



UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA
PRÓ-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESEMPENHO HUMANO OPERACIONAL

JOEL ELOI **BELO** JUNIOR, Maj Av

**EFEITO DO NONO VOO DE INSTRUÇÃO EM AERONAVE T-27 TUCANO SOBRE
A FORÇA MUSCULAR DE MEMBRO SUPERIOR DIREITO DE FUTUROS
PILOTOS DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA**

Rio de Janeiro

2022

UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA
PRÓ-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESEMPENHO HUMANO OPERACIONAL

JOEL ELOI **BELO** JUNIOR, Maj Av

EFEITO DO NONO VOO DE INSTRUÇÃO EM AERONAVE T-27 TUCANO
SOBRE A FORÇA MUSCULAR DE MEMBRO SUPERIOR DIREITO DE FUTUROS
PILOTOS DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA

Relatório Técnico apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Desempenho Humano Operacional da Universidade da Força Aérea como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desempenho Humano Operacional.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Leonice Aparecida Doimo

Rio de Janeiro

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UNIFA

Belo Junior, Joel Eloi

B452e

Efeito do novo voo de instrução em aeronave T-27 Tucano sobre a força muscular de membro superior direito de futuros pilotos da Força Aérea Brasileira / Joel Eloi Belo Junior. – Rio de Janeiro: Universidade da Força Aérea, 2022.

43 f.: il., enc.

Orientador: Leonice Aparecida Doimo

Dissertação (mestrado) – Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2022.

Referências: f. 38-40

1. Piloto militar. 2. Força. 3. Segurança de voo. I. Título. II. Doimo, Leonice Aparecida. III. Universidade da Força Aérea.

CDU: 355.542.5:611.97



**MINISTÉRIO DA DEFESA
COMANDO DA AERONÁUTICA
UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESEMPENHO HUMANO OPERACIONAL

JOEL ELOI BELO JUNIOR

**EFEITO DO VOO DE INSTRUÇÃO EM AERONAVE T-27 TUCANO SOBRE A FORÇA E A
RESISTÊNCIA MUSCULAR DE MEMBRO SUPERIOR DIREITO DE CADETES DA
AERONÁUTICA**

Dissertação aprovada pelos membros da Banca Examinadora, no dia 03 de junho de 2022, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desempenho Humano Operacional pela Universidade da Força Aérea (UNIFA).

Rio de Janeiro, RJ, 03 de junho de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. LEONICE APARECIDA DOIMO
(CPF: 034.450.818-83) – (UNIFA)
Presidente da Banca de Defesa

Prof. Dr. THIAGO AUGUSTO ROCHETTI BEZERRA
(CPF: 220.896.268-01) – (UNAERP)
Examinador Externo

Prof. Dr. FÁBIO ANGIOLUCI DINIZ CAMPOS
(CPF: 300.009.348-60) – (AFA)
Examinador Interno



Documento assinado digitalmente
OSVALDO COSTA MOREIRA
Data: 03/06/2022 16:37:57-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. OSVALDO COSTA MOREIRA
(CPF: 066.877.736-23) – (UFV)
Examinador Externo

Dedico este trabalho à minha esposa e filhas, por serem tudo para mim! Obrigado pelo amor que recebo diariamente, fortalecendo-me em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me concedeu a oportunidade de concluir este trabalho. Obrigado aos meus pais, Joel Belo e Ivone, pelo exemplo e educação que me transmitiram desde criança. Ao meu tio Dael, aviador naval, minha primeira inspiração aérea real, quando o vi embarcar no navio Barão de Tefé, com os helicópteros da Marinha do Brasil em direção à Antártida: neste dia eu estava ao lado de meus avós Aurora e Adir, aos quais também agradeço infinitamente pelo apoio e amor. Ao meu primeiro instrutor de voo, Cel Polesi, muito obrigado pela dedicação e boa vontade desde a primeira missão da fase de pré solo no T-25. Obrigado aos comandantes de esquadrão, esquadrilha e escalantes, Cel Fernandes, Cel Vargas, Cel Marco, Cel Martins, Cel Calomeno e Cel Nóbrega, pela confiança e cobrança com que me trataram no segundo e primeiro esquadrões de instrução aérea. Obrigado aos meus comandantes e chefes, Cel Arrais, Cel Daniel, Cel Feijó e Brigadeiro Davi, por terem me autorizado e incentivado a entrar no programa de pós graduação. Agradeço de maneira especial ao Cel Gabriel, Chefe da Seção de Educação Física, pelo exemplo de vida militar, esportiva e de caráter, com quem tive a honra de trabalhar, treinar e competir por sete anos. Obrigado ao Cel Utzig (PAIM Brasil): amigo e inspiração de vida como atleta de pentatlo aeronáutico. Agradeço também aos instrutores de voo que participaram do grupo focal: Camanzano, Thiago, Conte, Herculian e Hune. A experiência e boa vontade de vocês fizeram a diferença. Ao grande amigo Duque (PAIM Brasil), muito obrigado pela parceria, conselhos e motivação antes e durante o mestrado. Obrigado Tex, amigo de turma de EPCAR, AFA e de mestrado, pelo companheirismo e parceria no curso e na vida (desde 2000, Rasga Céus!). Obrigado ao Ten Phelipe, amigo da Seção de Educação Física e da vida, treinador, copiloto, piloto automático e colega de beira de pista, pela ajuda, lealdade e companheirismo desde 2015. Muito obrigado ao Dr. Rochetti, amigo, incentivador, copiloto, conselheiro e coorientador desde 2015. Obrigado ao amigo Romero (Dragão), colega de trabalho, de família, incentivador e parceiro desde 2015. Agradeço também aos amigos Ten Zanetti e Cap Assis, colegas de trabalho na SEF desde 2015 e 2016, com quem tive o prazer de dividir os momentos felizes no treinamento e viagens da equipe de orientação dos cadetes. Muito obrigado às mulheres de minha vida: Laura, Isadora e Larissa, pelo amor infinito que me alimenta diariamente. Por fim, agradeço à minha orientadora, Prof. Dra. Leonice, pela atenção dedicada a esta pesquisa e pela paciência que sempre teve comigo. Obrigado também aos meus coorientadores diretos e indiretos, especialmente ao Prof. Dr. Adriano, por ter vindo à AFA no meio da pandemia dar rumo e vida ao meu projeto de mestrado, e à Prof. Dra. Fabrícia, pela boa vontade constante desde o início do processo seletivo. Muito obrigado

a amigos e familiares que tiveram paciência em meus dias ausentes.

