

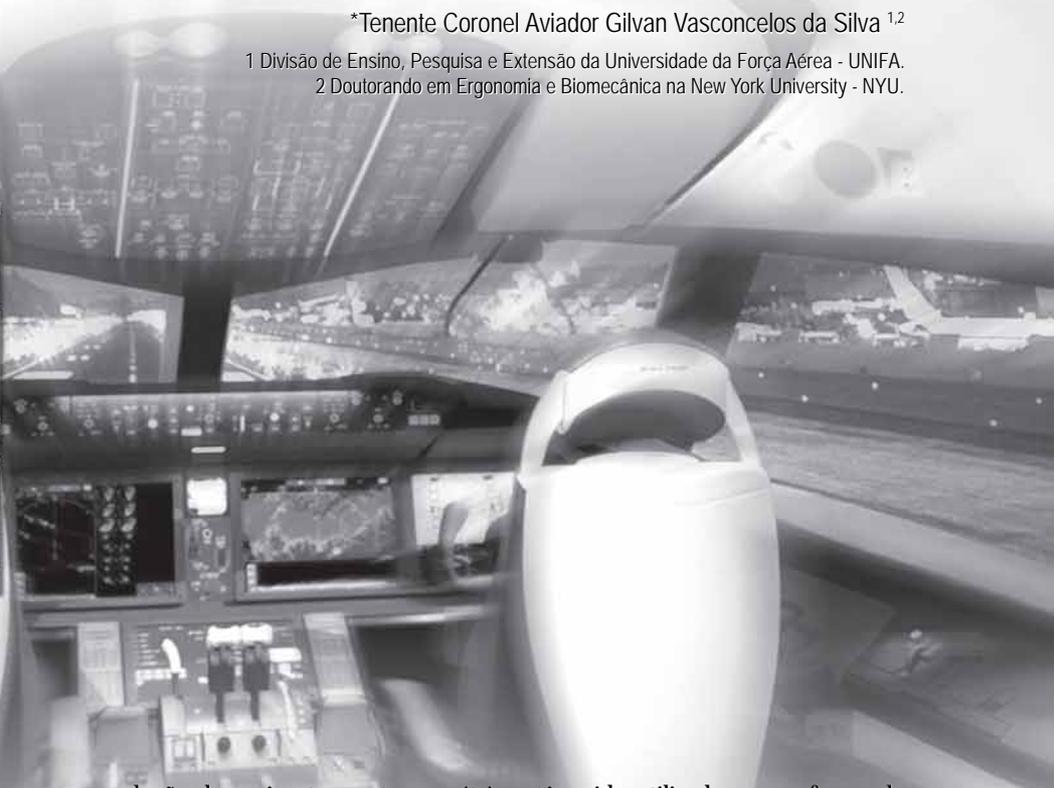
# Requisitos Ergonômicos em Aviação: importância e aplicações para a FAB

## *Ergonomics Requirements in Aviation: the relevance and applications to Brazilian Air Force*

\*Tenente Coronel Aviador Gilvan Vasconcelos da Silva <sup>1,2</sup>

1 Divisão de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade da Força Aérea - UNIFA.

2 Doutorando em Ergonomia e Biomecânica na New York University - NYU.



### RESUMO

Análises e intervenções ergonômicas, bem como a adoção de parâmetros antropométricos têm sido utilizadas como forma de reduzir estresses físicos nas cabines de voo, na determinação de espaços e na seleção de pilotos militares. O presente estudo tem por objetivo levantar dados da literatura que esclareçam e/ou justifiquem a aplicação dos conceitos da ergonomia e da antropometria na definição de requisitos antropométricos quando do desenvolvimento ou aquisição de aeronaves. Verificou-se que um dos principais fatores que afetam a qualidade de vida e o desempenho dos pilotos durante o voo está nas cadeiras presentes na cabine e que alguns assentos que equipam aeronaves da Força Aérea Brasileira não oferecem o conforto necessário às suas tripulações. Para uma precisa formulação de requisitos ergonômicos em aviação é primordial se basear, principalmente, na experiência de uma grande quantidade de usuários cotidianos, em detrimento dos pilotos de prova. A adoção de parâmetros antropométricos como critério de admissão e seleção de pilotos tem sido bastante utilizada. As medidas consideradas críticas para uma correta avaliação das dimensões da cabine de uma aeronave são tomadas na posição sentada: a estatura, a distância do glúteo ao joelho, a altura do joelho em relação ao piso, o comprimento da perna e a altura dos olhos. Em função da antropometria, uma grande parcela da população feminina é incapaz de operar efetivamente os comandos de voo. Conclui-se que o conhecimento das medidas antropométricas de uma população específica é de grande importância no desenvolvimento ou aquisição de qualquer equipamento, como também que a utilização de requisitos ergonômicos precisos em aviação pode proporcionar o aumento do rendimento operacional e da segurança de voo, assim como a diminuição dos riscos de lesão e de óbito.

**Palavras-chave:** Ergonomia. Antropometria. Requisitos ergonômicos. Aviação.

**Recebido:** 30/03/2009

**Revisado:** 21/05/2009

**Aceito:** 23/06/2009

\*Autor: Gilvan Vasconcelos da Silva Tenente Coronel Aviador, graduado em Educação Física pela EsEFEx, graduado em Fisioterapia pela Universidade Castelo Branco-UCB, Mestre em Ciência da Motricidade Humana pela UCB, Doutorando em Ergonomia e Biomecânica pela Universidade de Nova York - NYU. **Contatos:** tel/fax- (21) 2157-2897, tel 2157-2783 (UNIFA), cel- (21) 8872-4562 ou e-mail- gvs219@nyu.edu.

## ABSTRACT

*Ergonomic interventions and analyses as well as the anthropometric parameters have been used as a means to reduce physical stress in the flight cockpit, in space design and in the military pilots' selection. The aim of the present study is to find out literature support in order to explain and/or justify the use of ergonomics and the anthropometric concepts application in anthropometric requirements definition when acquiring or developing new planes. The author verified that one of the main factors that affect the quality of life as well as the pilot's performance during flight is in the crew's chair which is being currently used once some sittings in the Brazilian Air Force airplanes do not offer reasonable comfort to the flight personnel. Another finding was that in order to specify accurate ergonomic requirements it is strongly recommended to base on the huge number of ordinary pilots' experience instead of test pilots only. The adoption of ergonomic parameters as an admission and selection criterion has been largely used. The critical measures for a correct evaluation of the aircraft's cockpit dimensions must be taken in the sitting position: stature, buttock knee, knee height, leg length and eyes height. Due to anthropometry a great part of the female population is not able to operate the flight controls effectively. It is concluded that the knowledge of the anthropometric parameters in a specific population is very important in the development or acquisition of any equipment, as well as the accurate ergonomic requirements in aviation can promote the improvement of operational performance and flight security and the decreasing of musculoskeletal dysfunctions and death risks.*

**Keywords:** *Ergonomics. Anthropometry. Ergonomics requirements. Aviation.*

## INTRODUÇÃO

Com a globalização e uma tendência de homogeneização tecnológica entre os países de poder aquisitivo e/ou nível de desenvolvimento semelhante, o fator humano aparece como o grande diferencial. Quando os equipamentos são equivalentes e o treinamento não apresenta grande diferença, o ponto de maior influência no desempenho global de determinado sistema é o fator humano que, na aviação militar, é representado por seus tripulantes ou equipagens de combate.

Para que se possa obter o máximo desempenho da máquina, é necessário que o ser humano suporte esforços extremos, o que se torna pouco provável sem a perfeita interação com o ambiente de trabalho, principalmente no que diz respeito às dimensões, a disposição dos comandos e instrumentos e a estrutura do equipamento/ambiente a ser operado, bem como as características morfofisiológicas do usuário (BUCKLE et al., 1990).

Nesse escopo, uma eficiente e completa **capacitação operacional** e/ou reparagem de uma Força Aérea deve contemplar, também, os fatores humanos e as diversas maneiras de maximizar o seu desempenho.

A forma para se alcançar essa maximização é proporcionar às tripulações maior segurança e conforto, diminuir o esforço e os riscos de lesão, além de proporcionar o aumento da eficiência e da precisão das ações e tarefas, sem, entretanto, gerar

fadiga. Tudo isso parece inalcançável, contudo pode ser facilmente conquistado com a devida aplicação da ergonomia e seus conceitos (GRAYSON et al., 2005).

Dessa forma, o objetivo deste artigo é levantar dados da literatura que esclareçam e/ou justifiquem a aplicação dos conceitos da ergonomia e da antropometria na definição de requisitos antropométricos quando do desenvolvimento ou aquisição de aeronaves.

## 1 CONHECENDO A ERGONOMIA

Segundo a International Ergonomic Association (2000), o termo ergonomia, utilizado pela primeira vez na era moderna em 1857, é derivado das palavras gregas *ergon* (trabalho) e *nomos* (leis naturais), caracterizando, assim, a Ciência do Trabalho.

Ergonomia é a disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e os outros elementos ou fatores de um sistema. É também a profissão/atividade que aplica teorias, princípios, dados e métodos para definir projetos, formatos e estruturas, de acordo com as necessidades humanas, a fim de otimizar o seu bem-estar e o rendimento do sistema homem-máquina como um todo (INTERNATIONAL ERGONOMIC ASSOCIATION - IEA, 2000).

A era da informação resultou no aparecimento de novos campos da ergonomia como o da Interação Homem-Computador (IHC), face da ergonomia que



hoje se aplica aos projetos de painéis de aeronaves (IEA, 2000).

Os ergonomistas são profissionais que contribuem com o planejamento, a estrutura e as avaliações das tarefas, postos de trabalho, produtos, equipamentos, ambientes e sistemas, de maneira a torná-los compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas (IEA, 2000).

Análises e intervenções ergonômicas são usadas como métodos de prevenção primária, de maneira a reduzir estresses físicos nos postos de trabalho e prevenir disfunções e lesões (GRAYSON et al., 2005).

Um dos principais objetivos das pesquisas em ergonomia é proporcionar aos engenheiros e projetistas as descobertas relativas ao desempenho humano, de maneira a possibilitar a utilização desses conhecimentos em forma de guia de recomendações no desenvolvimento de *designs* que vão desde os eletrodomésticos aos aviões e espaçonaves (DEKKER; NYCE, 2004).

