

SIMULADOR DE FORÇAS E MANOBRAS DA AERONAVE EMB 312 T-27 TUCANO

Thiago Augusto Rochetti Bezerra ¹

Antônio Carlos Shimano ²

Artigo submetido em 24/09/2010.

Aceito para publicação em 25/03/2011.

RESUMO: Os Pilotos e Cadetes Aviadores da Força Aérea Brasileira (FAB) são expostos ao aumento da força (+Gz). O aumento +Gz ocasiona uma sobrecarga ao ombro e braço direito devido à movimentação do manche, o que pode proporcionar dores e lesões nos pilotos. Este estudo tem como objetivo o desenvolvimento de um simulador de forças exercidas no manche da aeronave EMB 312 (T-27 Tucano) para avaliação de forças e treinamento físico de pilotos e cadetes. O equipamento simula através de um manche e um sistema de molas as forças mecânicas muito próximas às forças reais aplicadas ao manche durante a execução de uma manobra. Um sistema composto de quatro células de carga conectado a um aquisitor de sinais permite a quantificação das forças em função do tempo no simulador. Este módulo codificador de sinais é responsável pela filtragem e digitalização de sinais provenientes das células de carga. Um software integrado ao aquisitor de sinais foi capaz de armazenar e fornecer informações sobre os registros de força e de momentos. O condicionador de sinais fornece as etapas de ganho de tensão variada, de tal forma que os sinais dos transdutores possam ser fielmente representados após a coleta de dados. Foi feita a digitalização dos sinais aplicados a cada célula de carga, para posteriormente processar em aplicativo. O equipamento captou os sinais de variação desta tensão aplicada sobre as células de cargas conectadas às molas e forneceu um valor de tensão correspondente a esta ação.

PALAVRAS-CHAVE: Aquisitor de sinais. Ergonomia. Forças no manche de aeronave. Simulador de aeronave Tucano

1 INTRODUÇÃO

A evolução das aeronaves tem sido cada vez mais acelerada no tocante à qualidade de voo, desempenho e sistemas embarcados. Enfocando o desempenho das aeronaves modernas, pode-se observar que essas máquinas são capazes de sustentar manobras com elevados valores de fator de carga positivo (+G_z),

¹ Doutorando da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Laboratório de Bioengenharia, Universidade de São Paulo. thiagorochetti@yahoo.com.br

² Prof. Doutor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Laboratório de Bioengenharia, Universidade de São Paulo. ashimano@fmrp.usp.br

submetendo o piloto a uma sobrecarga física que gera inúmeros efeitos nocivos em seu corpo. O funcionamento homem-máquina em pilotos de acrobacia aérea exige algo próximo da perfeição. A menor falha neste mecanismo complexo, que pode ser causada por um quadro de dor em uma fração de segundos, pode significar um acidente fatal (CARPENTER, *et al.*, 1991).

As altas cargas de $+G_z$ é um fator contribuinte importante na prevalência de dores ou lesões nos pilotos do Esquadrão de Demonstração Aérea (EDA) da Força Aérea Brasileira (FAB), bem como no agravamento de um quadro de dor preexistente.

No ano de 2002, onze pilotos do EDA foram questionados quanto às possíveis dores ou desconfortos causados por sua prática profissional. Foi observado que 80% dos pilotos sentem dores no braço direito, sendo 41% destas dores fortes (BEZERRA, 2002).

No EDA, os pilotos são submetidos a elevados fatores de carga, podendo chegar até a $+6G_z$. Um piloto que possui peso corporal de 80kg, poderá ter seu peso corporal instantâneo de 480kg (HIPPOLITO, 2005).

Os aviões deslocam-se com rapidez e modificam sua direção de movimento tão frequentemente que o corpo, muitas vezes, é submetido a graves estresses físicos. Quando um avião faz curvas, mergulhos ou “loopings”, as forças centrífugas são muitas vezes suficientes para promover sérias perturbações das funções corporais (SMITH, 2002).

Desta maneira, ressalta-se a importância dos simuladores. Os simuladores têm por finalidade fornecer uma representação operacional o mais próximo possível da realidade. O objetivo de um simulador é reproduzir o comportamento da aeronave em diversas situações (BERNARDES, 1994).

Os simuladores de voo são largamente empregados para treinamento de pilotos e tripulações inteiras; suas principais vantagens são: a redução do custo de formação e treinamento de pessoal, e a redução do tempo de formação do piloto.

A segurança no simulador em situações potencialmente perigosas pode ser

experimentada sem risco de vida ou de perda de equipamento.

O objetivo deste estudo foi o de projetar e desenvolver um simulador de forças exercidas no manche da aeronave EMB-312 (T-27 – Tucano) em voo. A confecção deste equipamento procurou reproduzir forças aplicadas ao manche idênticas ou bem próximas em situação real da aeronave T-27.

A aeronave EMB 312 (figura 1) foi fabricada pela Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A (EMBRAER) no ano de 1980, é um treinador turboélice, com envergadura de 11,14 m, comprimento de 9,86m e altura de 3,40m; atinge uma velocidade de 456 km/h, e suporta fatores de carga de -3Gz até +6Gz.

Esta aeronave integra o EDA e é também utilizada no treinamento de Cadetes Aviadores da FAB.