RESUMO

A aeronave de alta performance EMBRAER 312, T-27 Tucano, exige grande esforço dos pilotos militares em situação de voos de instrução avançada. Diante disso, objetivou-se investigar a força de preensão manual e de resistência muscular do membro superior direito, antes e após o voo de instrução de Formatura número 9 (FR9), em aeronave T-27 Tucano, de cadetes da Aeronáutica. Foram realizados testes em dinamômetro de mão (JAMAR) e no simulador de forças da aeronave T-27, equipado com células de carga no manche (5Hz; 100 gramas). As variáveis analisadas referem-se ao tempo de sustentação (em segundos) de força isométrica acima de dois valores de corte: 30Kg, correspondente à força máxima necessária para pilotagem da aeronave em condições normais de voo, conforme manual da aeronave; e 21Kg, definida como fadiga muscular funcional para o movimento de cabrar, considerando que essa força corresponde a 70% da força máxima descrita no manual. Os resultados indicaram que, descansados, os cadetes apresentaram, em média, tempo de fadigabilidade de 127 segundos. Porém, esse grupo demonstrou que, em 135 segundos, 75% dos cadetes não sustentam a força útil para reverter o posicionamento da aeronave em mergulho vertical. Nessa condição, a aeronave tende a aumentar sua velocidade progressivamente. Além disso, os resultados mostraram que o FR9 implica grandes esforços musculares nos cadetes, prejudicando o desempenho no que diz respeito à fatigabilidade. É consenso que, em situações de voo inesperadas e que promovam riscos à saúde, ações assertivas devam ser imediatamente aplicadas. Desta forma, combinando os resultados com os parâmetros de segurança, é necessário considerar a força muscular do cadete como fator de influência sobre a segurança de voo.

Palavras-chave: Piloto militar; força; segurança de voo.

ABSTRACT

The EMBRAER 312 high-performance aircraft, T-27 Tucano requires great effort from military pilots when on advanced training flights. Therefore, the objective was to investigate the handgrip strength and muscular resistance of the right upper limb before and after the training flight number 9 (FR9) in a T-27 Tucano aircraft, of Air Force cadets. Tests were carried out on a handheld dynamometer (JAMAR) and on the T-27 aircraft force simulator, equipped with load cells on the stick (5Hz, 100 gr). The variables analyzed refer to the time that the participants exert force above the cut-off values: 30Kg, which is the maximum force required under normal flight conditions according to the aircraft manual; and 21Kg, defined as functional muscle fatigue for the goat movement. This force corresponds to 70% of the maximum force described in the manual. The results indicated that, resting, the cadets present, on average, a fatigue time of 127 seconds. However, this group demonstrated that, in 135 seconds, 75% of the cadets do not sustain the useful force to reverse the positioning of the aircraft in vertical dive. In this condition, the aircraft tends to increase its speed progressively. In addition, the results showed that the ninth graduation flight (FR9) implies great muscular efforts in the cadets, impairing the performance with regard to fatigability. It is a consensus that in unexpected flight situations that promote health risks, assertive actions are immediately applied. Thus, combining the results with the safety parameters, it is necessary to consider the cadet's muscular strength as an influencing factor on flight safety.

Keywords: *Military pilot; strength; flight safety.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Equipamentos e amarração do piloto	13
Figura 2 - Movimento de cabrar no manche da aeronave T-27.....	14
Figura 3 - Simulador de Forças visão frontal.....	21
Figura 4 - Desenho do Estudo.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização etária e antropométrica da amostra de cadetes da AFA.....	27
Tabela 2 - Resultados de força de preensão manual (máxima; 50% e erro de acurácia) de cadetes da AFA, pré-FR9.....	28
Tabela 3 - Tempo de sustentação de força no simulador de forças do T-27, pré-FR9.....	28
Tabela 4 - Tempo de sustentação de força de 30Kg, em simulador de forças do T-27, pré-FR9.....	28
Tabela 5 - Tempo de sustentação de força de 21Kg em simulador de forças do T-27, pré-FR....	29
Tabela 6 - Relações entre preensão manual e sustentação de força no simulador do T-27 para força superior a 30 Kg, pré-FR9.....	29
Tabela 7 - Relações entre preensão manual e sustentação de força no simulador do T-27 para força superior a 21 Kg, pré-FR9.....	30
Tabela 8 - Relações entre preensão manual e sustentação de força no simulador do T-27 para força entre 21 e 30 Kg, pré-FR9.....	30
Tabela 9 - Diferenças médias, intervalos de confiança, valores de p e tamanho do efeito relativos ao efeito do FR9 na resistência muscular do membro superior direito e na preensão manual....	31
Tabela 10 - Efeito do voo FR9 no perfil de manutenção de força de 30 Kg no simulador do T-27 em relação ao tempo.....	31
Tabela 11 - Efeito do voo FR9 no perfil de manutenção de força de 21 Kg no simulador do T-27, em relação ao tempo.....	32

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AFA – Academia da Força Aérea