Segundo o IEA (2000), existem cinco aspectos que justificam o desenho ou o redesenho de produtos, ambientes/equipamentos e sistemas baseados nos princípios ergonômicos: aumento da segurança a melhora do conforto a melhora do manuseio a aumento da produtividade/rendimento e a melhora da estética/beleza/harmonia.

Pessoas nascem em todos os tamanhos e formas e com diferentes capacidades e limitações, no que diz respeito à força, velocidade, julgamento e habilidades. Todos esses fatores precisam ser considerados no projeto de cada objeto, equipamento ou função. Assim, para solucionar esses problemas, faz-se necessária a inclusão de conhecimentos das mais diversas áreas da saúde em conjunto com a engenharia, ou seja, de todas as faces que compõem a ergonomia (PHEASANT; HASLEGRAVE, 2006).

A ergonomia vale -se de diversas disciplinas em seu estudo do ser humano e seu ambiente de trabalho, incluindo a antropometria, a biomecânica, a engenharia mecânica, a engenharia industrial, o desenho industrial, a cinesiologia, a fisiologia e a psicologia. Em virtude dessa pluralidade

disciplinar, o profissional de ergonomia, normalmente, possui formação acadêmica em fisioterapia, educação física, arquitetura ou engenharia, bem como pós-formação mestrado ou doutorado em áreas relacionadas ao estudo das capacidades e do desempenho humano, como ciência da motricidade humana, engenharia de produção, medicina do trabalho ou, mais especificamente, nas áreas de ergonomia e biomecânica (IEA, 2000).

Antes de se iniciarem as considerações necessárias à elucidação da importância de se estabelecerem requisitos ergonômicos precisos e confiáveis, faz-se necessário um esclarecimento sobre o que vem a ser antropometria e qual a sua relação com os requisitos ergonômicos em aviação.

### 1.1 ANTROPOMETRIA

A antropometria é uma das ferramentas vitais na determinação e na seleção de pilotos militares. A necessidade de critérios antropométricos de seleção precisos e bem definidos justifica-se por assegurar a compatibilidade entre a tripulação e a aeronave, tanto durante os treinamentos quanto nas atividades operacionais, proporcionando conforto e segurança de maneira individual (SHARMA et al., 2007).

A antropometria foi definida pela NASA, em 1978, como a ciência de medida do tamanho corporal. Também pode ser definida como um ramo das ciências biológicas que tem como objetivo o estudo dos caracteres mensuráveis da morfologia humana, ou seja, o método antropométrico baseia-se na mensuração sistemática e na análise quantitativa das variações dimensionais do corpo humano (SANTOS; FUJÃO, 2003).

O tamanho físico de uma população pode ser determinado por meio da medição de comprimentos, profundidades e circunferências corporais, e **os resultados obtidos podem ser utilizados para a concepção de postos de trabalho, equipamentos e produtos que sirvam as dimensões da população usuária** (PHEASANT; HASLEGRAVE, 2006) grifo nosso.

**Já se pode inferir que o conhecimento das características e medidas morfológicas dos**



**tripulantes da Força Aérea seria de grande utilização tanto no desenvolvimento do projeto de novas aeronaves quanto em determinadas adaptações nas aeronaves já adquiridas, além da participação em projetos de desenvolvimento de novas aeronaves.**

As dimensões lineares do corpo humano são normalmente distribuídas, e a frequência de distribuição de uma dimensão particular revela uma curva simétrica em forma de sino conhecida como curva de Gauss. Apenas algumas pessoas são muito baixas ou muito altas, mas muitas se situam à volta do centro (a média) da distribuição (SANTOS; FUJÃO, 2003).

Por razões práticas, é necessário colocar limites na extensão de população para a qual o posto de trabalho vai ser concebido. Acomodar usuários dos extremos superiores e inferiores da curva significaria que os graus de variabilidade no posto de trabalho teriam de ser muitos grandes e iriam beneficiar poucos indivíduos. As limitações na concepção devem ser bastante limitadas. Por essa razão, é prática comum especificar *designs* onde caibam 90% dos utilizadores, sendo o valor mais baixo definido como o percentil 5 de uma dimensão, e o valor mais alto como o percentil 95 (PHEASANT; HASLEGRAVE, 2006).

Contudo quando consideramos a população mundial, esses 5% em cada ponta da curva podem significar um percentual bem maior para determinada população, como no caso dos holandeses (muito altos) ou dos paraguaios (muito baixos), isso sem contar a população feminina. Como forma de ilustrar, cabe citar o percentil 95 relativo à estatura de algumas populações adultas para o gênero masculino: Japão – 1,75 m; China – 1,77 m; Inglaterra – 1,86 m; Índia – 1,70 m; Brasil – 1,81 m; Estados Unidos – 1,88 m; Holanda – 1,92 m (PHEASANT; HASLEGRAVE, 2006).

## 2 ERGONOMIA EM AVIAÇÃO

A Segunda Guerra Mundial marcou o desenvolvimento de novas e complexas máquinas e armamentos, o que levou a novas demandas de cognição por parte dos operadores. O processo de tomada de decisão, atenção, consciência situacional

e coordenação motora dos operadores tornou-se a chave do sucesso ou fracasso das suas tarefas (PHEASANT; HASLEGRAVE, 2006).

Nesse período, observou-se que mesmo as aeronaves com mais recursos e pilotadas por pilotos bem treinados ainda se acidentavam. Em 1943, Alphonse Chapanis, um tenente do Exército americano, mostrou que o então chamado “erro do piloto ou erro humano” poderia ser consideravelmente reduzido quando painéis e controles com localização mais lógica e funcional substituíssem a disposição e a estrutura confusa das naves em uso (MARMARAS et al., 1999).

Nas décadas subsequentes à Guerra, a ergonomia continuou a se desenvolver e se diversificar. A Era Espacial criou novas necessidades no que diz respeito aos fatores humanos tais como, a extrema leveza dos materiais e as elevadas cargas “G” (MARMARAS et al., 1999).

Até quando o Homem poderia tolerar o ambiente espacial? Quais os efeitos que poderiam afetar a mente e o corpo humano? Tudo isso resultou na necessidade de aprofundamento dos estudos nos fatores humanos e a sua inclusão na produção de naves e aeronaves (PHEASANT HASLEGRAVE, 2006).

Nos itens a seguir pode-se verificar algumas aplicações da ergonomia em aviação, de uma correta descrição dos requisitos ergonômicos, bem como da correta maneira de se realizar o processo de identificação das necessidades ergonômicas.

### 2.1 ASSENTOS

Um dos principais fatores que afetam a qualidade de vida e o desempenho dos pilotos durante o voo são as cadeiras presentes na cabine. Um número razoável de reclamações de desconforto e de dor nas costas, durante os voos de média e longa duração, tem sido reportado pelos pilotos (LUSTED, 1994 apud GOOSSENS et al., 2000).

Goossens et al. (2000) comentam que diversos autores como Wachslar, Laerner (1960), Drury coury (1982), Snijers (1988) e Zhang et al. (1996) afirmam que os parâmetros que têm maior influência sobre o conforto dos assentos derivam, em sua maior parte, da antropometria da população



a que se destinam, bem como das considerações biomecânicas da atividade a ser desenvolvida.

Em sua pesquisa, Goossens et al. (2000) citam 8 parâmetros/requisitos previstos na norma *Aerospace Standard 290B (AS290B)*, definidos especificamente para os assentos de aeronaves, além de outros 6 de origem biomecânica, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões *Standard* utilizadas em assentos de pilotos

Descrição dos parâmetros	AS290B (cm)	Biomecânicos (cm)
Altura do assento	Mín 33	---
	Máx 51	---
Profundidade do assento	Mín 41	---
	Máx 45	---
Altura do encosto	Mín 65	---
Largura do encosto	Mín 43	---
Largura de apoio de braço	6,5	—
Comprimento do apoio de braço	Mín 28	—
Distância entre os apoios de braço	Mín 47	—
Inclinação do encosto	65-85	—
Profundidade efetiva do assento	---	Mín 41
	---	Máx 52
Largura efetiva do assento	---	Mín 43
Altura do suporte lombar	---	15-25
Altura do apoio de braço	---	20-32
Inclinação do assento	---	5-15
Inclinação do apoio de braço	---	Mín 00
	---	Máx 05

Fonte: GOOSSENS et al. Biomechanical analysis of the dimensions of pilot seats in civil aircraft. *Applied Ergonomics*, v. 31, p. 9-14, 2000.

Segundo Goossens et al. (2000), apesar de todos os parâmetros serem de suma importância para o conforto e o desempenho dos pilotos, três deles merecem ser destacados:

a. Ângulo de inclinação do encosto: essa característica permite a eliminação das forças de cisalhamento entre a pele e o assento (SNIJDERS, 1988), além de promover uma diminuição da pressão intradiscal na região lombar e cervical, desde que na angulação recomendada de 95° a 105° entre o assento e o encosto (GOOSSENS et al., 2000; DIJKE et al., 1993);

b. Apoio lombar: evita a retroversão de quadril e a retificação da curvatura lombar, promovendo, assim, uma diminuição da pressão intradiscal na região lombar (GOOSSENS et al., 2000); e

c. Apoio de braço: quando ajustado na altura correta, reduz consideravelmente a carga sobre a coluna (ZACHARKOW, 1988 apud GOOSSENS et al., 2000).

Um dos principais fatores relacionados com a etiologia de diversas disfunções e lesões da coluna vertebral é a postura adotada pelos pilotos durante o voo (FROOM, 1986; BOWDEN, 1987; BONGERS, 1990).

A postura errada muitas vezes está relacionada a um desenho equivocado do assento, uma vez que não fornecerá uma boa postura ao piloto durante o voo (SIMPSON, 2003). **O desenho do assento das cadeiras baseado em princípios ergonômicos e medidas antropométricas é a condição básica que deve ser atendida para assegurar ao piloto conforto e saúde, entretanto essa exigência raramente é atendida** (GOOSSENS; FRANSEN, 2000 apud SIMPSON, 2003 grifo nosso).

Um estudo realizado com diversos assentos utilizados pelos pilotos da aviação civil e militar identificou que nenhum deles atendia aos critérios básicos de ergonomia e de biomecânica. A análise revelou que, de maneira geral, os assentos deveriam ser mais confortáveis e espaçosos, apresentar um suporte lombar eficiente, ter os ajustes do apoio de braços melhorados, ajustes de posição vertical, lateral e horizontal, permitir a modificação dos ângulos do encosto, além de um ajuste do apoio de cabeça (MOHLER, 2000).