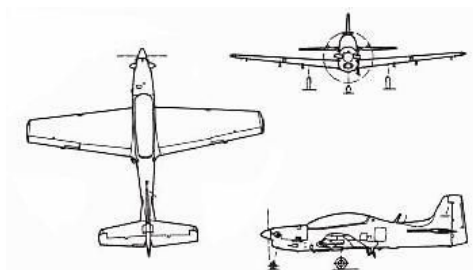


FIGURA 1. Três vistas da Aeronave EMB 312 (T-27 – Tucano). Fonte: EMBRAER, 1984

Justifica-se a construção deste equipamento para servir como instrumento primário na preparação física dos pilotos, com o consequente aumento da segurança do voo para o piloto.

2 MÉTODOS

O projeto do Simulador de forças da Aeronave T-27 consistiu na confecção e construção deste em uma primeira etapa. Posteriormente a construção houve a comparação da força exercida no manche da aeronave em uma situação real, em relação aos valores obtidos no manche do simulador.

O conhecimento dos valores das forças reais aplicadas ao manche do simulador foram obtidas através de pesquisa realizada juntamente com a Divisão de

Ensaio em voo do Instituto de Aeronáutica e Espaço no ano de 2005. Também foram pesquisados estes valores junto ao manual de voo da Aeronave EMB 312, junto ao seu fabricante datado do ano de 1984.

No processo de construção deste simulador levaram-se em consideração as forças aplicadas ao manche e necessárias para gerar (em voo) fatores de carga entre +4Gz e +4,5Gz. Esta força se equivale à média das forças durante as apresentações do EDA.

3 CONFECÇÃO DO SIMULADOR

A figura 2 é uma vista geral em perspectiva do simulador de forças com as partes componentes principais.

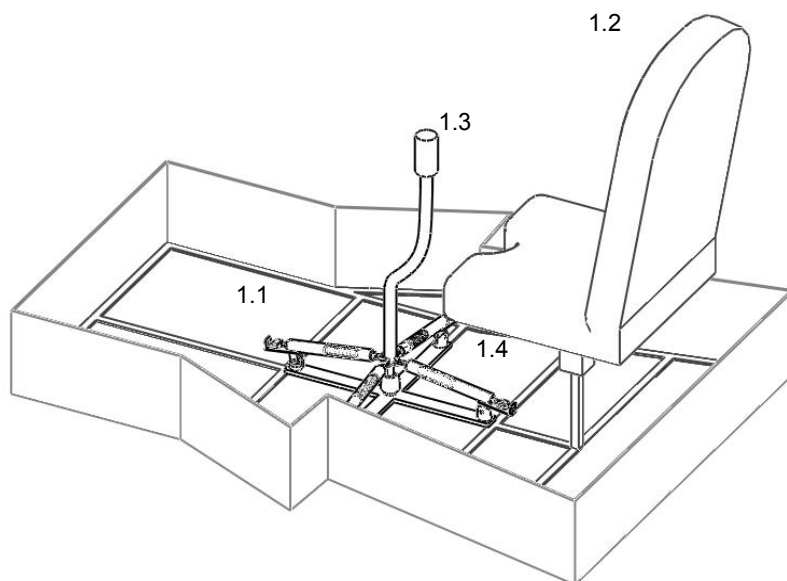


FIGURA 2. Vista geral do Simulador de forças

Com referência à figura 2, o simulador de forças é composto pela base estrutural (1.1), assento (1.2), manche (1.3) e mecanismo acionador (1.4).

A configuração da base estrutural do simulador de forças apresenta dimensões próximas às encontradas na Aeronave T-27. Quanto às dimensões das outras partes importantes do simulador de forças, por exemplo, o tamanho e a inclinação do assento, o tamanho e a amplitude de movimentos do manche e a distância entre o assento e o apoio para os pés, estas também apresentam as mesmas características da Aeronave T-27. O objetivo de manter tais dimensões foi conceber um simulador de forças o mais próximo possível das condições reais.

O assento (1.2) possui regulagem para altura, facilitando o ajuste do piloto ao simulador de forças.

A figura 3 é uma vista geral em perspectiva do mecanismo acionador do simulador de forças.

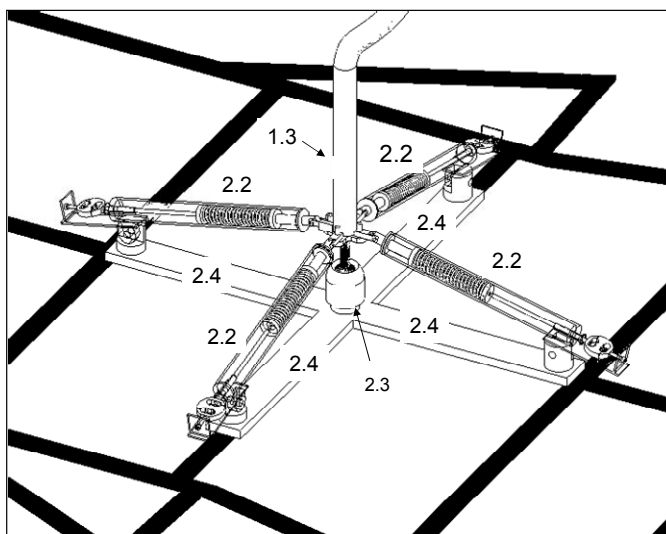


FIGURA 3. Mecanismo acionador do simulador de forças

Com referência à figura 3, esta ilustra o simulador de forças de forma mais detalhada. O manche (1.3) é acoplado à rótula de fixação (2.3) e na parte inferior do mesmo são fixados os quatro sistemas integrados (2.2) compostos cada um de tubo, mola de compressão e célula de carga. Os quatro sistemas integrados (2.2)

são fixados a quatro suportes (2.4) do conjunto do mecanismo acionador. Os quatro sistemas integrados mecânicos podem ser trocados por um sistema hidráulico (3.4') (não ilustrado).