1º EIA – Primeiro Esquadrão de Instrução Aérea

2º EIA – Segundo Esquadrão de Instrução Aérea

FAB – Força Aérea Brasileira

UNIFA – Universidade da Força Aérea

UFV – Universidade Federal de Viçosa

EMB – Embraer

MAPRO – Manual de Procedimentos

FR9 – Missão de número 9 da Fase de voo em formatura

PECO – Participantes, Exposição, Comparação e Resultado

CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos

CFOAV - Curso de Formação de Oficiais Aviadores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	JUSTIFICATIVA.....	15
3	OBJETIVOS.....	16
3.1	Objetivo geral.....	16
3.2	Objetivos específicos.....	17
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
4.1	Voo de Instrução Aérea em Formatura.....	17
4.2	Força muscular durante a pilotagem.....	19
4.3	Simulador de forças da aeronave Embraer EMB T-27.....	20
5	MÉTODO.....	22
5.1	Desenho Experimental e Procedimentos Éticos.....	23
5.2	Amostra.....	23
5.3	Coleta de dados.....	24
5.3.1	Dados antropométricos.....	24
5.3.2.1	Força de preensão manual do membro superior direito.....	24
5.3.2.	Força de preensão manual máxima (FPMM).....	24
5.3.2.2	Precisão (reprodutibilidade) da força de preensão manual máxima (PFPM).....	25
5.3.3	Resistência muscular em simulador de forças inerciais da aeronave Embraer EMB T-27.....	25
5.4	Tratamento e análise dos dados.....	27
6	RESULTADOS.....	27
7	DISCUSSÃO.....	32
7.1	Caracterização da fadiga muscular isométrica localizada de membro superior direito de cadetes da FAB e suas implicações para a segurança.....	33
7.2	Caracterização do efeito do voo de FR9 sobre a fadiga muscular isométrica localizada de membro superior direito de cadetes da FAB e suas implicações para a segurança.....	35
8	CONCLUSÃO.....	36
9	RECOMENDAÇÕES.....	36
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
11	APÊNDICES.....	41

APRESENTAÇÃO

Conforme o Ministério da Defesa (MD), as Forças Armadas, para o cumprimento da missão constitucional de defesa da pátria, devem se manter preparados e adestrados seus efetivos.

Especificamente em relação à Força Aérea Brasileira, a preparação dos seus futuros pilotos se dá na Academia da Força Aérea, mais precisamente no quarto ano de graduação em aviação, onde os cadetes aviadores recebem instruções de voo de nível avançado na aeronave Embraer EMB T-27 Tucano, sendo alocados em esquadrilhas de voo.

Esta aeronave é um turbo hélice, cuja força Gz máxima atingida é da ordem de 6 Gz (positivo) e 3 Gz (negativo), em situação de voo invertido, sendo que, neste último caso, a mesma pode permanecer de dorso em um tempo máximo de 30 segundos (MANUAL EMB,1984). Ainda de acordo com o manual, a força máxima necessária para a sustentação de 6 G(z) - limite de carga gravitacional em condições normais de voo, é de 30 Kgf.

Durante as instruções aéreas, especialmente para a realização de manobras e acrobacias, as aeronaves deslocam-se com alta velocidade e modificam sua direção de movimento tão frequentemente que o piloto, muitas vezes, é submetido a graves estresses físicos, causados pelas súbitas modificações de direção. Em geral, as forças produzidas pela aceleração linear durante o voo normal de um avião não são suficientes para produzir efeitos fisiológicos importantes. Quando um avião faz mergulhos ou “loopings”, ou atingem velocidades elevadas, as forças centrífugas são suficientes para promover sérias perturbações das funções corporais. Distúrbios musculoesqueléticos foram observados em pilotos submetidos a cargas Gz mais elevadas, e o mesmo pode ser observado em cadetes durante voos de instrução avançada.

Assim, o objetivo geral dessa pesquisa foi verificar o efeito do voo de instrução de Formatura número 9 (FR9), em aeronave T-27 Tucano, sobre a força e a resistência muscular de membro superior direito de cadetes da AFA.

Foram realizados testes em dinamômetro de mão (JAMAR) e no simulador de forças da aeronave T-27, equipado com células de carga no manche (5Hz, 100 gr). As variáveis analisadas se referem ao tempo que os participantes exercem força acima dos valores de corte: 30Kg (força máxima necessária em condições normais de voo conforme manual da aeronave) e 21Kg (fadiga muscular funcional para o movimento da manobra cabrar e equivalente a 70% da força máxima descrita no manual).

Os resultados indicaram que, descansados, os cadetes apresentam, em média, tempo de fatigabilidade de 127 segundos. Porém, verificou-se que, em 135 segundos, 75% dos cadetes não sustentam a força útil para reverter o posicionamento da aeronave em mergulho vertical. Nessa condição, a aeronave tende a aumentar sua velocidade progressivamente.

Os resultados também mostraram que o FR9 implica grandes esforços musculares nos cadetes, prejudicando o desempenho no que diz respeito à fatigabilidade. É consenso que em situações de voo inesperadas e que promovam riscos à vida, ações assertivas sejam imediatamente aplicadas. Desta forma, combinando os resultados com os parâmetros de segurança, é necessário considerar o treinamento de força muscular de membros superiores como fator de influência sobre a segurança de voo de cadetes.

Pretende-se, com o resultado dessa pesquisa, contribuir para o aumento do nível de informação sobre o tema, bem como embasar a recomendação de propostas intervencionistas na rotina dos cadetes e instrutores, na preparação do PPC (Projeto Pedagógico de Curso) do ano de 2023, documento que rege o ensino e avaliação dentro da Academia da Força Aérea.

Tais informações também deverão ser consideradas pelo Grupo de Estudos coordenado pela Comissão de Desportos da Aeronáutica (CDA) para a atualização da NSCA 54-5 (Norma de Serviço do Comando da Aeronáutica), documento que rege o treinamento e avaliação do condicionamento físico de todos os militares da Força Aérea Brasileira. Isto é importante se considerarmos que os requisitos de força para a pilotagem são os mesmos para ambos os sexos, visto que as mulheres, por questões morfofisiológicas, apresentam nível de força inferior aos homens.

O presente Relatório Técnico Científico é fruto de pesquisa desenvolvida junto ao Programa de Pós-graduação em Desempenho Humano Operacional, modalidade Mestrado Profissional, da Universidade da Força Aérea (UNIFA), a qual possibilitou, também, a publicação de um artigo científico na classificação Qualis B2 (Área 21 da Capes) e a apresentação e publicação de quatro resumos em eventos científicos.