Em estudo realizado por Silva (2006 a, b, c) com assentos de algumas aeronaves operadas pela **Força Aérea Brasileira**, verificou-se que, de acordo com o quadro 1 e em conformidade com os achados de Mohler (2000), o desenho dos assentos não proporciona o conforto necessário à saúde e ao bem estar dos pilotos, podendo ser considerado como um **fator de diminuição da capacidade operacional e da segurança de voo** (grifo nosso).

De maneira a atender os requisitos de conforto, de ergonomia e de biomecânica, os assentos de aeronaves devem, dentre outras necessidades, ser estofados e revestidos com material que permita a transpiração (evitando-se o couro, a napa e o curvim), possuir regulagem de ajuste vertical, horizontal e de inclinação, possuir apoio lombar adequado e espaço para a acomodação da massa glútea (ambos necessários à manutenção da curvatura lombar na posição sentada), possuir



apoio para os braços, se possível ajustável (DA SILVA, 2006 a, b, c).

O quadro 1 demonstra que a grande maioria dos assentos pesquisados não possui apoio lombar e/ou espaço destinado à acomodação da massa glútea e que apenas as aeronaves de transporte, à exceção do C-95, possuem ajuste de inclinação do encosto. Todos são requisitos básicos para o conforto e o melhor desempenho dos pilotos durante o voo (DA SILVA, 2006 a, b, c).

Nesse estudo da análise ergonômica de assentos de aeronaves, o autor **verificou que a inclusão de espaço para acomodar a massa glútea, assim como a colocação de apoio lombar poderiam ser realizados com baixíssimo custo e nas próprias dependências dos respectivos Parques de Material Aeronáutico. O serviço poderia ser realizado nas seções de estofamento, com a simples substituição e modelagem da espuma do encosto, desde que**

**fossem feitas por um profissional da área e com as devidas orientações/considerações ergonômicas** (DA SILVA, 2006 a, b, c) grifo nosso.

### 2.1.1 ASSENTO EJETÁVEL

Edwards (1996), em seu estudo, destaca que os novos assentos ejetáveis (NACES *seats*), por apresentarem modificações ergonômicas como inclinação do encosto/cadeira e encostos com contornos bem definidos (suporte lombar) e área para acomodação da massa glútea, reduzem significativamente os riscos de fraturas e lesões.

De acordo com Nakamura (2007), a segunda maior causa de óbitos na ejeção se dá em virtude de uma postura inapropriada antes da ejeção. Tal postura ocorrer dar em função da atitude em que a aeronave se encontra no momento da ejeção ou em virtude das características antropométricas do piloto, que não permitem que ele se ajuste adequadamente à nacele.

Tipo de Aviação	Aeronaves	Análise dos Assentos
Asas Rotativas	H-34	Revestimento em algodão, encosto com <u>inclinação fixa</u> de 94°, apoio lombar modesto, sem espaço para a acomodação da massa glútea.
	H-1H	Revestimento em tela, encosto com <u>inclinação fixa</u> de 101°, bom apoio lombar, bom espaço para a acomodação da massa glútea, possui avanço dorsal que prejudica a postura do piloto.
	H-50	Revestimento em algodão, encosto com <u>inclinação fixa</u> de 80° apoio lombar muito alto, sem espaço para a acomodação da massa glútea.
Patrulha	P-95	Revestimento em curvim, encosto com <u>inclinação fixa</u> de 96°, sem apoio lombar, sem espaço para a acomodação da massa glútea.
Transporte	C-95	Revestimento em curvim, encosto com <u>inclinação fixa</u> de 96°, sem apoio lombar, sem espaço para a acomodação da massa glútea.
	C-97	Revestimento em algodão, encosto com <u>ajuste de inclinação</u> (posição inicial em 86°), apoio lombar modesto, sem espaço para a acomodação da massa glútea.
	C-99	Revestimento em algodão, encosto com <u>ajuste de inclinação</u> (posição inicial em 86°), <u>apoio lombar ajustável</u> , modesto espaço para a acomodação da massa glútea.
	C-130	Revestimento em algodão, encosto com <u>ajuste de inclinação</u> (posição inicial em 104°), sem apoio lombar, sem espaço para a acomodação da massa glútea.
	KC-137	Revestimento em algodão, encosto com <u>ajuste de inclinação</u> (posição inicial em 94°), apoio lombar modesto, sem espaço para a acomodação da massa glútea.

Quadro 1 – Análise básica dos assentos dos pilotos das aeronaves operadas pela FAB

Fonte: Da Silva, G.V. Padrão Específico de Desempenho e Treinamento Específico para Tripulantes das Aviações de Asas Rotativas, de Patrulha e de Transporte (2006a, b, c).



Como forma de minimizar a carga sobre a coluna lombar, bem como minimizar a força de cisalhamento entre o assento e a tuberosidade isquiática, o ângulo do encosto ou de todo conjunto deverá estar inclinado para trás entre 5° e 15° (GOOSSENS et al., 2000).

Corroborando esse estudo, Koek Van Dijke et al. (1993) em seu estudo de análise biomecânica e ergonômica das posições da coluna cervical durante o voo no F-16, verificaram que a inclinação de 15° do encosto da cadeira da referida aeronave resulta numa redução da carga (força de reação) sobre a segunda vértebra cervical (C2), como também sobre o músculo esplênio da cabeça, em função de um deslocamento posterior do centro de gravidade do conjunto cabeça/capacete. Tal fato, além de promover maior segurança nas ejeções e de reduzir a incidência de fraturas de vértebras cervicais em pilotos de F-16, também proporciona uma melhor capacidade de movimentação da cabeça (cheque das 6 horas) durante os combates aéreos.

## 2.2 PAINEL DE INSTRUMENTOS

A disposição dos instrumentos de voo tem que ser de tal maneira que possa proporcionar uma rápida identificação, por parte do piloto, das informações mais críticas e importantes. Assim, qualquer mudança nessa disposição e/ou na qualidade da informação que está sendo passada pelo instrumento deverá vir de uma avaliação ergonômica com total participação do usuário, ou seja, os pilotos (REE, 1989).

Na maioria das vezes, a necessidade de realização de uma avaliação ergonômica vem da própria solicitação dos pilotos. Contudo, na Era da Informação, essa necessidade pode vir do surgimento de uma nova tecnologia e da tendência de automação do trabalho humano (SINGER; DEKKER, 2001).

Foi assim que, no final dos anos 90, foram publicadas na Europa regras de tráfego aéreo onde constava a obrigatoriedade da utilização do Sistema de Gerenciamento de Voo, mais conhecido com *Flight Management System* ou FMS, para todas as aeronaves que usassem o espaço aéreo médio ou superior (SINGER; DEKKER, 2001).

Os supracitados autores, em pesquisa sobre o tema, comentam que a inclusão de novas tecnologias cria problemas ergonômicos específicos, uma vez que infere na mudança da prática (procedimentos já automatizados), criam a necessidade de novas habilidades e demandas de conhecimento, bem como produzem novas vulnerabilidades, formas de erros e/ou fatores de risco, os quais são mais difíceis de interpretar e avaliar. Principalmente em aeronaves que foram projetadas sem o FMS ou qualquer outro suporte de *hardware* (computadores, *displays*, etc.).

**Os FMS não foram projetados para serem inseridos em aeronaves já fabricadas**, eles devem ser parte integrante de um projeto de uma nave planejada para ser completamente integrada com os mais diversos equipamentos e *softwares*. Dessa forma, a integração pós-fabricação da aeronave muitas vezes limita a atuação do equipamento, além de produzir problemas de interação computador-homem exacerbados (SINGER; DEKKER, 2001) grifo nosso.

Toda essa descoberta faz -nos refletir sobre a modernização das aeronaves C-130 e sobre a possibilidade da realização de procedimento semelhante nas aeronaves KC-137. Como usuário da aeronave C-130, o presente autor teve a oportunidade de vivenciar alguns problemas ergonômicos proporcionados pela implantação do “*glass cockpit*”, como a visualização parcial da tela primária de voo ou *primary flight display* (PFD) do 1P ou a dificuldade em se achar os botões de direcionamento (Heading – HDG e Course) do diretor de voo/piloto automático, o que aumenta o risco de acidente no caso de operação em mau tempo, além de outros problemas advindos da integração do painel como um todo e da dificuldade de utilização plena das capacidades do FMS.

Um fato bastante importante e comentando na pesquisa de Singer e Dekker (2001) é o processo indicado para a definição dos requisitos ergonômicos e/ou certificação do painel e, principalmente, a necessidade e relevância de se utilizar um laboratório de pesquisa de fatores humanos em aviação para o desenvolvimento desse processo.



De maneira a melhor verificar e interpretar alguns itens como: risco de acidentes, interface ergonômica entre as unidades (hardwares) e/ou instrumentos, interface ergonômica entre os controles e comandos e interface entre os demais equipamentos da nacele, bem como a reprodutibilidade das informações e adaptabilidade em condições com diferentes luminosidades, faz-se necessária uma ampla utilização de usuários e de critérios pré-definidos. **Por ser um processo extremamente subjetivo, é primordial basear-se, principalmente, na experiência de uma grande quantidade de usuários cotidianos, em detrimento dos pilotos de prova** (SINGER; DEKKER, 2001) grifo nosso.

Segundo Singer e Dekker (2001), **os principais problemas identificados em sua pesquisa podem ser minimizados e/ou evitados por uma formulação dos requisitos ergonômicos melhor e mais detalhada, baseada numa ampla avaliação, a partir das observações coletadas numa amostra representativa da população de usuários, num ambiente operacional completo (condições adversas, panes, noturno, variedade de aeródromos, outros), sendo as certificações baseadas nos fatores humanos (requisitos ergonômicos) a garantia da segurança de voo futura** (grifo nosso).

### 2.3 CABINE DE VOO

Como principal ambiente vivenciado pelos pilotos, as cabines de voo devem ser projetadas obedecendo alguns padrões e critérios de conforto e praticidade, de maneira a proporcionar um melhor controle da aeronave, desempenho da tripulação e segurança às operações e procedimentos, nas mais diversas condições (MOHLER, 2000).