O conjunto do mecanismo acionador representado na figura 3 é soldado nos suportes de fixação (2.4). A estrutura da rótula de fixação (2.3) permite o movimento do manche (1.3) em todas as direções.

Ainda com referência à figura 3, no manche (1.3) são fixados quatro sistemas integrados (2.2) compostos cada um de tubo, mola de compressão e célula de carga. Os sistemas integrados (2.2) são fixados nos suportes de fixação (2.4) com pequena inclinação, o que permite a movimentação do manche sem que ocorra o travamento do conjunto do mecanismo acionador.

A figura 4 é uma vista em perspectiva explodida das partes componentes do sistema integrado (tubo, mola de compressão e célula de carga) do simulador de forças da presente invenção.

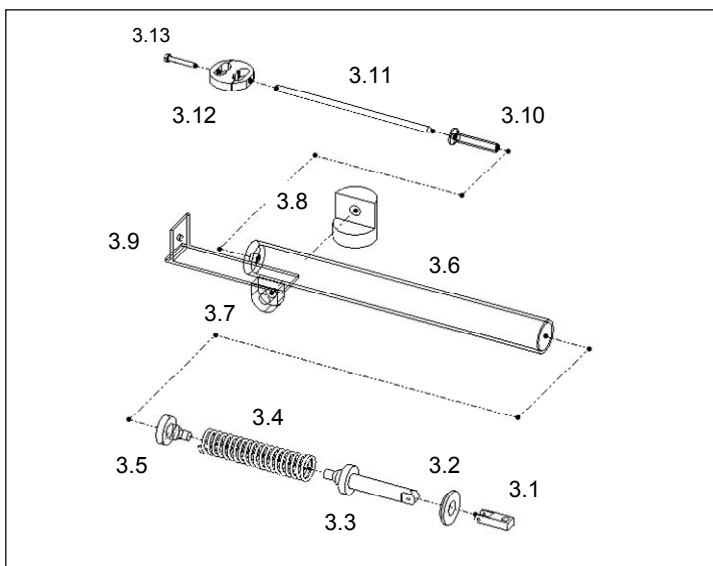


FIGURA 4. Sistema integrado

Com referência à figura 4, é ilustrado o sistema integrado do simulador de forças. Esse sistema integrado é composto por articulação (3.1) entre o sistema

integrado (2.2) e a rótula (2.3), apoio guia (3.2) fixo no tubo, eixo de conexão (3.3) entre a mola e a articulação, mola de compressão (3.4), base de apoio (3.5) da mola de compressão (3.4), tubo cilíndrico (3.6), articulação do sistema integrado (3.7), base de apoio (3.8) da articulação do sistema integrado, base de fixação (3.9) da célula de carga, parafuso de ajuste (3.10) com furo passante, eixo passante (3.11), célula de carga (3.12), parafuso de ajuste (3.13) da célula de carga (3.12).

Alternativamente, a mola de compressão (3.4) pode ser substituída por pistão hidráulico (3.4') – não ilustrado nas figuras. A substituição de sistema mecânico (tubo e mola de compressão) por sistema hidráulico (pistão hidráulico 3.4') fará com que a utilização do simulador também seja realizada por pilotos de caça, posto que o manche de algumas das aeronaves tem acionamento hidráulico.

A estrutura da articulação (3.1) entre o sistema integrado (2.2) e a rótula (2.3) permite que os movimentos do manche (1.3) sejam realizados em todas as direções. Nesta articulação (3.1) é fixado o apoio guia (3.2) para ser inserido no tubo cilíndrico (3.6), que tem a função de guiar o eixo de conexão (3.3) para uma direção exata. O eixo de conexão (3.3) fica localizado na sua base inferior dentro do tubo cilíndrico (3.6), não permitindo assim que a mola de compressão (3.4) se desprenda do tubo cilíndrico (3.6).

As molas de compressão (3.4) (ou os pistões hidráulicos 3.4') têm função primária no simulador de forças. São estas molas de compressão (3.4) que comprimidas exercem uma força contrária ao movimento do manche (1.3). Toda vez que ocorre a movimentação do manche (1.3), para qualquer direção, a articulação (3.1) comprime a mola de compressão (3.4); a força contrária a este movimento consiste em relações diretas entre a força realizada nos movimentos reais da Aeronave T-27. Para isto ocorrer foram confeccionadas diferentes molas, com diferentes propriedades elásticas, umas mais rígidas e outras mais maleáveis. A substituição de uma mola, ou do conjunto de molas pode aumentar ou diminuir a capacidade do simulador de forças criado. Estas molas podem ser trocadas por pistões (cilindros hidráulicos). O sistema hidráulico diminui e amortece os esforços

exercidos no manche. Este recurso pode ser adotado visando submeter o piloto a um treinamento progressivo de força no simulador, diminuindo o risco de lesões.

A força aplicada sobre a mola de compressão (3.4) é registrada através da célula de carga (3.12). Esta transmissão de força é realizada pelos eixos passantes (3.11). Cada eixo passante (3.11) é fixado a uma célula de carga (3.12) e guiado internamente ao tubo cilíndrico (3.6) através do parafuso de ajuste com furo passante (3.10). Ao movimentar-se o manche (1.3) para uma ou mais direções, a mola de compressão (3.4) é comprimida dentro do tubo cilíndrico (3.6). A base da mola de compressão (3.4) comprime o eixo passante (3.11) que conectado à célula de carga (3.12) permite que a mesma registre a força aplicada. Para que não ocorra variação da angulação das células de carga (3.12), e registros de forças indesejadas, as células de carga (3.12) são conectadas a uma base de fixação (3.9). A distância da célula de carga (3.12) pode ser alterada de acordo com a necessidade através de seus parafusos de ajuste (3.13).