1 INTRODUÇÃO

A força muscular é responsável tanto pela geração de movimentos voluntários, como pela estabilização corporal, tendo sua origem na tensão ou contração do tecido muscular (ÖZKAYA et al., 2017). Este tecido, por sua vez, pode apresentar fadiga, ou seja, a impossibilidade momentânea de produção de força máxima pelo mesmo, devido a suas condições metabólicas e/ou estruturais (ENOKA e DUCHATEAU, 2008). Na prática, a fadiga muscular é acompanhada de perda de desempenho físico e motor, prejudicando a execução bem sucedida de atividades rotineiras e esportivas (KNICKER et al., 2011). Nesse sentido, é notável que atividades que imponham sobrecargas extenuantes sobre as musculaturas contribuam com a fadiga muscular do indivíduo.

Pilotos são submetidos a grandes cargas gravitacionais (Carga G; Gz), oriundas de manobras realizadas em aeronaves (EIKEN, 2017), resultando em grandes desgastes físicos, inclusive a fadiga de voo. A fadiga de voo é caracterizada por esgotamento físico em detrimento da atividade aeroespacial. Esta atividade causa respostas motoras lentas e atrasadas, erros nas tomadas de decisão e perda de confiança. Tais ocorrências comprometem a operacionalidade e prejudicam a segurança de voo até mesmo no aspecto físico (CUNHA, 2007). Sob condições de sobrecargas Gz, pilotos militares experientes apresentam alteração no padrão de produção de força muscular aplicado no manche (EIKEN et al., 2017), evidenciando grande demanda física e muscular para controle da aeronave. Neste contexto, voos de alta performance com execução intermitente de manobras acrobáticas promovem alterações de carga G, exigindo grandes esforços físicos e metabólicos do piloto.

Na formação de oficiais aviadores da Força Aérea Brasileira (FAB), os cadetes realizam a instrução inicial em aeronaves da Sociedade Construtora Aeronáutica Neiva - Brasil T-25 “Universal” (BRASIL, 2021) e, posteriormente, na instrução avançada, executam treinamento com aeronaves EMB 312 T-27 Tucano.

As aeronaves T-27 são propulsadas por um motor (Pratt & Whitney, modelo PT6A-25C) de aproximadamente 760 cavalos-vapor de potência, o que lhes proporcionam até 457 km/h de velocidade de cruzeiro e autonomia de 2.100 km, com teto operacional acima de 32.500 pés (~ 10 km de altitude) (BRASIL, 1984). Suas características mecânicas e aerodinâmicas lhes garantem ampla resistência a forças gravitacionais (carga Gz) entre -3 e +6 Gz (BRASIL, 1984), com taxas de variação de 1 G/s. Tais condições estruturais lhes permitem manobras acrobáticas intensas e com variação de carga gravitacional de até 9 Gz+, contemplando as necessidades acrobáticas aplicadas durante o curso avançado de formação de oficiais aviadores (BRASIL, 2021). Por essa razão, os cadetes utilizam capacete e máscara de oxigênio positivo

(em uso constante durante voo), traje antichamas, traje salva-vidas (incluído quando plano de voo contempla grandes áreas de água – mar, rios, pântanos) e assento ejetável (Figura 1). Tais características categorizam o T-27 como uma aeronave complexa e de alta performance (e-CFR, 2021).

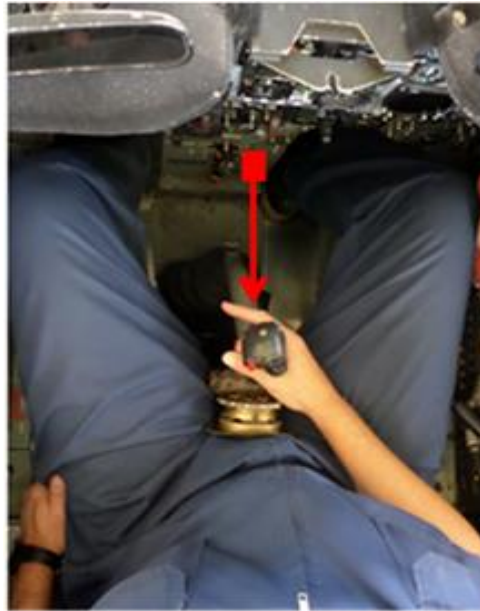
Figura 1 – Equipamentos e amarração do piloto



Fonte: EMBRAER, 1984.

No T-27, a direção da aeronave é feita pelo manche, o qual é exclusivamente movimentado pelo braço e ombro direito. Isso possibilita impor maior sobrecarga a esse segmento corporal, visto que o segmento esquerdo é direcionado para acionar e controlar a manete de potência da aeronave. Para a execução das manobras, o manche pode realizar quatro movimentos distintos: cabrar (puxar o manche para trás, erguendo o nariz do avião); picar (empurrar o manche para frente, baixando o nariz do avião); rotação externa (empurrar o manche para a direita, inclinando o avião para o lado direito); e, por fim, rotação interna (puxar o manche para a esquerda, inclinando o avião para o lado esquerdo) (Figura 2).

Figura 2 – Movimento de cabrar no manche da aeronave T-27



Fonte: Acervo do Grupo Logístico da AFA

Na instrução avançada dos cadetes da FAB, está previsto o treinamento de manobras acrobáticas individuais e em formatura (duas ou mais aeronaves).