A Federal Aviation Administration (FAA), por meio da Federal Aviation Regulation Part 25 (FAR 25), define alguns requisitos ergonômicos mandatórios para o projeto de uma nacele, tais como: (1) o compartimento de cada piloto e seus respectivos equipamentos devem permitir que a tripulação realize os seus procedimentos de voo sem que o corra uma concentração excessiva e/ou fadiga; (2) todo sistema deve ser projetado ou

ajustado dentro de uma faixa de regulagens compatível com determinada população de pilotos, sem produzir sobrecargas danosas a eles e/ou à aeronave [...]; (3) cada controle no interior da nacele deve estar localizado de maneira a prover uma operação conveniente, bem como prevenir confusões e/ou acionamento inadvertido (SINGER; DEKKER, 2001).

Este último requisito diz respeito, principalmente, à forma e à disposição dos botões e interruptores, pois numa situação adversa e/ou de mau tempo, situações como ter de virar a cabeça para ver/procurar o botão ou ser traído pelo tato, na busca de determinado interruptor, podem levar à eminência de grande perigo. Um exemplo real dessa impropriedade ergonômica ocorreu na inclusão do FMS nas aeronaves C-130, pois além de os botões de direcionamento (Heading – HDG e Course) do diretor de voo/piloto automático ficarem em posição diferente (ligeiramente atrás) da encontrada nas aeronaves não-modernizadas (procedimentos já automatizados), o tamanho e a forma também atrapalham a sua localização, uma vez que são muito semelhantes aos botões do volume dos rádios VHF, ocasionando, na maioria das vezes, o acionamento do botão errado. Um agravante é que os pilotos voam os dois tipos de aeronaves/painel (modernizadas e não-modernizadas).

Este exemplo nos traduz, de forma bastante clara e real a necessidade da correta formulação de requisitos ergonômicos quando de determinada modificação e/ou fabricação de uma aeronave, bem como a **importância de se realizar um levantamento com uma ampla amostra dos verdadeiros usuários para a identificação das necessidades e requisitos ergonômicos**.

As medidas consideradas críticas para uma correta avaliação das dimensões da cabine de uma aeronave são tomadas na posição sentada: a estatura, a distância do glúteo ao joelho e a altura do joelho em relação ao piso (REE, 1989).

Uma das posições importantes para se aferir a adequação dos pilotos em relação à nacele é a chamada “posição projetada para os olhos” (PPO), em que o piloto consegue olhar para fora por sobre



o painel e ainda é capaz de visualizar as luzes de aviso na parte superior do painel e o indicador eletrônico de atitude (EHSI) logo acima da coluna de comando do manche. Essa posição também deve permitir ao piloto alcançar confortavelmente os pedais, o manche e as manetes de potência, sendo normalmente adotada nos pousos, decolagens e durante o “taxi” (REE, 1989).

Buckle et al. (1990) chamam de “ponto de referência dos olhos” (*eye reference-point* – ERP) e definem como o ponto que assegura aos pilotos uma visão adequada tanto dos instrumentos da cabine (visão interna) quanto da área a sua frente (visão externa). A partir desse ponto devem ser determinadas as medidas de distância/alcance e as variações da posição do assento, do movimento dos pedais e do manche e das distâncias para os controles e comandos específicos.

As aeronaves devem permitir um amplo ajuste dos pedais e assentos, de maneira a permitir que tanto os pilotos altos quanto os de baixa estatura possam operar com segurança, uma vez que em condições anormais ou de emergência, a operação dos pedais pode tornar-se crítica. No caso de falha de um dos motores, principalmente, durante a decolagem, uma grande força deverá ser aplicada no pedal o posto para que se possa controlar a aeronave. Nessa condição, o espaço insuficiente para as pernas (pilotos altos) ou a falta de um ajuste mais próximo da cadeira e/ou dos pedais (pilotos baixos) pode gerar um grave problema (REE, 1989).

Na situação descrita acima, podem-se vislumbrar duas situações: 1) se, principalmente, as mulheres estariam ergonomicamente e/ou antropometricamente habilitadas a voar aeronaves como o C-130 (ex. pane em dois motores do mesmo lado); e 2) se não seria necessário o estabelecimento de limites antropométricos na seleção de pilotos da FAB para a operação de determinadas aeronaves.

Outra situação seria a possibilidade de se realizar pequenas adaptações (nível parque) de furação dos ajustes das cadeiras e/ou dos pedais. Haja vista que os C-130 adquiridos da Itália possuem furação do ajuste das cadeiras diferente

das encontrada em aeronaves adquiridas nos EUA, permitindo uma maior aproximação do painel. Talvez por serem os pilotos italianos de estatura média inferior aos pilotos americanos. Falta saber se tal ajuste foi feito na Força Aérea italiana ou se foi um requisito ergonômico solicitado à Lockheed quando da compra das aeronaves.

Buckle et al. (1990) definem 8 medidas a serem consideradas na avaliação e/ou definição de requisitos ergonômicos da nacele em função da antropometria da população usuária. São eles: (1) altura dos olhos na posição sentada; (2) comprimento nádegas Joelho; (3) comprimento de alcance do braço (manche); (4) alcance acima da cabeça; (5) comprimento nádegas-calcanhar; (6) espaço útil da coxa – distância entre a borda inferior do fixador de mapas do manche e o assento; (7) profundidade abdominal – distância entre o encosto e o manche, quando este é todo puxado para trás; e (8) alcance lateral das mãos.

Esses autores sugerem a aplicação de requisitos e parâmetros antropométricos para a admissão e seleção de pilotos, enfatizando que tais critérios devam ser estabelecidos de forma científica, o que permitirá que um(a) candidato(a) ineligível seja excluído com uma aceitável margem de segurança (nível de confiança).

Esse estudo demonstrou que, em função da antropometria, uma operação efetiva da nacele/comandos de voo ultrapassa as capacidades de uma maior proporção da população feminina que da população masculina. O que levanta a questão do estabelecimento de critérios de seleção baseados na antropometria necessária para operar uma gama variada de aeronaves, principalmente no que diz respeito ao público feminino.

**Cabe ressaltar que a metodologia para estabelecer os critérios de seleção baseados na antropometria pode ser utilizada na avaliação da compra de aeronaves e/ou na definição de requisitos ergonômicos na construção/projeto de novas aeronaves, como forma de assegurar se uma operação efetiva e segura não será limitada por indivíduos com determinadas dimensões antropométricas (BUCKLE et al., 1990) grifo nosso.**



### 3 LESÕES E DISFUNÇÕES

Por ser um ambiente complexo, existem diversos mecanismos que podem justificar a relação entre o voo e algumas lesões mioarticulares. O esforço exigido pela posição sentada, a sobrecarga dos ligamentos e o aumento da pressão intradiscal, os músculos espinhais fatigados pelo estresse de uma postura rígida, cargas repetidas e/ou constantes durante o voo, principalmente sobre a coluna devido a uma postura inadequada, grandes acelerações (carga “G”) ou a vibração, podem causar degeneração e criar microfraturas no platô das vértebras, impedindo a nutrição dos discos ou criando cortes microscópicos nos anéis fibrosos (SANDOVER, 1986; TROUP, 1986, apud BOWDEN, 1987).

Com o passar dos anos, pode ocorrer o desenvolvimento de processos degenerativos por aplicações de forças irregulares, levando à incapacidade funcional temporária ou permanente (COBIN et al., 1980; FAIRWEATHER et al., 1993 apud ROSA; et al, 2002).

Além de afetar a qualidade de vida das tripulações, as dores e lesões afetam diretamente a segurança de voo, o desempenho dos pilotos, a disponibilidade para a atividade aérea (dispensas médicas) e a prontidão operacional, elevando a possibilidade de “erro humano” (HANSEN; WAGSTAFF, 2001; SHANAHAN et al., 1986; FROOM et al. 1986; BOWDEN, 1987; SHEARD et al., 1996; PELHAM et al., 2005; DA SILVA, 2005; DA SILVA, 2006).

Estudos têm sugerido uma maior prevalência de lombalgia em pilotos de helicóptero (PH) quando comparados à população em geral (FROOM et al., 1986). Segundo Simpson (2003), apesar de os pilotos de helicóptero serem os mais acometidos pela dor nas costas, seus estudos apresentaram uma prevalência de 52% em pilotos da aviação geral da Inglaterra e da Irlanda, demonstrando que **os problemas de coluna são as principais disfunções que afetam essa classe** (grifo nosso).

Corroborando esses achados, em pesquisa também realizada por Da Silva (2005), com 789 aviadores da **Força Aérea Brasileira**, divididos

em pilotos de helicóptero (PH), de instrução – AFA (PI), de patrulha (PP), de caça (PC) e de transporte (PT), encontrem-se índices de prevalência de dores nas costas bastante elevados: PH (66,7%), PI (58,3%), PP (46,6%), PC (44,7%) e PT (36%), que superamo, inclusive, algumas médias mundiais.

Outros dados importantes encontrados foram que **7,2% dos pilotos declararam já terem ficado indisponíveis para o voo por motivo de dor**, confirmando o seu potencial em produzir prejuízos econômicos, funcionais e operacionais, como também já tem sido observado no Canadá e na Noruega (HANSEN; WAGSTAFF, 2001) e 48,7% daqueles acometidos pela dor nas costas admitiram queda no seu rendimento/desempenho durante o voo, comprometendo, assim, a segurança (SILVA, 2005) grifo nosso.

#### 3.1 RISCOS E PREVENÇÃO

Segundo Grayson et al. (2005), diversos estudos têm associado os fatores de risco decorrentes de grandes esforços de força, movimentos repetitivos, má postura e vibrações ao desenvolvimento de lesões no ambiente trabalho. Verifica-se que são os mesmos riscos a que são submetidos os tripulantes de aeronaves militares.

Para melhor elucidar esses riscos, é importante citar o estudo de Dijke et al. (1993) que verificou uma elevada sobrecarga sobre as estruturas do pescoço de pilotos militares quando em missões de combate simulado em aeronaves F-16, momento no qual a carga “G” é bastante elevada (5 a 7G). Dentre as principais estruturas afetadas, os músculos trapézio e esternocleidomastóide merecem destaque, pois quase atingiram as suas máximas forças de atuação (momento no qual o músculo torna-se incapaz de sustentar e/ou mover determinado seguimento), já que a força gerada pelo conjunto cabeça-capacete passou de 63N para 383N (uma carga seis vezes maior). **Outra estrutura bastante sacrificada foram as vértebras cervicais, uma vez que sofreram um aumento da carga de 10 a 20 vezes quando comparada à posição neutra. Este aumento foi tão significativo que ultrapassou a força estimada de reação**



**da articulação, que é de 960N, atingindo o valor de 1989N, ou seja, mais de duas vezes a força necessária para causar fraturas nas vértebras.** Esses achados corroboram o estudo de Shall (1989), que observou fraturas nas vértebras cervicais em alguns dos pilotos de caça pesquisados.