A figura 5 é uma vista geral em perspectiva do sistema integrado (tubo, mola de compressão e célula de carga) do simulador de forças.

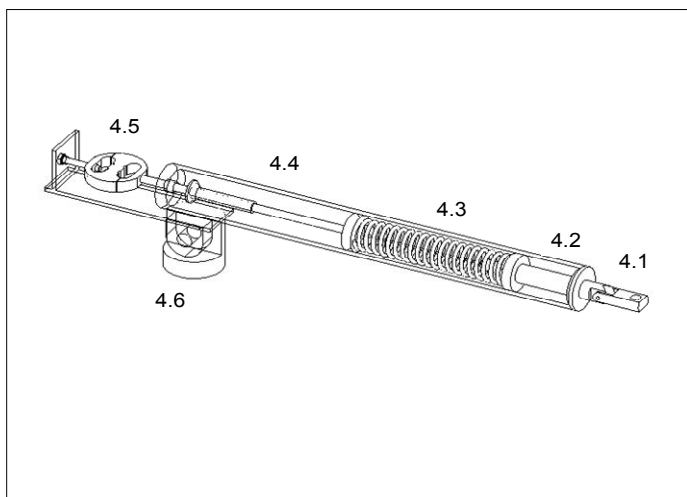


Figura 5. Tubo, mola de compressão e célula de carga

A figura 5 ilustra o simulador de forças com as suas peças componentes

montadas dentro do tubo cilíndrico (4.2). O mecanismo do eixo passante (4.4) descrito acima com referência à figura 4 pode ser visto nesta figura 5, onde a compressão da mola de compressão (4.3) imprime uma força sobre o eixo passante (4.4) e causa o registro da deformação da célula de carga (4.5).

Os quatro sistemas integrados (2.2) são fixados de modo articulado em uma extremidade ao manche (1.3) e na outra extremidade a bases de apoio de articulação (3.8). Cada sistema integrado (2.2) é composto de um tubo cilíndrico (3.6), uma mola de compressão (3.4) e uma célula de carga (3.12) fixada a uma base de fixação (3.9) pelo parafuso de ajuste (3.13); e ao movimentar o manche (1.3) em uma direção a mola de compressão (3.4) de um dos sistemas integrados (2.2) é comprimida e transmite a força de compressão para a célula de carga (3.12) pelos eixos passantes (3.11), permitindo que a célula de carga (3.12) registre a força aplicada à mola de compressão (3.4).

O Simulador possui fixação articulada dos sistemas integrados (2.2) ao manche (1.3), feita pelas articulações (3.1). Possui também fixação articulada dos sistemas integrados (2.2) à base de apoio (3.8), feita pela articulação (3.7).

Internamente ao tubo cilíndrico (3.6) é instalada a base de apoio (3.5) da mola de compressão (3.4) eixo de conexão (3.3), entre a mola de compressão (3.4) e a articulação (3.1). Externamente ao tubo cilíndrico (3.6) é fixado o apoio guia (3.2).

As forças de compressão transmitidas para a célula de carga (3.12) são medidas utilizando um aquisitor de sinal elétrico ligado a todas as células de carga (3.12).

A leitura e o armazenamento das forças de compressão transmitidas para a célula de carga (3.12) em função do tempo são realizados por um software instalado em um computador ligado ao aquisitor de sinal.

O armazenamento das medidas dos ângulos das posições do manche (1.3) em função do tempo são realizados por um software instalado em um computador ligado ao aquisitor de sinal.

4 AQUISIÇÃO DE SINAIS

O aquisitor de sinal foi desenvolvido especialmente para ser utilizado no simulador. Existe um programa que faz as conversões dos sinais adquiridos pelas células de carga e pelos potenciômetros. Este programa realiza a interface entre os instrumentos de medidas (células de carga e potenciômetros) e o computador mostrando graficamente, em tempo real, os valores das medidas. O equipamento capta os sinais de variação da tensão aplicada sobre as células de cargas conectadas às molas e fornece um valor de tensão correspondente a esta ação. O programa utilizado também serve como um banco de dados que pode ser trabalhado e utilizado em outros programas de computador. A figura 6 apresenta o aquisitor desenvolvido especialmente para este simulador.

