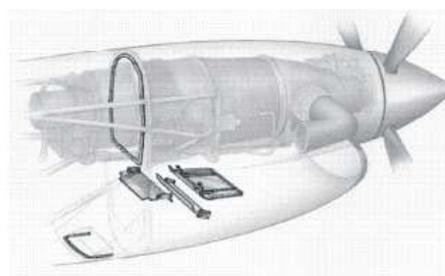


Figura 1.10: Visão Interna do Sistema de Injeção de ar Projetada pela Raisbeck (Raisbeck, 2006)



Figura 1.11: Vista Frontal do Air Inlet System (Raisbeck, 2006)

Com as modificações certificadas pela Raisbeck, a eficiência de tomada de ar original de 70% passou para 96% em voo de cruzeiro, através de

um sistema que muda a geometria interna dos componentes dependendo da velocidade da aeronave.

Uma maior eficiência de tomada de ar, significa uma maior potência disponível, uma temperatura interturbina reduzida em até 40 graus Celsius para o mesmo torque, e finalmente adicionando mais 9 kt à TAS.

1.3 Retorno de Investimento

Considerando-se apenas as contribuições individuais de velocidade (TAS) dos sistemas aqui apresentados, o conjunto de melhorias apresentado chega a acrescentar 22 kt a mais de TAS na condição de cruzeiro. Isto significa que durante o período de operação entre TBOs (*Time Between Overhaul*) de 3.600 horas, a aeronave voa aproximadamente 146.600 quilômetros a mais o que, evidentemente, economiza o custo operacional.

Considerando-se esses números, por que não se vê a própria Raytheon/Beechcraft oferecendo modificações similares nas aeronaves de linha? Segundo respostas dadas por alguns operadores entrevistados pela revista B&CA (GEORGE, 1995) a "Beech é relutante em admitir que alguém possa desenhar um produto que possa melhorar suas aeronaves", ou ainda "Não existe uma grande aceitação para aperfeiçoamentos ou modificações pós-venda", e há quem diga também que "A Beech tem que olhar para as conseqüências de longo prazo causadas por mudanças no *design* básico". Ainda segundo a mesma revista e confirmando a informação no FAA, a Raisbeck nunca precisou publicar nenhum Boletim de Serviço Mandatório e nenhum acidente ou incidente ocorreu onde à causa possa ter sido atribuída à falha de qualquer um destes sistemas.

1.4 Considerações Finais

Fica evidente que existe um segmento de mercado a ser explorado pela engenharia aeronáutica brasileira, não somente associado às aeronaves projetadas e fabricadas no Brasil, mas para toda a frota de aeronaves hoje em operação. Por este trabalho fica clara a importância do desenvolvimento de sistemas que possam diminuir o custo operacional da aviação geral e executiva, e em especial a agrícola. Os projetos das aeronaves que hoje estão em operação datam de 30 anos atrás. Salvo algumas exceções, nada de realmente novo aconteceu desde os anos 80. Empresas que tomarem a dianteira e investirem em sistemas que melhorem o desempenho e/ou diminuam o custo operacional da segunda maior frota de aeronaves do planeta, certamente terão sucesso garantido.

Agradecimentos

Aos meus colegas de turma do PE-Safety 2006, meu orientador Prof. Dr. Rogerio Frauendorf De Faria Coimbra.

Referências Bibliográficas

- HASSESIAN, A.; KREUTZER, G ; SOARES, L. G. A. ; DEMASI, M. S ; JARDIM, M. O. ; KINOSHITA, T. P. **Ações Integradas para a Retomada do Crescimento da Aviação Geral de Pequeno Porte no Brasil** – 2006 – 135 f – Monografia (Especialização em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – 7 Divisão de Engenharia Aeronáutica – São José dos Campos – 2006
- DANTAS, Elenildes. **Força Movida a Hélice**. Revista Aero Magazine – Editora Spring Ltda. Edição de Número 143 – páginas 56-57. 2006.
- GEORGE, Fred. **"The Raisbeck King Air 200 – Is it really faster, quieter and better-performing than a Beech original?"**. *Business & Commercial Aviation Magazine*. McGraw-Hill Inc. January 1995.
- RAISBECK ENGINEERING. **Performance systems for King Air 200/B200**. Disponível em: <<http://www.raisbeck.com/ka/200.html>>. Acesso em: 03 abr 2006.
- SCOTT, J. **Number of aircraft propeller blades**. Disponível em: <<http://www.aerospaceweb.org/question/propulsion/q0039.shtml>>. Acesso em: 03 abr 2006.

SIMBOLOGIA

- AFM *Aircraft Flight Manual*
DABS *Dual Aft Body Strakes*
dBA Decibéis
FAA *Federal Aviation Administration*
FL *Flight Level*
KIAS *Knots of Indicated Air Speed*
MTOW *Maximum Takeoff Weight*
OSHA *Occupational Safety and Health Administration*
TAS *True Air Speed*
TBO *Time Between Overhaul*
VMC *Velocidade Mínima de Controle*