Uma das possíveis explicações para que a taxa de fraturas de vértebras cervicais em pilotos de F-16 não seja elevada é a inclinação para trás de todo o conjunto do assento em 15°. Esta inclinação, juntamente com a colocação de contrapesos no capacete, são adaptações ergonômicas derivadas de estudos de biomecânica e são suficientes para deslocar o centro de gravidade do conjunto cabeça-capacete para uma posição de 2cm atrás da articulação atlanto-occipital. Essa mudança gera uma diminuição na carga sobre as vértebras de 0,9 vezes (DIJKE et al., 1993). **Esse é um exemplo real de uma adaptação ergonômica que possibilitou um aumento da capacidade humana em sustentar cargas extremas e a não-limitação da máquina por parte do homem.**

Em seu trabalho Grayson (2005) citam que um grande número de autores (ARNETZ & MEISEL, 2003; BERNACKI ; TSAI, 2000; FEURSTEIN et al.; 1993; HIGGFS & MACKINNON, 1995; MELHORM, 1996; NORRIS, 1993; PUNNET & WEGMAN, 2004; outros) têm defendido a importância das mudanças ergonômicas nas cabines de voo, de maneira a reduzir os riscos de lesões e os custos decorrentes do afastamento de tripulantes.

**A redução da demanda física em determinado posto de trabalho é um eficiente modo de prevenir o aparecimento de lesões,** além de poder melhorar a segurança, a eficiência e a produtividade (GRAYSON, 2005) grifo nosso. Simples modificações no posto/ambiente de trabalho podem permitir que as tarefas sejam realizadas com um gasto e um esforço menor por parte do trabalhador, o que tem levado a empresas e empregadores a se preocuparem com a adequação do ambiente ao trabalhador (GRAYSON, 2005).

No caso dos aeronavegantes, essas pequenas modificações correspondem, por exemplo, a uma

melhor disposição dos instrumentos, ergonomia das cadeiras, peso e contrapeso dos capacetes ou a melhora do conforto dos assentos, como uma simples substituição da espuma do encosto, permitindo a inclusão de um suporte lombar adequado às exigências da atividade aérea.

#### 4 REQUISITOS ERGONÔMICOS

São medidas, modelos e parâmetros necessários a uma melhor adequação do ambiente de trabalho, do equipamento e/ou objeto utilizado ou do gesto/tarefa realizado, de maneira a melhorar o desempenho, o conforto e a qualidade de vida, minimizar acidentes, desconfortos ou lesões, sendo estabelecidos mediante pesquisa experimental com o sujeito (usuário) desejado (PHEASANT; HASLEGRAVE, 2006).

As pesquisas realizadas para a definição de determinados requisitos, parâmetros ou *design*, seguem uma sequência específica para melhor atingir os níveis ideais de interação entre o homem e a máquina, objeto, equipamento ou ambiente (GRAYSON, 2005).

##### 4.1 IDENTIFICAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE REQUISITOS ERGONÔMICOS

Para se identificar e determinar quais são os requisitos ergonômicos para determinada atividade, é necessário compreender os estressores ou fatores de risco, como por exemplo, a adoção de posturas assimétricas, vibrações, movimentos repetitivos, necessidade de grande utilização da força ou de grande esforço para alcançar determinado objeto/equipamento ou interruptor. A partir de então, determinam-se os requisitos ergonômicos, os quais poderão ser as correções, no caso de estruturas já existentes, ou a estrutura (*design*) necessária para reduzir ou eliminar os estressores, no caso de novos projetos (GRAYSON, 2005).

Considerando que a identificação de requisitos ergonômicos é, em sua essência, uma pesquisa científica, deve-se adotar, como primeira medida, a seleção de um problema que apresente um impacto prático. Esse problema deve corroborar ou testar uma determinada teoria ou suprir determinada necessidade. A pesquisa deve levar



em consideração sempre o usuário, o qual deve selecionar uma ou mais variáveis dependentes de interesse da ergonomia tais como segurança, saúde ou desempenho. As variáveis independentes devem ser selecionadas em diferentes níveis. Normalmente testa-se algum fator já existente como um ambiente, equipamento ou *software* (BROOKHUIS et al., 2005).

Durante o processo de testagem e/ou definição de requisitos, **os usuários devem dar instruções minuciosas ao pesquisador**, descrevendo os métodos e/ou tarefas por eles realizadas no cotidiano. Os usuários permitem aos pesquisadores reconhecerem todas as possíveis combinações e interações que poderiam acontecer (BROOKHUIS et al., 2005). Partindo-se dessa relação usuário/pesquisador pode-se inferir que a situação perfeita seria aquela em que o pesquisador também é um usuário, ou seja, no caso da aviação **o ideal é que o ergonomista também fosse piloto**.

**Outra situação desejável numa pesquisa ergonômica é que, além de um número grande de usuários participando do estudo, também sejam conduzidas e comparadas múltiplas observações e testes de desempenho, de maneira a se maximizar os resultados e, conseqüentemente, as suas análises** (SINGER; DEKKER, 2001).

Uma vez completada a fase de experimentos, o redimensionamento ou a reestruturação do ambiente e/ou a redefinição do gesto/tarefa deverão ser realizados considerando os dados dos sujeitos estudados (PHEASANT; HASLEGRAVE, 2006).

Normalmente, o experimento se inicia com um estudo piloto, ou seja, com um número reduzido de usuários e, depois de acertado algum detalhe metodológico, parte-se para o estudo propriamente dito, já com um grande número de usuários (BROOKHUIS et al., 2005).

Para que o estudo tenha a validade esperada, é importante que o pesquisador, antecipadamente, certifique-se de que os sujeitos realmente entenderam como funciona o teste e/ou o equipamento, e que o teste pode ser finalizado dentro do tempo disponível. Todos os tempos e

demais medidas devem ser cuidadosamente verificados e registrados em local próprio. Uma vez que todos os dados foram compilados, deverão ser tabulados e analisados de maneira rígida e correta, utilizando-se os mais diversos testes estatísticos (BROOKHUIS et al., 2005).

As práticas ergonômicas são normalmente aplicadas de acordo com duas abordagens: a reativa e a proativa. A ergonomia reativa é aquela que se aplica quando alguma coisa necessita ser consertada e uma ação corretiva tem que ser tomada. Já a ergonomia proativa é o processo de busca de áreas que poderiam ser melhoradas e corrigidas antes de tornarem-se um grande problema, ou num projeto de desenvolvimento de um novo produto e/ou equipamento. Esses problemas podem ser corrigidos, principalmente, por meio da reestruturação do equipamento, da tarefa ou do ambiente (BROOKHUIS et al., 2005).

Uma das formas mais indicadas para se iniciar uma proposta de melhoria é a realização de uma avaliação ergonômica. O objetivo de uma avaliação ergonômica é identificar facilmente os estressores físicos e/ou psicológicos e soluções estruturais e/ou administrativas que sejam factíveis, de maneira a reduzir a demanda física ou psicológica relacionada ao trabalho (GRAYSON, 2005).

Para que se tenha uma precisa identificação e descrição dos fatores de risco associados à atividade estudada em determinado posto de trabalho, tarefa ou equipamento, o ergonomista deve realizar uma entrevista com as pessoas envolvidas (usuários). Algumas perguntas como “quais são as tarefas/procedimentos mais difíceis de serem realizados em função da disposição dos objetos, equipamentos e/ou instrumentos?” devem ser efetuadas, de maneira a permitir uma melhor identificação das deficiências, por parte do avaliador. Outra grande importância de se envolver os usuários no processo de avaliação de riscos e sugestões de modificação é que estudos confirmam que, quando os usuários são envolvidos nesse processo, as modificações têm maiores chances de serem corretas, além de uma maior aceitação delas (PHEASANT; HASLEGRAVE, 2006).



Após uma modificação ergonômica reativa, é importante que o ergonomista informe ao usuário explicações sobre as razões e os benefícios das alterações, bem como prover informação sobre a biomecânica dos movimentos e da técnica de realização de tarefas afetas ao cotidiano do trabalho (GRAYSON, 2005).

## 5 REQUISITOS ERGONÔMICOS EM AVIAÇÃO

Na prática, quando se projeta algum espaço para uma população mista de adultos usuários composta aleatoriamente por homens e mulheres, é muito comum utilizar a faixa que vai do percentil 5% feminino ao 95% masculino, ou seja, visa atender entre 90% e 95% da população pretendida (PHEASANT; HASLEGRAVE, 2006).

Em relação às dimensões de determinada nacele, o ideal é que as aeronaves sejam projetadas para acomodar uma grande faixa de pessoas e com grande variação de medidas antropométricas. Assim, quando não é possível realizar adaptações ergonômicas nas aeronaves, devem-se estabelecer limites antropométricos para a seleção de pilotos (REE, 1989).

Para ilustrar esse raciocínio, cabe citar o estudo de Buckle et al. (1990), que ao confrontar as medidas antropométricas da população britânica com as dimensões das cabines de aeronaves como os Boeing 737-200, 747 e 757, assim como o Lockheed TriStar, **encontraram que 73% da mulheres e 13% dos homens entre 19 e 65 anos estariam fora da curva de usuários/tripulantes**, ou seja, não seriam capazes de pilotar tais aviões com segurança e/ou dentro do desempenho esperado (grifo nosso).

Ainda dentro desse escopo, encontra-se também o estudo de Ree (1989) com 568 pilotos holandeses da KLM, em que 6% estão acima do percentil 95 (1,90m) para as dimensões das naceles das aeronaves pesquisadas. Neste estudo ficou caracterizado que o Boeing 747-200/300 e o Douglas DC-9 são desconfortáveis para pilotos acima de 1,96m e que no Air Bus 310 não há espaço necessário para acomodar as pernas de pilotos acima de 2,00m de altura, o que vem a prejudicar o desempenho desses pilotos e a segurança de voo.