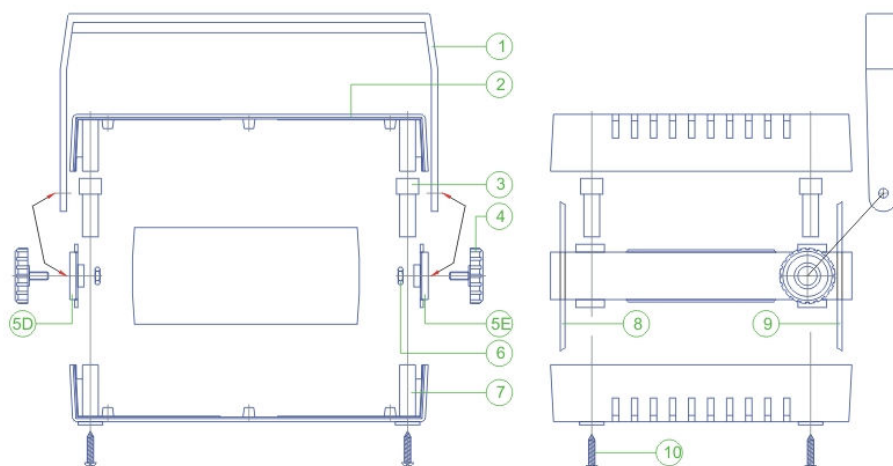


Figura 6. Caixa do analisador

O analisador de sinal elétrico do simulador de força da aeronave EMB 312 (T-27 – Tucano) é analógico, digital e microcontrolado. O equipamento contém oito entradas analógicas, sendo 4 utilizadas para as células de cargas em ponte completa (ponte de Wheaststone) e 4 para potenciômetros de medida de ângulos (três fios), contém ainda oito entradas e oito saídas digitais.

Para realizar as medições das forças envolvidas no manche do simulador,

houve a necessidade de se utilizar o analisador de sinal elétrico que tem ligação com todas as quatro células de carga. Este analisador tem a função de codificar, filtrar e digitalizar os sinais elétricos provenientes das células de carga.

O sistema é constituído por:

- 1- Um microprocessador de 8 bits, com tempo de execução de 1,085 microssegundos por instrução, com núcleo processador 8052 da Analog Devices (ADuC831).
- 2- Um conversor A/D de 12 bits com amostragem de 4.000 amostras por segundo;
- 3- Uma interface RS232 para comunicação com microcomputador a 115.200 bits por segundo;
- 4- Quatro entradas digitais (contato seco) isoladas opticamente;
- 5- Quatro saídas digitais transistorizadas de 12 V e 10mA, para entradas das células de carga. Para as entradas das células de carga é utilizado um amplificador de instrumentação INA111 com alto CMRR.

Quanto aos requisitos elétricos utilizados pelo analisador são:

- 1- Alimentação de 220Vca e 30 mA;
- 2- Alimentação das células de cargas com 10Vcc com sensibilidade de 2mV/V;
- 3- Alimentação dos potenciômetros de 2,5 Vcc com resistência variando de 1000 Ω e 2000 Ω ;
- 4- As entradas digitais de contato seco são apenas ligado/desligado;
- 5- As saídas digitais transistorizadas são de 12Vcc e 10mA.

O funcionamento do analisador é baseado no processador 8052. Esse processador possui um conversor analógico/digital de 12 bits que tem a capacidade

de converter os sinais elétricos de cada célula de carga. Os sinais analógicos das células de carga são amplificados e filtrados pela etapa de pré-processamento, em seguida são convertidos em sinal digital através do conversor D/A e este processo é repetido para as quatro entradas analógicas. Ao final da conversão das quatro entradas analógicas, todos os dados convertidos, juntamente com o Status das entradas digitais, são enviados via comunicação serial RS232 ao computador.

A leitura e o armazenamento dos dados das forças aplicadas em função do tempo são realizados por um programa desenvolvido para este simulador. O computador é ligado ao analisador de sinal elétrico.

Quando o processo de aquisição de dados pelo programa ocorre pela primeira vez é necessário calibrá-lo. Esta calibração é importante porque os dados enviados pelo analisador estão na forma pura variando de 0 a 4.096 (12 bits). Todo o procedimento de conversão do valor digital em força ocorre no programa através dos parâmetros de calibração. Após a calibração, o programa deve ser configurado para o tempo de aquisição dos dados que pode variar de 50 milissegundos a 1 segundo. A partir de então pode ser iniciada a aquisição dos dados de cada célula de carga. Neste instante o analisador começa a enviar os valores adquiridos nas entradas analógicas e digitais, respeitando a frequência de amostragem programada.

Os dados são apresentados na tela do computador na forma de gráficos da Força aplicada versus tempo ou ângulo versus tempo. Os dados também podem ser armazenados em formato TXT (tabelas) para posterior utilização.

O procedimento de aquisição e representação gráfica é contínuo até que o operador realize o comando de parada. Nesse momento, o analisador para com o processo de envio de dados ao programa.

O analisador de sinais elétricos também pode ser utilizado em outro equipamento ou realizar medidas onde se quiser obter analisar e registrar dados fornecidos pelas células de carga.

5 PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO DO SIMULADOR

Antes de começar a utilização do simulador há necessidade de realizar a calibração do mesmo para verificar em qual jogo de molas será utilizado nas simulações. A calibração consiste em cabos de aço presos ao manche passando por um sistema fixo de roldanas (não ilustrado) tendo em suas extremidades um sistema no qual são colocados pesos conhecidos e calibrados. À medida que há o acréscimo de pesos, o manche se desloca para a direção e sentido dos pesos, até se observar a amplitude máxima do movimento permitido ao manche. Observada a amplitude máxima, verificamos o peso correspondente. Este procedimento é realizado para todas as molas de compressão (3.4) e/ou quando há uma troca do conjunto de molas de compressão (3.4).

O manche pode realizar movimentos em todas as direções e em todos os sentidos, não somente nas direções e sentidos das células de carga. Quando da movimentação do manche em todas as direções e em todos os sentidos, há o registro das forças em função do tempo. Antes de iniciar a simulação, o piloto deve ter em mente qual acrobacia quer realizar. Uma vez definido isso o programa de computador registra todos os movimentos juntamente com as forças empregadas em função do tempo, inclusive quando há forças combinadas registradas por duas células de carga (3.12).