Como mencionado, por manobra pode-se entender mudança de direção, atitude e/ou movimentação da aeronave. Os movimentos direcionais básicos da aeronave são quatro: para cima, para baixo, para a direita e para a esquerda. De acordo com o Manual de Procedimentos do Primeiro Esquadrão de Instrução Aérea (BRASIL, 2021), as manobras têm a finalidade de ajudar o piloto a desenvolver e aperfeiçoar a técnica de comandar o avião de modo a obter o máximo rendimento do voo. No caso da acrobacia, esta pode ser compreendida como sendo uma sequência de diferentes manobras, com maior ou menor grau de complexidade, que requer mudanças bruscas na altitude ou na aceleração de uma aeronave em relação ao voo normal. A execução de várias acrobacias seguidas denomina-se sequência acrobática ou, como adotado no presente trabalho, manobras acrobáticas/aéreas. As acrobacias aéreas são ensinadas a todos os futuros pilotos militares cujo objetivo é proporcionar o desenvolvimento de habilidades de voo precisas para uso tático em situação de combate, aumentando a aptidão de coordenar os comandos independentemente da atitude, sem desorientar-se. Seu aprendizado proporciona maior confiança na pilotagem, pois desenvolve a habilidade e a visão espacial.

Nos voos de formatura, é essencial que os pilotos executem as manobras acrobáticas com alto índice de precisão devido à proximidade entre as aeronaves. Desta forma, para garantir a segurança e o sucesso do voo, é indispensável grandes níveis de concentração e esforço físico do braço direito dos pilotos. Durante essa atividade, a força isométrica é requerida com maior

frequência em relação a outros tipos de contração muscular, especialmente para a sustentação/manutenção do manche, visando a correta execução das manobras e, também, a manutenção da atitude da aeronave.

Um estudo conduzido na Finlândia com 195 pilotos do sexo masculino, com idades entre 30 e 39 anos, verificou a ocorrência de sintomas musculoesqueléticos e sua relação com o condicionamento físico e carga horária acumulada de voo. Observou-se que, dependendo do nível de carga G a que os pilotos eram expostos durante exercícios aéreos, mais de um terço apresentaram sintomas osteomusculares como dormência e formigamento nos braços, sugerindo que os desconfortos relatados por pilotos mais jovens e expostos rotineiramente a altas acelerações, tem origem na fadiga muscular de membros superiores (RINTALA, 2015).

A partir do exposto, verifica-se que pilotos e cadetes de aeronaves complexas e de alta performance precisam apresentar desempenho muscular do sistema apendicular superior adequado para resistir apropriadamente aos efeitos deletérios a que estão submetidos rotineiramente em sua atividade fim, principalmente para garantir a segurança e operacionalidade dos voos (AUGUSTO et al., 2011).

Considerando-se que é essencial a esses pilotos apresentar força muscular apropriada para a execução correta de atividades aéreas (BRASIL, 2021), especialmente quando exercem elevados níveis de esforço muscular intermitentes (CONTE, 2010), em função do controle da aeronave majoritariamente pelo manche, torna-se relevante avaliar a força e a fatigabilidade do membro superior direito de pilotos e cadetes da Força Aérea Brasileira.

2 JUSTIFICATIVA

A pilotagem é um ato inseguro (BRASIL, 2007), e zelar pelo aumento nos índices de segurança de voo é um fator primário na aviação. No entanto, a magnitude de compreensão a respeito destes riscos pelo público geral é desconhecida. Neste contexto, para melhor compreensão dos níveis de insegurança nos quais pilotos e cadetes estão expostos devido a sua atividade-fim, serão abordadas algumas possíveis situações.

De acordo com instrutores do 1º Esquadrão de Instrução Aérea, após uma falha do motor, imediatamente o piloto deve cabrar a aeronave, trocando toda a energia cinética disponível (velocidade) por energia potencial (altura) pois, nessa situação de pane, é considerável a perda de altitude por minuto pela aeronave. A força muscular máxima exercida no manche para a realização do movimento de cabrar tem como objetivo levar a aeronave a máximos ganhos de altura e a alcançar maiores distâncias, permitindo ao piloto visualizar pistas de pouso de

emergência, ou evitar áreas urbanas para realizar seu procedimento de ejeção controlado e queda da aeronave.

Segundo o Manual de Procedimentos do 1º EIA (BRASIL, 2021), a altura mínima em que o piloto deve executar o procedimento de ejeção é de 5000 pés de altura. Para cada 1000 pés que a aeronave perde (desce), após uma falha do motor na configuração de voo adotada na instrução dos cadetes na AFA (sem pilones) e, considerando que o piloto execute os procedimentos de recolhimento do trem de pouso e flapes, levando a hélice para a posição embandeirada (máximo planeio), a aeronave pode percorrer até 2,3 milhas náuticas (de acordo com o vento). Essa distância será considerada para a definição entre o pouso de emergência em alguma pista da área de instrução ou por uma ejeção controlada (acima de 5000 pés de altura, aproximadamente 1500 metros).

Caso ocorra uma falha no sistema de compensação da aeronave, é imprescindível que o cadete seja capaz de sustentar a aeronave pelo menos em voo nivelado, voando em direção a alguma pista de emergência ou a própria AFA, para um pouso em segurança. Manter a aeronave em voo é a primeira necessidade para que o piloto possa avaliar o cenário após a falha/incidente e tomar as decisões para as quais ele já foi instruído e avaliado previamente.

Portanto, este estudo justifica-se por destacar e discutir a importância de se compreender os efeitos de um voo de instrução (nono voo de formatura – FR9) sobre a força muscular de membro superior direito durante a execução de uma manobra básica (cabrar) do T-27 em cadetes da AFA. O nono voo de formatura foi escolhido após a entrevista realizada como grupo focal de instrutores do Primeiro Esquadrão de Instrução Aérea, tendo sido considerado como o voo que exige maior esforço muscular do piloto em comando.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Investigar o perfil de força de prensão manual e de resistência muscular do membro superior direito durante a execução da manobra cabrar antes e após o nono voo de formatura (FR9) em futuros pilotos da FAB.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar e comparar a força de preensão manual direita (máxima e 50% deste valor), utilizando dinamometria manual, pré e pós FR9;
- Avaliar e comparar a resistência muscular na execução da manobra cabrar, realizada com o membro superior direito, em simulador de forças inerciais da aeronave Embraer EMB T-27, pré e pós FR9;
- Analisar as associações entre os perfis de força de preensão manual (máxima e 50% deste valor) e de resistência muscular, pré e pós FR9;
- Analisar o erro em reproduzir, intuitivamente, 50% da força de preensão manual máxima.