Conclui-se que as dimensões das naceles dessas aeronaves atendem a menos de 90% da população de pilotos da KLM.

**Para que se possa dimensionar e/ou definir requisitos ergonômicos para as aeronaves, é necessário que se saibam as dimensões da população usuária, tanto de forma estática quanto dinâmica** (PHEASANT; HASLEGRAVE, 2006) grifo nosso. As dimensões estáticas são medidas feitas em posições corporais fixas entre pontos anatômicos do esqueleto. Muitas delas estão relacionadas com o design específico de certas aplicações, como por exemplo, capacetes, e com o design de espaços de trabalho, em que os dados são utilizados para estabelecer as dimensões mínimas (GRAYSON, 2005).

Por exemplo, o limite prático para o alcance do braço não é o comprimento do ombro até a ponta do dedo porque os operadores empregarão outros movimentos articulares para ir além deste comprimento. Assim os dados antropométricos dinâmicos são também necessários para estabelecer outros fatores como, por exemplo, o alcance.

Essas dimensões são tiradas quando o corpo está efetuando alguma atividade física, como por exemplo, o movimento para acionar um controle/comando qualquer. Neste tipo de dimensões o alcance tem lugar de destaque, uma vez que a zona de alcance conveniente pode ser definida como o espaço no qual o objeto pode ser convenientemente atingido, isto é sem um esforço excessivo (SANTOS; FUJÃO, 2003).

Um bom exemplo da utilização dessas medidas é a utilização por alguns países de parâmetros antropométricos como critério de seleção de pilotos, uma vez que, se não estiverem bem “ajustados” à máquina, sofrem um grande risco de lesão e até de morte.

Segundo Sharma et al. (2007), as medidas antropométricas estáticas referentes a **estatura, peso, altura sentado (*sitting height*), comprimento da perna (*leg length*) e comprimento da coxa (*khigh length*)** apresentaram uma grande relação com as dimensões das naceles nas aeronaves estudadas. O autor destaca a **altura sentada** como a principal medida



na seleção de pilotos de caça, uma vez que é fator determinante na (1) área de movimentação da cabeça, (2) no ponto de referência dos olhos - **design eye point** (DEP) e (3) na faixa de ajuste de altura do assento para uma adequada visão dos ambientes internos e externos (grifo nosso).

Uma das principais utilizações das medidas antropométricas em aviação é apresentar as limitações de uso em função das dimensões da nacele e do sistema de ejeção (SHARMA et al., 2007).

No estudo de Sharma et al. (2007) realizado com 115 candidatos a pilotos de caça, 27,82% foram considerados inaptos a voar a aeronave de treinamento, principalmente em função da limitação imposta pela **altura sentado**, conforme descrita na tabela 2. Tal rigor faz-se necessário em função das dimensões da nacele e, principalmente, em virtude das recomendações de segurança em caso de **ejeção** (SHARMA et al. 2007) grifo nosso.

Segundo Shama et al. (2007), a segunda medida mais importante na seleção de pilotos de caça é o **comprimento da coxa**, que a Força Aérea da Índia estabelece 64 cm como o comprimento máximo. Esse parâmetro assume grande relevância, principalmente por dois fatores: pela necessidade de se obter espaço suficiente para a operação dos pedais e pela possibilidade de chocar os joelhos contra o painel durante uma **ejeção**.

Os limites/requisitos antropométricos adotados pela Força Aérea Indiana na seleção de seus pilotos de caça (tabela 2), visam proporcionar-lhes maior segurança e conforto, além de uma melhor resposta no desempenho do conjunto

Tabela 2 – Limites antropométricos para a seleção de pilotos de caça da Força Aérea da Índia.

Variáveis	Limites
Estatuta (cm)	≥ 162,5
Altura sentado (cm)	81,5 - 96,0
Comprimento da perna (cm)	99,0 - 120,0
Comprimento da coxa (cm)	≤ 64,0
Peso (kg)	De acordo com o nomograma de peso e altura, por faixa etária

Fonte: SHARMA, S., RAJU, K.S., AGARWAL, A. Static anthropometry: current practice to determine aircrew compatibility. Indigenous Journal of Aerospace Medicine, v. 51, n. 2, p. 40-47, 2007.

Homem/Máquina. Cabe ressaltar que os limites inabilitam o piloto a voar determinada aeronave, assim, como exemplo, pode-se citar que os pilotos que, no exame de seleção, apresentarem a medida de comprimento da coxa (*Thigh length*) superior a 64 cm estarão incapacitados de iniciar o curso de caça.

Como forma de comparação entre parâmetros, verifica-se que no estudo de Visuri e Aho (1992), no processo de seleção de pilotos de caça, a Força Aérea da Finlândia adota 65 cm para o **comprimento máximo da coxa (*thigh length*)** e o valor máximo de 98 cm para o **comprimento da coluna (*spine length*)**. Tais diferenças de parâmetros devem-se às diferenças de dimensões das naceles de aeronaves distintas ou de algum equipamento (kit de sobrevivência, traje específico, capacete, NVG, entre outros) que altere as limitações antropométricas estáticas.

Tabela 3 – Limites antropométricos para a seleção de pilotos de caça da Marinha dos EUA.

Variáveis	Limites
Altura sentado (cm)	81,3 - 104,1
Comprimento da perna (cm)	91,4 - 127,0
Estatuta masculina - Navy (cm)	162,6 - 198,1
Estatuta masculina - Marine (cm)	167,6 - 198,1

Fonte: MORONEY, W.F., KENNEDY, R.S., GIFFORD, E.C., PROVOST, J.R. Selected anthropometric dimensions of Naval Aviation Personnel. Navy Bureau of Medicine and Surgery, Project Report No BuMed MF12.524.002.5012DX5X, 1971.

De maneira a melhor exemplificar a influência do tipo de aeronave sobre os limites antropométricos de seleção de pilotos de caça, bem como possibilitar a comparação entre as diferenças dos parâmetros praticados entre as Forças Aéreas da Finlândia e da Índia, a tabela 3, que mostra os limites utilizados pela Marinha Americana (MORONEY et al., 1971), traz, ainda, parâmetros distintos dos citados anteriormente.

Em virtude do aumento do número de mulheres pilotos, as quais apresentam peso corporal e dimensões menores do que dos homens, bem como da necessidade potencial de ajuste ou redesenho dos assentos ejetáveis, o estudo de Edwards (1996) teve como objetivo confirmar que as medidas antropométricas são significantes fatores de risco para a ocorrência de lesões na ejeção. As variáveis



antropométricas pesquisadas foram **peso, altura, IMC, altura do tronco (*trunk height*) e altura sentado (*sitting height*)** grifo nosso.

Nesse estudo, onde foram avaliadas 199 ejeções, ficou caracterizado que pilotos com o peso acima de 88 kg apresentaram grande risco de lesões severas (definidas como qualquer lesão que resulte em fatalidade, invalidez parcial ou completa) durante a ejeção. Da mesma forma, aqueles com a medida de altura do tronco maior que 66 cm ou estatura superior a 1,86 m apresentaram uma significativa prevalência de fraturas vertebrais (EDWARDS, 1996).

Já no estudo de Patterson (1989), que analisou 754 ejeções de 1977 a 1986, indivíduos que apresentam peso abaixo da média (78 kg na amostra estudada) ou uma estrutura corporal alta e magra (baixo IMC) apresentaram um maior risco de sofrer lesões na coluna induzidas pela aceleração.

Dessa maneira, percebe-se que os achados apontam para uma **faixa de peso ideal acima de 78 Kg e abaixo de 88 Kg**, tomando como base as lesões provocadas pela ejeção, chegando à incapacidade total e ao óbito, para pilotos fora da referida faixa de peso. Como também para uma preocupação com as aviadoras, uma vez que, em média, possuem peso abaixo de 78 Kg.

De acordo com o estudo de Buckle et al. (1990), realizado com pilotos de linha aérea, as medidas de dimensão da nacele são tiradas a partir do **eye reference point** (ERP) relativo à cadeira do comandante da aeronave. Dentre algumas medidas utilizadas para a seleção de pilotos destacam-se a **altura dos olhos na posição sentada (*seated eye height*)**, o **comprimento da coxa (*buttock-knee length*)** e o **comprimento da perna (*buttock-heel length*)**, conforme tabela 4.

A partir dos dados demonstrados na tabela 4, pode-se perceber que os parâmetros para pilotos de linha aérea são um pouco maiores quando comparados aos exigidos para os pilotos de caça, em função de não existir a necessidade de uma nacele de tamanho reduzido, bem como os riscos de lesão associados à ejeção.

Segundo Ree (1989), a utilização isolada da estatura para a definição / avaliação das dimensões

Tabela 4 – Limites antropométricos para a seleção de pilotos em relação as aeronaves Boeing 737-200, 747 e 757 \*Percentil 5% e 95% para cada gênero.

Variáveis	Limites
Altura dos olhos sentado (cm)	71,8 - 84,5
Comprimento da coxa (cm)	< 67,0
Comprimento mínimo da perna (cm)	101,0
Estatura masculina (cm)	*165,9 - 191,1
Estatura feminina (cm)	*164,6 - 189,3

Fonte: BUCKLE, W.P., DAVID, G.C., KIMBER, A.C. Flight deck design and pilot selection: anthropometric considerations. Aviation, Space and Environmental Medicine, v.61, n.12, p.1079-1084, 1990.

de uma nacele não é uma técnica adequada, uma vez que existem outras variáveis antropométricas tão ou mais importantes. Para o autor, as medidas consideradas críticas são **altura sentada (*setting height*)**, **comprimento da coxa (*buttock-knee length*)** e **altura do joelho (*knee height*)**.

Essa consideração é bastante válida, uma vez que a estatura, isoladamente, não representa uma proporcionalidade humana absoluta, além de que os critérios críticos já percebidos na literatura são o comprimento da coxa e a altura na posição sentada, por motivos de segurança.

## 5.1 ERGONOMIA DEFICIENTE X POSSÍVEIS PROBLEMAS

Uma ergonomia deficiente pode limitar o desempenho do homem e, por conseqüência, a máquina terá as suas possibilidades de emprego reduzidas. Dessa forma, é de grande importância dar atenção a essas deficiências e procurar compensá-las ou minimizá-las, uma vez que afetam também a segurança de voo (REE, 1989), principalmente quando se trata de aeronaves de combate. Essas deficiências pode ser mais bem compreendidas a partir do quadro 2.