6 PESQUISA SOBRE FORÇAS NO MANCHE

Durante pesquisa realizada na Força Aérea Brasileira foram analisadas as forças aplicadas no manche da aeronave EMB T-27. Constatou-se que para os movimentos de cabrar (movimento de manche para trás) e picar (movimento de manche para frente), os valores referentes às cargas aplicadas ao manche eram diferentes dos valores para os movimentos de rolamento (movimentos do manche para a direita e esquerda).

O simulador de forças desenvolvido neste projeto de pesquisa teve como

finalidade desenvolver valores bem próximos da realidade.

Outro objetivo era o de criar cargas próximas às encontradas quando a aeronave esteja realizando acrobacias sob a ação de 3, 4 e 4, 5 +Gz. Isto se deve a relação entre estes valores com os valores médios durante as apresentações do EDA. Portanto, pode-se ressaltar que os valores mínimos (1 e 2 +Gz) e máximos (5 a 6 +Gz) não eram o objetivo da criação deste simulador.

Segundo o manual de voo da aeronave T-27, na especificação quanto à força em kg no manche, citados figura 6-1 na página O.T.1T27-1, os valores diferem entre o comando dianteiro e o comando traseiro da aeronave. Estes valores variam de 0,5 kg até 16,5 kg. O fator de carga Gz, varia de 1 a 6 Gz+ na aeronave T-27 (EMBRAER, 1984).

A figura 7 mostra o fator de carga G aplicada ao manche (EMBRAER, 1984).

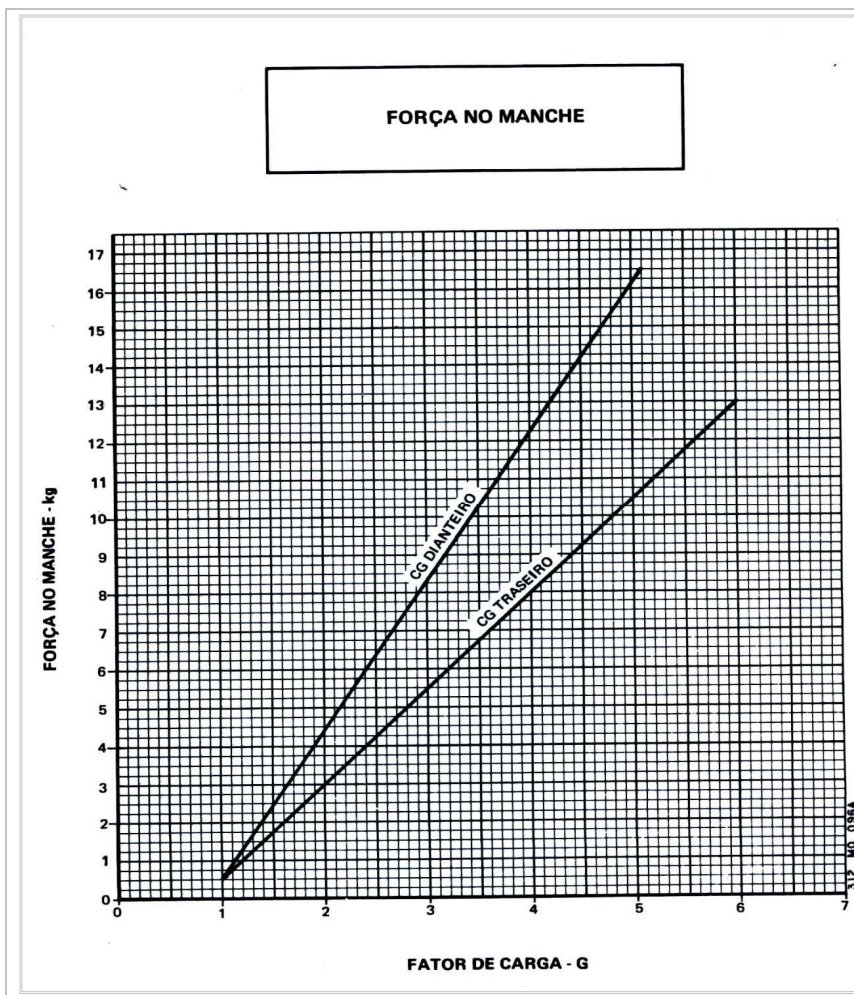


FIGURA 7. Fator de carga G. Fonte: Manual de voo, T-27, 1984

Em pesquisa realizada junto à Divisão de Ensaios em Voo, localizada no Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) em São José dos Campos, SP, foram obtidas informações referentes às forças aplicadas ao manche na Aeronave T-27. Segundo certificação das normas técnicas da Aeronave, encontradas no Parágrafo: 23.143 (1980), as forças podem ser divididas em forças permanentes e forças temporárias máximas.

As forças permanentes são relacionadas ao voo nivelado sob ação de 1G+. As forças temporárias são aquelas suportáveis e indicadas ao bom funcionamento da aeronave. Neste caso, as forças temporárias máximas são de 6Gz+.

Nesta pesquisa os valores encontrados foram:

- Movimento de cabrar e picar: (+1Gz=5 Kgf); (+2Gz= 10Kgf); (+3Gz= 15Kgf); (+4Gz=20Kgf);(+5Gz=25Kgf) e (+6Gz= 30 Kgf).
- Movimento de Rolamento: (+1Gz=3,5 Kgf); (+2Gz= 7Kgf); (+3Gz= 10Kgf); (+4Gz=14Kgf);(+5Gz=17Kgf) e (+6Gz= 20 Kgf).