4 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção destacará a descrição das atividades e rotinas dos cadetes da FAB, visto que a situação-problema a ser investigada insere-se no cotidiano da Academia da Força Aérea (AFA).

O regime de ensino adotado para formação dos futuros pilotos da FAB segue o modelo de internato militar, formado por atividades de ensino, de instrução militar, e de preparação física. O curso de formação de oficiais aviadores (CFOAV) tem a duração de 4 (quatro) anos.

É importante ressaltar que o expediente de oito horas de atividades diárias dos cadetes é organizado para contemplar sessões de preparação física, com duas horas de duração por dia, totalizando 10 horas semanais de exercício físico. Essa rotina de exercícios objetiva promover o desempenho físico peculiar e adequado aos cadetes aviadores da FAB.

4.1 Voo de Instrução Aérea em Formatura

No quarto ano de graduação em aviação da AFA, os cadetes aviadores recebem instruções de voo de nível avançado na aeronave Embraer EMB T-27 Tucano e, para isso, são alocados em quatro esquadrilhas de ensino. Os créditos acadêmicos referentes aos voos de nível avançado são distribuídos em cinco fases: pré-solo, manobras acrobáticas, voo por instrumentos e navegação e voos de formatura. Cada cadete cumpre as cinco fases da instrução avançada individualmente, sendo a ordem das mesmas invariável.

Neste estágio do curso de formação de oficiais aviadores, os conteúdos referentes ao comportamento da aeronave EMB T-27 Tucano já foram ministrados e avaliados, incluindo todas as situações cinemáticas e cinéticas de desempenho no fluido que se encontra. Os conhecimentos são pré-requisitos para a prática das instruções de Voo de Manobras e Acrobacias (MAC) e de Formatura (FR), considerando mais especificamente os seguintes fatores: postura da aeronave (posição, sentido e direção), velocidade e forças aplicadas no manche para executar a manobra, especialmente para cabrar a aeronave.

É permitido que haja até 15 dias entre as fases do curso, porém, entre os voos da mesma fase o intervalo máximo é de 7 dias. A progressão nos conteúdos dos voos de instrução depende de diferentes fatores intervenientes como, por exemplo, adversidades climáticas que inviabilizam voos de aeronave para instrução (baixa visibilidade, chuva, neblina, velocidade do vento); indisponibilidade de aeronaves para elaboração da escala diária de voo o que reduz o número de voos de instrução diários (por exemplo, número de aeronaves em manutenção, tempo de manutenção da aeronave); e sucesso do cadete em completar os voos de instrução (por exemplo, necessidade de repetir voo de instrução).

Em pesquisa informal (grupo focal), realizada com instrutores de voo experientes do 1º Esquadrão de Instrução Aérea da AFA, foi destacado que os voos em formatura são os mais exigentes em termos de requerimentos de força muscular de membro superior direito e, dentre eles, destaca-se o nono voo de instrução (FR9).

Esse voo de instrução tem aproximadamente 60 minutos de duração, desde a decolagem até a aterrissagem, sendo 25 minutos de treinamento efetivo de manobras e acrobacias áreas. Estas são realizadas inicialmente a 12000 pés de altitude, decaindo para a altitude mais baixa (6000 pés) durante o exercício. O treinamento efetivo contempla uma sequência de manobras e acrobacias, executadas em “voo de ala” (afastamento de até 2 aeronaves de distância), “formatura ataque 2” (afastamento de 2 até 4 aeronaves de distância) e “cobrinha show” (afastamento de 5 até 10 aeronaves de distância). As acrobacias do nono voo de instrução, nominadas segundo léxico específico da atividade aérea, são: “oito preguiçoso até 90 graus”, “tunneaux barril”, “tunneaux lento”, “looping”, “meio oito cubano”, “trevo” e “immelman”. Elas exigem diferentes cargas inerciais, decorrentes de mudanças bruscas na altitude ou na aceleração da aeronave e, conseqüentemente, exigem diferentes intensidades de força para realizar o movimento/manobra de cabrar (puxar o manche para trás, erguendo o nariz do avião).

Portanto, é imprescindível para o sucesso e segurança da instrução que o cadete tenha compreensão das forças inerciais que estão agindo sobre a aeronave, e tenha domínio das decisões que pode adotar para manobrar o T-27 com segurança e eficiência.

4.2 Força muscular durante a pilotagem

Na prática, movimentar o manche para realizar os quatro movimentos básicos da aeronave requer força dinâmica. Porém, manter as posições do manche por um dado período de tempo até a concretização da manobra e recuperação da aeronave, e sob efeito de alta carga Gz, requer grande solicitação de força isométrica. No movimento de cabrar, tem-se um tipo de exercício denominado dissipativo, em que a energia do sistema biomecânico está limitada ao próprio músculo, e nele se dissipa, e também onde se observa tendência de movimento concêntrico. Exercícios dissipativos apresentam maior ativação muscular e maior ativação de fibras de contração lenta, mesmo padrão encontrado para contração concêntrica (HUNTER e ENOKA, 2003). Manobras acrobáticas podem impor grande exigência física, em termos de consumo de oxigênio e frequência cardíaca e, mesmo não sendo suficientes para provocar fadiga central, podem acarretar fadiga periférica devido ao trabalho muscular excessivo (SÁ e SCHULTZ, 2016).

Atualmente, é desconhecida regulamentação aérea que defina a força muscular mínima necessária para conduzir uma aeronave, sobretudo por conta das diferentes exigências de força que cada acrobacia requer. Porém, é plausível assumir que a perda de força do piloto sobre o manche, considerando uma aeronave em condições de emergência aerodinâmica, é significativamente desfavorável para a segurança do voo. Além disso, existe uma relação direta entre a perda de altitude e a falta de força aplicada no manche: quanto menor a força for aplicada no manche, maior a perda de altitude da aeronave em uma recuperação de mergulho vertical. Resumidamente, dependendo da complexidade das manobras acrobáticas, estas exigirão graus diferentes de esforço no manche, resultando em cargas Gz variadas sobre a aeronave/piloto, com diferentes amplitudes da perda de altitude.