## 5.2 ALGUMAS REALIDADES VIVENCIADAS

A partir de um processo de observação, o presente autor verificou que atualmente a falta de pessoal especializado na Força Aérea para a definição correta dos requisitos ergonômicos aplicados à aviação já tem refletido em algumas deficiências de ajuste/alcance e manuseio/ operação de comandos e equipamentos, bem como de compatibilidade e adequabilidade de



ERGONOMIA DEFICIENTE	POSSÍVEIS PROBLEMAS
Espaço para as pernas deficiente/insuficiente	Pernas batendo no painel de instrumentos, impossibilidade de alcançar a posição projetada para os olhos (PPO), pernas (joelhos) excessivamente elevadas, fadiga precoce, sobrecarga da coluna, dificuldade de mudar de posição durante o voo, dificuldade de operar os pedais.
Disposição dos comandos e/ou instrumentos deficiente	Posturas assimétricas, limitação antropométrica, possibilidade de desorientação, dificuldade de alcance, desconfortos e lesões na coluna, impossibilidade de alcançar o PPO, impossibilidade de enxergar algum instrumento, sobrecarga articular (torções e giros desnecessários) e possibilidade de acionamentos inadvertidos.
Cadeira com ergonomia deficiente	Fadiga precoce, desconfortos e lesões na coluna (sobrecarga), impossibilidade de alcançar o PPO, diminuição da capacidade de concentração e decisão, desenvolvimento de dores no corpo.
Amplitude do ajuste de cadeira e/ou pedais deficiente	Dificuldade de entrar na nacele, possibilidade de choques e lesões, impossibilidade de aplicar força máxima num único pedal (pane de motor), dificuldade de alcance.
Capacetes e/ou acessórios pesados/ falta de contrapesos	Sobrecarga na coluna cervical, possibilidade de fratura de vértebras durante acelerações, fadiga precoce, possibilidade de lesões articulares e musculares.

Quadro 2 – Problemas decorrentes de uma ergonomia deficiente

Fonte: REE, J.J.D. The use of graphs in the ergonomic evaluation of tall pilots' sitting posture. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, v. 60, p. 1011-15, 1989.

algumas aeronaves operadas pela FAB às tripulações brasileiras. Essas realidades podem ser melhor elucidadas nos exemplos apresentados a seguir:

1. Ejeção do Tucano: o fato de termos hoje uma limitação de 1,87m como estatura máxima para a admissão na Academia da Força Aérea (AFA) para o quadro de aviadores, prende-se a uma deficiência de projeto no momento da definição dos requisitos ergonômicos, em relação à posição/altura do painel, dimensões da nacele/canopi e da cadeira de ejeção. Pois, uma vez que a aeronave tenha sido projetada e construída no Brasil, deveria atender, na opinião do autor, uma faixa maior de nossa população;

2. Modernização do C-130: baseado em experiências pessoais deste autor, pode-se identificar/selecionar 5 deficiências, a serem descritas a seguir;

a) o manche não permite a visualização completa do PFD, na posição do piloto em comando;

b) o botão do HDG no EFIS *Control Panel* fica muito atrás (aproximadamente na relativa de 100° da lateral direita do piloto – Cmt/1P), necessitando de um grande giro de cabeça/tronco para visualizá-lo, bem como de uma extensão

com rotação externa de ombro excessiva para ser alcançado (situação de risco no caso de mal tempo, além do risco de lesão);

c) o botão do HDG no EFIS *Control Panel*, além de ficar muito próximo (menos de 2cm) do botão de volume do VHF, ainda possui tamanho e formato semelhante. O que, na maioria das vezes, ao tentar acioná-lo e piloto executivo um acionamento inadvertido do botão de volume (também uma situação de risco no caso de mau tempo);

d) as manetes de controle das hélices atrapalham a utilização do teclado do CDU do copiloto, principalmente as teclas numéricas, o que dificulta e torna mais lenta a troca das frequências dos auxílios à navegação ou a modificação de procedimentos de subida e de aproximação; e

e) os instrumentos reservas (analógicos) em cima do painel atrapalham a visão externa, principalmente quando se está a realizando a curva base pelo lado direito.

3. Ergonomia dos Assentos: como se pode ver no quadro 1, os assentos das aeronaves operadas pela FAB e que foram analisadas estão bem aquém do que seria necessário para proporcionar



aos pilotos o conforto necessário a um bom desempenho. Dentre esses, cabe destacar o P-95B, aeronave do início da década de 90 e produzida pela EMBRAER, que, aparentemente, não levou em conta sequer a antropometria dos pilotos brasileiros ou o fato de a aeronave permanecer sete horas voando, deixando de cumprir requisitos básicos como a presença de apoio lombar e ajuste de inclinação do encosto (DA SILVA, 2006);

4. Nacele do CASA 295 (Amazonas): em recente pesquisa realizada por este autor, verificou-se uma dificuldade de entrar e sair da nacele (área de circulação) para pilotos acima de 1,75m. Talvez este fato pudesse ter sido evitado e/ou minimizado se soubéssemos o perfil antropométrico de nossos tripulantes e os requisitos ergonômicos para a aquisição fossem feitos levando em consideração esse perfil.

Esses são apenas alguns exemplos das limitações que o desconhecimento da ergonomia pode trazer. Espera-se que, uma vez esclarecida e destacada a sua importância e o seu valor, possa-se aprofundar estudos nessa área e aumentar o desempenho das equipagens de combate da Força Aérea Brasileira, a partir da sua correta utilização.

## 6 DISCUSSÃO

A utilidade dos conceitos e princípios da ergonomia e da biomecânica, bem como a posse do seu conhecimento, é de suma importância para qualquer Força Aérea, sendo um fator de surpresa estratégica, por permitir uma maior “autonomia” e desempenho das equipagens, podendo, também, significar o equivalente a um ponto de ruptura tecnológica, uma vez que pode vir a ser o diferencial num conflito.

A não observância das dimensões das aeronaves para a sua operação segura, conforme orientação do fabricante e não adequação das equipagens a essas dimensões podem estar colocando a vida de alguns tripulantes em risco, de acordo com as pesquisas de Ree (1989), Buckle et al. (1990), Masmaras et al. (1999) e Sharma (2007).

Assim, o domínio da técnica e dos conceitos necessários ao desenvolvimento ou à adaptação dos

ambientes de aviação em prol de uma melhor compatibilização das tripulações aos meios aéreos disponíveis significa ter equipagens com maior rendimento e com capacidade ampliada de cumprir diversas sortidas, bem como uma maior probabilidade de êxito por missão, bem como a diminuição do risco de morte, conforme citado por Sharma (2007).

Da mesma forma, tanto nos estudos de Dekker e Nice (2004), como nos de Phesant e Haslegrave (2006) pode-se observar a importância de projetistas e engenheiros utilizarem, em projetos de aviação, os dados, conceitos e pesquisas dos ergonomistas, como por exemplo, a altura dos olhos na posição sentada ou o alcance funcional, de maneira a poderem acomodar uma ampla variedade de usuários, dentro de determinada população.

Verificou-se, ainda, em pesquisas realizadas por Ree (1989), Buckle et al. (1990) e Phesant e Haslegrave (2006), que a média inferior das dimensões antropométricas do gênero feminino, comparada à masculina, provoca uma incompatibilidade ergonômica em aproximadamente 60% da população feminina de aviadores, com graves prejuízos à segurança de voo no caso de descumprimento dos requisitos impostos pelo fabricante. Isso desperta uma preocupação com a segurança das aviadoras que ora ingressam nos esquadrões operacionais da Força Aérea, bem como a necessidade de estudos aprofundados em relação aos parâmetros antropométricos para a seleção das diversas aviações/aeronaves existentes na FAB.

Para poder desfrutar dos benefícios da ergonomia, deve-se inicialmente **investir na pesquisa científica** que aborde temas como: a definição do perfil antropométrico dos pilotos da FAB, a definição do perfil antropométrico por tipo de aviação e sua análise comparativa, a diferença das dimensões corporais e de força entre os gêneros, a identificação de fatores de risco e/ou de diminuição de desempenho por aeronave, os cálculos do espaço de circulação da cabine ou das zonas de conveniência de alcance, a interação homem-computador, a relação entre a visão e a postura da cabeça e do pescoço, a capacitação dos



Parques de Material Aeronáutico na adequação ergonômica das aeronaves já adquiridas e a **elaboração criteriosa de requisitos ergonômicos por ocasião da aquisição de aeronaves e, principalmente, quando no desenvolvimento de projetos de aeronaves a serem fabricadas no Brasil, de maneira a se atender uma maior faixa da população de pilotos da FAB e de se proporcionar uma maior interação e eficiência do binômio homem-máquina.**

Tudo isso só poderá ser realizado e alcançado se houver pessoas capacitadas a conduzirem essas pesquisas e a formar novos profissionais, de maneira a possibilitar continuidade ao processo, bem como uniformidade aos procedimentos. Para tanto, após a obtenção de massa crítica capaz e em consonância com as idéias de Pheasant e Haslegrave (2006), deve-se considerar, num segundo momento, a criação de um centro de estudos em fatores humanos em aviação para atender as necessidades do EMAER, CTA e/ou COMGAR.

Pela origem dos estudos levantados, verifica-se que **poucos países** (EUA, Japão, Índia, Holanda, Inglaterra, Suécia, Israel) **dominam os conceitos e as aplicações da ergonomia em aviação**, aplicando-os na sua produção/aquisição, na seleção de suas equipagens e/ou na adequação dos ambientes de voo às características antropométricas de suas tripulações, o que faz de suas Forças Aéreas destaque dentre tantas outras no mundo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que ocorra uma operação segura e com máximo desempenho das aeronaves, os pilotos devem ser capazes de operar os controles efetivamente e, ao mesmo tempo, enxergar com clareza todo o painel de instrumentos, bem como o ambiente externo.

O desconhecimento do perfil antropométrico das equipagens de combate da FAB pode estar afetando uma melhor utilização do fator humano e dos demais sistemas relacionados à aviação, bem como a definição dos requisitos ergonômicos, muitas vezes desconsiderados (talvez por

desconhecimento), no momento da compra ou no desenvolvimento de aeronaves, ou simplesmente estão sendo consideradas as médias populacionais de outros países.