Notou-se nesta pesquisa que os valores encontrados eram divergentes. Buscou-se, neste caso, fazer uma pesquisa junto aos pilotos sobre qual das forças deveria ser analisadas no processo de confecção. Por indicativa de alguns, levamos em consideração os valores encontrados junto à divisão de ensaios em voo.

Muitos outros apontamentos foram levantados, tais como a questão do movimento de rolamento. O movimento de rolamento da aeronave não implica necessariamente em aplicação de fator de carga no eixo. Assim pode-se efetuar rolamentos com 1Gz. A força aplicada ao manche, que em última análise reflete a amplitude de deflexão desse comando, está relacionada à razão de rolamento e não ao fator de carga.

Outra questão não menos importante se faz através dos compensadores de força. A aeronave T-27 possui um dispositivo capaz de amenizar as forças durante as manobras. O uso do compensador irá depender do tipo da manobra, sua velocidade de execução, e experiência dos pilotos. Descrevemos que o simulador não dispõe da tal recurso.

Desta forma, descrevemos algumas das limitações deste simulador, sem desviar de sua principal finalidade que é a de ser utilizado como recurso para treinamento físico dos pilotos.

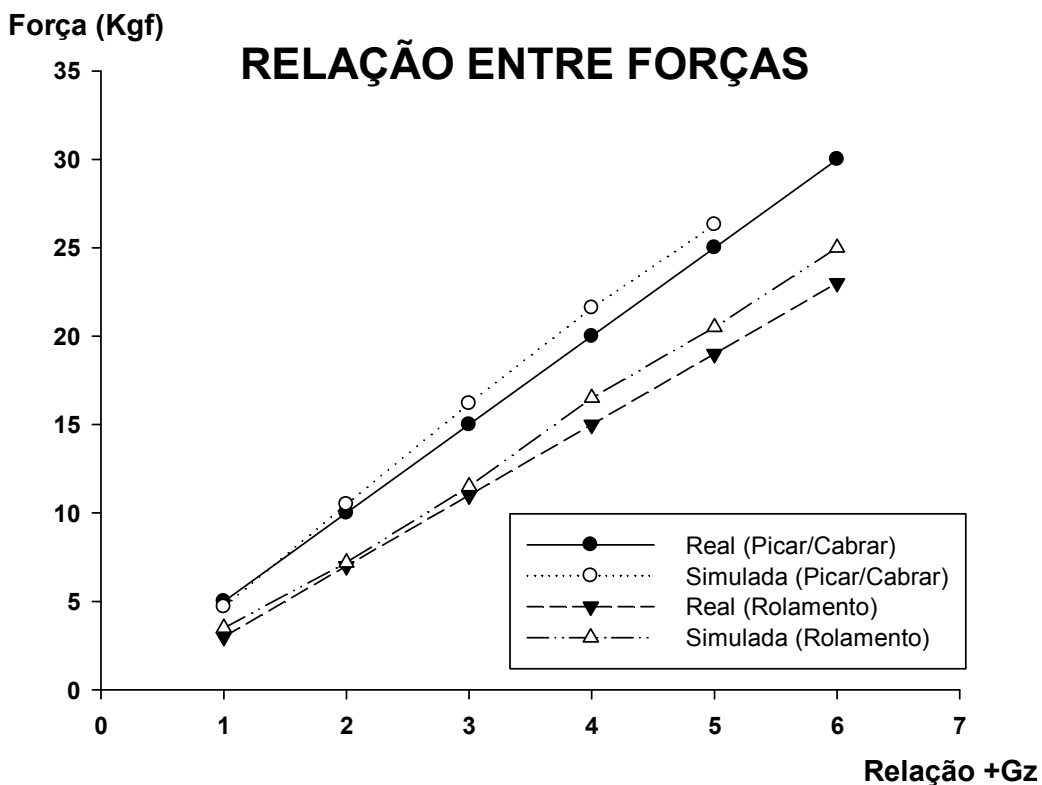
7 RESULTADOS DA CONFECÇÃO DO SIMULADOR

Na confecção do simulador de forças, os valores obtidos foram muito próximos aos encontrados em situação real. Neste caso os valores obtidos nos diferentes tipos de molas confeccionadas foram:

- Movimento de cabrar e picar: (+1Gz=4,7 Kgf); (+2Gz= 10,2Kgf); (+3Gz= 15,6Kgf); (+4Gz=21,6Kgf);(+5Gz=26Kgf).
- Movimento de rolamento: (+1Gz=4,7 Kgf); (+2Gz= 7,2 Kgf); (+3Gz= 10,2Kgf); (+4Gz=15,1Kgf);(+5Gz=18,6Kgf) e (+6Gz= 23 Kgf).

Estes valores podem ser observados no GRÁFICO 1.

GRÁFICO 1. Relação entre Forças +Gz reais e do Simulador.



Os resultados encontrados no desenvolvimento deste simulador foram positivos, visto que caracteriza os valores muito próximos ao real. É importante observar que os valores entre +3Gz e +4,5Gz estão muito próximos a uma situação real da aeronave, cumprindo-se a principal finalidade deste simulador, que é a de servir como instrumento na preparação dos pilotos para o voo.

8 DISCUSSÃO

A construção deste simulador pode atingir os objetivos principais de sua confecção, que é servir de instrumento para o preparo físico específico de pilotos. O simulador poderá ser utilizado na quantificação e validação das forças aplicadas ao manche, no treinamento de fortalecimento muscular e na avaliação física dos pilotos da Força Aérea Brasileira (FAB), por meio de valores de força aplicadas ao manche muito próximas das forças em situação real em voo da aeronave T-27.