De acordo com o manual da aeronave T-27, a força máxima necessária para a sustentação de 6 G(z) - limite de carga gravitacional em condições normais de voo, é de 30 Kg de força (Kgf) (MANUAL EMB, 1984). Em situação de voo invertido, a aeronave pode permanecer nessa posição por um tempo máximo de 30 segundos.

As instruções de voo administradas na AFA envolvem manobras acrobáticas que exigem até 4Gz+ de sobrecarga gravitacional sobre o piloto/cadete. Além disso, em contrações musculares contínuas e prolongadas numa atividade de esforço máximo constante por 30 segundos de preensão manual, é sabido que um indivíduo jovem e sadio pode apresentar uma perda aproximada de 30% da força máxima (ZAGO et al., 2016).

Tecnicamente, considerando as relações diretas entre sobrecargas gravitacionais e as taxas de curva do T-27, onde a força necessária para sustentação da carga Gz máxima em

operação normal (6 vezes a força da gravidade) é de 30 Kgf (MANUAL EMB, 1984) e, também, considerando as observações de Zago et al. (2016), estipula-se como força suficiente a aplicação de 21 Kgf no manche para execução da manobra cabrar, em condições normais de voo.

Assim, associando esses fatores e para atender os objetivos da presente pesquisa, definiu-se a perda de 30% da força máxima em simulador de forças do T-27 (ou seja, força final de 21Kg) como um estado de fadigabilidade muscular periférica para a manobra de cabrar a aeronave. Essa perda induz a uma sensação de exaustão que se faz presente durante ou após a prática de exercício físico, desaparecendo ou sendo aliviada após curto período de repouso (PAVAN et al., 2006).

4.3 Simulador de forças da aeronave Embraer EMB T-27

Considerando que o aumento de carga +Gz ocasiona uma sobrecarga ao ombro e braço direito devido à movimentação do manche, o que pode proporcionar dores e lesões nos pilotos, Bezerra, Shimano e Callegari (2011) iniciaram estudos para 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 (Figura 3).

Figura 3 – Simulador de Forças visão frontal



Fonte: Comunicação Social 1º EIA

Os simuladores de voo são largamente empregados para treinamento de pilotos devido suas inúmeras vantagens, dentre elas redução de custos e de tempo de formação.

O equipamento simula, através de um manche e de um sistema de molas, as forças mecânicas muito próximas às forças reais aplicadas ao manche durante a execução das quatro manobras básicas da aeronave. O sistema é composto de quatro células de carga conectadas a um aquisitor de sinais, que 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 é 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. O equipamento capta os sinais de variação desta tensão aplicada sobre as células de cargas, conectadas às molas, fornecendo um valor de tensão correspondente a esta ação.

Este simulador foi amplamente utilizado na pesquisa intitulada “Análise de Pressão Intracraniana (PIC) por método não invasivo em Aviadores da Força Aérea Brasileira submetidos a aumentos de Gz em vôo e testes de força em simulador”, por meio de apoio institucional (FAPESP n.º 2014 / 21803-7). Parcerias de pesquisa foram realizadas com pesquisadores da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/USP, Instituto de Física de São Carlos / USP, Instituto Tecnológico de Aeronáutica e Centro de Pesquisas Aeroespaciais em

Microgravidade da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, proporcionando grandes possibilidades de estudos na área.

No ano de 2019, o projeto intitulado “Simulador de Força para a aeronave EMB 312 T-27-Tucano” foi desenvolvido com o apoio regular de pesquisa da FAPESP, nº 2005 / 51519-0, objetivando melhorias no equipamento, resultando em uma patente adquirida (Privilégio de Inovação/Número do Registro: 0000220708555664). Em 2020, Bezerra e colaboradores publicaram um artigo cujo objetivo foi descrever o sistema de aquisição de dados implantado para a revitalização do Simulador de Força, para atender as aeronaves T-27 e AT-29.

A construção deste equipamento, portanto, simula as condições ergonômicas compatíveis com a realidade do cockpit da aeronave T-27. Trata-se de importante ferramenta para treinamento, seja a nível coordenativo, sinestésico, postural ou puramente de força muscular do cadete (BEZERRA et al., 2014; BEZERRA et al., 2020).

Diante do exposto, uma vez que a nova revitalização do simulador permite análises gráficas das forças aplicadas ao manche, o simulador foi utilizado na avaliação do tempo de sustentação de cargas importantes para a operacionalidade normal e para a segurança de voo dos cadetes da AFA.

5 MÉTODO

À guisa de informação, e como mencionado anteriormente, a ordem com que o cadete executa as instruções de voo de cada conteúdo é invariável, porém, a progressão nos conteúdos dos voos de instrução é individual e dependente de uma série de fatores intervenientes. Desta forma, os testes aplicados nessa pesquisa, para cada participante, ocorreram em diferentes momentos do ano letivo.

Considerando que as atividades de instrução de voo são perigosas e exigem respeito às ações de prevenção de acidentes e à segurança de voo, os testes foram programados para respeitar as atividades do esquadrão de instrução e provocar mínimas influências na rotina dos cadetes e instrutores. Desta forma, para verificar os efeitos do nono voo de instrução em formatura na força de membro superior direito, foi feita a avaliação inicial (preensão manual e simulador) anteriormente ao início do conteúdo de instrução do voo de formatura (pré-voo). A progressão do cadete nos voos em formatura foi acompanhada, e a avaliação posterior (pós-voo) foi realizada, aplicando-se os mesmos testes, após sua aterrissagem do nono voo de instrução de voo em formatura.

5.1 Desenho Experimental e Procedimentos Éticos

Trata-se de um estudo observacional, de corte transversal, exploratório e descritivo, para investigar a força de preensão manual e a resistência muscular do membro superior direito, durante a execução da manobra cabrar, antes e após voo de instrução específico.