Da mesma forma, especial atenção deve ser dada ao público feminino na progressão operacional de todas as aviações, em função da existência de diferentes parâmetros antropométricos para cada tipo de aeronave ou fabricante.

As metodologias de utilização de uma grande população de usuários, em detrimento dos pilotos de testes na avaliação ergonômica das aeronaves, como também a de estabelecimento de critérios antropométricos para a seleção de pilotos, têm se mostrado bastante eficientes e úteis na avaliação, na definição de requisitos ergonômicos e no projeto de novas aeronaves.

Em relação aos parâmetros antropométricos para a operação de aeronaves equipados com assento ejetável, cinco medidas são reconhecidas como críticas: altura sentado - *sitting height*, comprimento da coxa - *thigh or buttock-knee length*, comprimento da perna - *leg or buttock-heel length*, peso e estatura. Outros parâmetros como: altura dos olhos na posição sentada - *seated eye height* e altura do joelho - *knee height*, sempre que possível, também devem ser observados.

Para que se possa dimensionar e/ou definir requisitos ergonômicos para as aeronaves, é necessário que se saibam as dimensões da população usuária, tanto de forma estática quanto dinâmica.

Surgem, então, algumas perguntas: Quais as características/dimensões antropométricas da população de pilotos da FAB? Será que a totalidade de pilotos de caça da FAB tem as medidas antropométricas compatíveis com as exigências dos assentos ejetáveis de suas respectivas aeronaves? Existem diferenças antropométricas entre os pilotos dos diversos tipos de aviação? Quais são as diferenças de dimensão corporal e força entre os gêneros? Essas diferenças podem afetar o desempenho e a segurança na atividade aérea? Quais seriam as medidas ou requisitos antropométricos que os pilotos do sexo feminino da FAB devem apresentar para operar com efetividade e segurança



todas as aeronaves da frota, mesmo em situações adversas? As aeronaves que vem sendo adquiridas, nos últimos anos, bem como os demais projetos “X” das próximas aeronaves a serem adquiridas contam com uma definição criteriosa dos requisitos ergonômicos? e por último, Os projetos desenvolvidos no Brasil (exemplo.: KC-390) têm como seguinte a sua preocupação em atender uma grande parcela da população de pilotos da FAB a partir de dados antropométricos reais da população brasileira?

Para finalizar, é importante sempre lembrar que, na ponta de cada sistema, quem realmente faz a diferença é o fator humano e, para que ele tenha o seu melhor rendimento, é necessário que trabalhe num ambiente que permita a sua maior eficiência, por meio da utilização racional (menor esforço, baixo risco de lesão e melhor aproveitamento dos gestos) dos espaços, estruturas e ambientes.

Tudo isso pode ser atingido por meio da utilização sistemática e consciente da ergonomia, que, como foi visto, é a disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e os outros elementos ou fatores de um sistema.

## REFERÊNCIAS

BONGERS, P. M. et al. Back pain and exposure to whole body vibration in helicopter pilots. *Ergonomics*, v. 33, p. 1007-1026, 1990.

BOWDEN, T. J. Back pain in helicopter aircrew: a literature review. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 58, p. 461-7, 1987.

BROOKHUIS, K. et al. *Handbook of human factors and ergonomics models*. Florida: CRC Press, 2005.

BUCKLE, P. W.; DAVID, G. C.; KIMBER, A. Flight deck design and pilot selection: anthropometric consideration. *Aviation Space and Environmental Medicine*, v. 61, p. 1079-84, 1990.

DA ROSA, G. M. M.; GABAN, G. A.; PINTO, L. D. P. Adaptações morfofuncionais do músculo estriado esquelético relacionadas à postura e o exercício físico. *Revista Fisioterapia Brasil*. v. 3, n. 2, p. 100-107, 2002.

DA SILVA, G. V. A influência de problemas na coluna vertebral sobre o desempenho operacional e a segurança de voo na FAB. *Revista da Universidade da Força Aérea*, v. 18, n. 21, p. 6-12, 2006a.

\_\_\_\_\_. Padrão específico de desempenho e treinamento específico para tripulantes da aviação de asas rotativas. In: SIMPÓSIO TÉCNICO DA REUNIÃO ANUAL DA AVIAÇÃO DE ASAS ROTATIVAS, 2006, Campo Grande, MS. *Relatório Final...* Rio de Janeiro: II FAE, 2006b.

\_\_\_\_\_. Padrão específico de desempenho e treinamento específico para tripulantes da aviação de patrulha. In: SIMPÓSIO TÉCNICO DA REUNIÃO ANUAL DA AVIAÇÃO DE PATRULHA, 2006, Belém, PA. *Relatório Final...* Rio de Janeiro: II FAE, 2006c.

\_\_\_\_\_. Padrão específico de desempenho e treinamento específico para tripulantes da aviação de transporte. In: SIMPÓSIO TÉCNICO DA REUNIÃO ANUAL DA AVIAÇÃO DE TRANSPORTE, 2006, Natal, RN. *Relatório Final...* Rio de Janeiro: V FAE, 2006d.

\_\_\_\_\_. *Prevalência de lombalgia em pilotos da Força Aérea Brasileira*. 2005. 115f. Monografia (Curso de Comando e Estado-Maior)-Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2005.

DEKKER, S. W. A.; NYCE, J. M. How can ergonomics influence design?: moving from research findings to future systems. *Ergonomics*, v. 47, n. 15, p. 1624-1639, 2004.

DIJKE, G. A. H. V. et al. Analysis of biomechanical and ergonomic aspects of the cervical spine in F-16 flight situations. *Journal of Biomechanics*, v. 26, n. 9, p. 1017-1025, 1993.

EDWARDS, M. Anthropometric measurements and ejection injuries. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, v. 67, n. 12, p. 1144-1147, 1996.

FROOM, P. et al. Low back pain pilots. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, v. 57, p. 694-695, 1986.

GOOSSENS, R. H. M.; SNIJDERS, C. J.; FRANSEN, T. Biomechanical analysis of the dimensions of pilot seats in civil aircraft. *Applied Ergonomics*, v. 31, p. 9-14, 2000.

GRAYSON, D. et al. Ergonomic evaluation: part of a treatment protocol for musculoskeletal injuries. *American Association of Occupational Health Nurses*, v. 53, n. 10, p. 450-59, 2005.

HANSEN, O. B.; WAGSTAFF, A. S. Low back pain in norwegian helicopter aircrew. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, v. 72, p. 161-164, 2001.



- INTERNATIONAL ERGONOMIC ASSOCIATION. 2000. Disponível em: <<http://www.iea.cc>>. Acesso em: 18 ago. 2008.
- LOPEZ-LOPEZ, J. A. et al. Determination of lumbar muscular activity in helicopter pilots: a new approach. **Aviation, Space and Environmental Medicine**, v. 72, p. 38-43, 2001.
- MARMARAS, N.; POULAKAKIS, G.; PAPAKOSTOPOULOS, V. Ergonomic design in ancient Greece. **Applied Ergonomics**, v. 30, n. 4, p. 361-368, 1999.
- MOHLER, S. R. Lower back pain is a common complaint, but precautionary practices help pilots cope. **Human Factors & Aviation Medicine**, v. 47, p. 1-6, 2000.
- MORONEY, W. F. et al. Selected anthropometric dimensions of Naval Aviation Personnel. **Navy Bureau of Medicine and Surgery**, 1971.
- NAKAMURA, A. Ejection experience 1956-2004 in Japan: um estudo epidemiológico. **Aviation, Space and Environmental Medicine**, v. 78, n. 1, p. 54-58, 2007.
- PATTERSON, F. R. Analysis of anthropometric risk factors related to back injury induced by ejection seat acceleration. **Aviation, Space and Environmental Medicine**, v. 60, n. 5, p. 488, 1989.
- PELHAM, T. W. et al. The etiology of low back pain in military helicopter aviators: prevention and treatment. **Work**, v. 24, p. 101-110, 2005.
- PHEASANT, S.; HASLEGRAVE, C. M. **Bodyspace: anthropometry, ergonomics, and the design of work**. 3 ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006.
- REE, J. J. D. The use of graphs in the ergonomic evaluation of tall pilots' sitting posture. **Aviation, Space and Environmental Medicine**, v. 60, p. 1011-1015, 1989.
- SANTOS, R.; FUJÃO, C. **Antropometria**. 2008. Monografia (Curso de Pós-Graduação em Ergonomia)-Universidade Évora, Lisboa, 2003. Disponível em: <[http://www.ensino.uevora.pt/fasht/modulo4\\_ergonomia/sessao1/texto\\_apoio.pdf](http://www.ensino.uevora.pt/fasht/modulo4_ergonomia/sessao1/texto_apoio.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2008.
- SHALL, D. G. Non-ejection cervical spine injuries due to +Gz in high performance aircraft. **Aviation, Space and Environmental Medicine**, v. 60, p. 445-456, 1989.
- SHANAHAN, D. F.; MASTROIANNI, G. R.; READING, T. E. Back discomfort in US Army Helicopter Flightcrew Members. In: AGARD CONFERENCE, 378., 1986. **Proceedings... Backache and Back Discomfort**. France: AGARD, 1986.
- SHARMA, S.; RAJU, K. S.; AGARWAL, A. Static anthropometry: current practice to determine aircrew compatibility. **Indigenous Journal of Aerospace Medicine**, v. 51, n. 2, p. 40-47, 2007.
- SHEARD, S. C. Back pain in aircrew: an initial survey. **Aviation, Space and Environmental Medicine**, v. 67, p. 474-477, 1996.
- SIMPSON, P. A. Flight related musculoskeletal pain and discomfort in general aviation from United Kingdom and Ireland. **Aviation, Space and Environmental Medicine**, v. 74, n. 1, p. 1-17, 2003.
- SINGER, G.; DEKKER, S. The ergonomics of flight management: fixing holes in the cockpit certification net. **Applied Ergonomics**, v. 32, p. 247-254, 2001.
- SNIJDERS, C. J. Design criteria for seating based on biomechanics. **Proceedings of ICAART 88**, Montreal, p. 472-473, 1988.
- VISURI, T.; AHO, J. Injuries associated with the use of ejection seat in Finnish pilots. **Aviation, Space and Environmental Medicine**, v. 63, n. 8, p. 727-730, 1992.