Durante toda a vida da aeronave ocorreram atualizações de procedimentos e definições de novos desenvolvimentos sendo necessária a análise de situações perigosas ou acidentes que tenham ocorrido ou possam ocorrer no emprego operacional da aeronave e do piloto (MATSSURA, 1996).

Pensando no piloto de acrobacia aérea, a segurança do voo pode ser prejudicada se o piloto possuir dor ou desconforto em sua atividade (BERNARDES, 1994).

A evolução das aeronaves tem sido cada vez mais acelerada, no tocante à qualidade de voo, desempenho e sistemas embarcados. Enfocando o desempenho das aeronaves modernas, pode-se observar que essas máquinas são capazes de sustentar manobras com altas cargas +Gz, submetendo o piloto a uma sobrecarga física que gera inúmeros efeitos nocivos em seu corpo (POLLOCK, 1999).

O grande limitante atual para a carga +Gz não são as aeronaves e sim os pilotos, e a limitação humana (MOHLER, 2005).

O simulador de forças pode ser utilizado também como um equipamento de avaliação e treinamento das forças isométricas envolvidas nos membros superiores,

realizando somente a troca das molas por tarugos rígidos de metal. A variação da posição do manche para as medidas isométricas dependerá do comprimento dos tarugos.

A configuração da base estrutural do simulador de forças apresenta dimensões próximas às encontradas na Aeronave T-27. Quanto às dimensões das outras partes importantes do simulador de forças, por exemplo, o tamanho e a inclinação do assento, o tamanho e a amplitude de movimentos do manche e a distância entre o assento e o apoio para os pés têm as mesmas características da Aeronave T-27.

9 CONCLUSÃO

A inovação da presente invenção está condicionada a não existência de um simulador anterior a este, com o propósito de simular as forças aplicadas no manche e servir como treinador na formação de futuros pilotos da Academia da Força Aérea e no treinamento físico dos atuais.

O simulador de forças pode ser utilizado também como um equipamento de avaliação e treinamento das forças isométricas envolvidas nos membros superiores, realizando somente a troca das molas por tarugos rígidos de metal. A variação da posição do manche para as medidas isométricas dependerá do comprimento dos tarugos.

O simulador foi protocolado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial - I.N.P.I./S.P., o depósito do pedido de patente de invenção sob o título "SIMULADOR DE FORÇAS EM MANCHE DE AERONAVE", o qual recebeu o registro de Patente de nº. 018080050925.

AGRADECIMENTOS

Aos integrantes do Esquadrão de Demonstração Aérea (EDA) "Esquadrilha da Fumaça", ao Comando da Academia da Força Aérea; à Força Aérea Brasileira; à Fundação de Apoio a pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

REFERÊNCIAS

- BEZERRA, T. H. R. **Contribuição Ergonômica à carreira dos Oficiais Aviadores do Esquadrão de Demonstração Aérea Esquadrilha da Fumaça da Força Aérea Brasileira**. São Carlos, 2002. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Educação Física) - Universidade Federal de São Carlos.
- BERNARDES, C. R. **Simulação de Aviônicos de Navegação Aérea com Aplicação ao T-27**. São José dos Campos: ITA, 1994.
- CARPENTER, D. M., et al. Effect of 12 and 20 weeks of resistance training on lumbar extension torque production. **Physical Therapy**, v.71, p.580-588, 1991.
- EMBRAER. **Manual de Voo do Avião T-27 EMB-312 Tucano**. Publicação O.T. 1T27-1. São José dos Campos: EMBRAER, 1984.
- HIPPOLITO, L. C.; **As influências das acelerações Gz+ na prevalência de lombalgia em pilotos de Caça**. Rio de Janeiro, 2005. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso na Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica). – Universidade da Força Aérea.
- MATSSURA, P. J. **Aplicação dos simuladores de voo no desenvolvimento e avaliação de aeronaves e periféricos**. São José dos Campos: ITA, 1996.
- MOHLER, S. R. Lower back pain is a common complaint, but precautionary practices help pilots cope. **Human factors & aviation medicine**, 2005.
- POLLOCK, M. L., et al. Effects of resistance training on lumbar extension strength. **The American Journal of Sports Medicine**, v.17, p.624-629, 2005.
- SMITH, S. D. Characterizing the effects of airborne vibration on human body vibration response. **Aviation, Space and Environmental Medicine**, v.73, p.36-45, 2002.

SIMULATOR OF FORCES OF THE EMB-312 T-27 TUCANO AIRCRAFT

ABSTRACT: The Official Pilots Aviators of the Brazilian Air Force (FAB) are subjected to an increased gravity force (+Gz). That causes an overload to the shoulder and right arm due to movement of the stick, what it can provide to pains and injuries in the pilots. This study it has as objective the development of a simulator of forces exerted in the stick of aircraft EMB T-27 for evaluation of forces and physical training of pilots. The equipment simulates through a stick and a system of springs the mechanical forces very next the applied real forces to the stick during the execution to a maneuver. A composed system of load cells hardwired to a recorder of signals allows the quantification of the forces in function of the time in the simulator. One software integrated to the recorder of signals was capable to store and to supply information on the registers of force and moments. The equipment caught the signals of variation of this tension applied on the hardwired load cells the springs and supplied a value of corresponding tension to this action.

KEY WORDS: Ergonomics. Recorder of signals. Simulator of Tucano aircraft. Stick forces of aircraft.