A pesquisa atendeu as orientações expressas na Declaração de Helsinque para desempenho de pesquisas com seres humanos e foi aprovada em comitê de ética em pesquisa sob o protocolo CAAE n. 45797021.9.0000.8928, e aprovada na versão de número 5 em 27/07/2021 (Apêndice 1).

Todos os voluntários oficializaram documentalmente sua participação através da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE; Apêndice 2).

Todos os dados foram coletados por um único avaliador.

5.2 Amostra

Para esta pesquisa, foram convidados a participar do estudo os 114 cadetes matriculados no quarto ano de graduação em Ciências Aeronáuticas da Academia da Força Aérea (AFA), no ano de 2021, sendo que 85 aceitaram fazer parte da pesquisa.

No que se refere à delimitação do escopo, foram adotados os seguintes critérios de inclusão: estar apto e dentro do prazo de validade em inspeção aeromédica para pilotagem aérea; não ultrapassar 30 dias de inatividade em instruções de voo/pilotagem; não apresentar distúrbios ou lesões musculoesqueléticas ou em processo de recuperação das mesmas em período inferior a seis meses.

Foi estimada, através do software Gpower (3.1.94), uma amostragem mínima para esta pesquisa, com base nos valores centrais (média) e de dispersão (desvio padrão), previamente obtidos por Bezerra et al. (2014), e relativos à variável principal deste estudo, a saber, tempo de sustentação de força na manobra cabrar acima de 30 Kg. Considerando os parâmetros de probabilidade para erro do tipo α de 5% e o poder do teste ($1 - \text{probabilidade de erro tipo } \beta$) de 95%, o resultado do cálculo amostral para desenhos experimentais, com uso de testes estatísticos pareados entre duas amostras, demonstrou que a amostragem mínima de seis cadetes seria suficiente para atender as demandas desta pesquisa, com poder estatístico superior a 98%.

5.3 Coleta de dados

5.3.1 Dados antropométricos

As medidas antropométricas foram feitas conforme padronização da ISAK (*International Standards for Anthropometric Assessment*; STEWART et al., 2011) e mensuradas por um único avaliador. A massa corporal (Kg) foi obtida por meio de balança antropométrica mecânica, marca Welmy, devidamente calibrada, com capacidade de 150 Kg e precisão de 100 gramas, estando o indivíduo com o mínimo de roupa possível e sem sapatos. A estatura (m) foi aferida utilizando o estadiômetro acoplado à balança mecânica. O avaliado foi colocado descalço e em posição ereta, corpo encostado na haste metálica, os calcanhares unidos e os pés formando um ângulo de 45°, braços pendentes ao longo do corpo e olhando para o horizonte. Foi calculado o Índice de Massa Corporal (Kg/m^2), por meio da fórmula $\text{IMC} (\text{Kg}/\text{m}^2) = \text{Massa corporal}/\text{estatura}$. O estado nutricional foi classificado utilizando os valores referenciados pela ABESO (2016, pág. 16.).

5.3.2 Força de preensão manual do membro superior direito

A avaliação da força de preensão manual do membro superior direito foi mensurada com o dinamômetro hidráulico de mão, modelo Jamar (Brasil), com medidas em Kg e acurácia de 100 g. Este modelo de dinamômetro manual é largamente utilizado em pesquisas científicas, aceito como padrão ouro para medidas de força, e possui excelente reprodutibilidade inter-testes, $r = 0,80$ (ROBERTS et al., 2011). Desta forma, seu uso é apropriado para investigações que realizam medidas repetidas de força, sendo adequado para as necessidades desta pesquisa.

A avaliação de força foi elaborada a partir da execução de duas tarefas distintas: força de preensão máxima e precisão (acurácia) da força manual, realizadas antes e após FR9.

5.3.2.1 Força de preensão manual máxima (FPMM)

Na tarefa de força de preensão máxima, foi adotado o protocolo da Sociedade Americana de Terapeutas de Mão (ROBERTS et al., 2011): voluntários sentados em cadeira, solas dos pés no chão, largura de membros inferiores acompanhando largura de pelve, ombros aduzidos, cotovelo com flexão relativa de 90° e complexo antebraço-punho com postura neutra e firme, e mão empunhando dinamômetro.

Foram realizadas duas tentativas de preensão manual máxima, com intervalo de um minuto entre tentativas, sendo registrada a tentativa de maior resultado.

5.3.2.2 Precisão da força de preensão manual máxima (PFPM)

A tarefa de precisão da força de preensão manual foi desempenhada posteriormente à obtenção da força de preensão máxima, também adotando o protocolo da Sociedade Americana de Terapeutas de Mão.

Esse teste possui alto coeficiente de confiabilidade ($r = 0,81$) e é difundido na literatura científica como discriminante da independência operacional e da coordenação motora de militares e unidades de operações especiais (RÓŻAŃSKI, et al.; 2020) e de pilotos (TOMCZAK, 2015) e cadetes aviadores submetidos a treinamento de sobrevivência (TOMCZAK et al., 2017).

Nesse teste, o voluntário é instruído a aplicar 50% de sua força de preensão manual máxima no dinamômetro (TOMCZAK et al., 2017), realizando a tarefa de precisão da força manual de forma intuitiva, de modo a tentar ajustar a produção de força para atingir os 50% solicitados. Durante a realização do teste, o dinamômetro não possibilitava leitura da força pelo participante.

Esse procedimento foi realizado uma única vez. Foram analisados os erros de reprodutibilidade das medidas, ou seja, a força realizada em relação à força (50%) que deveria ser aplicada no dinamômetro.

5.3.3 Resistência muscular em simulador de forças da aeronave Embraer EMB T-27

A resistência muscular de membro superior direito foi obtida através de exercício elaborado e executado em simulador de forças inerciais da aeronave Embraer EMB T-27, localizado no 1º Esquadrão de Instrução Aérea da AFA (BEZERRA et al., 2014). O exercício foi projetado para simular pane mecânica em compensador de profundor, exigindo do operador (nesta pesquisa, o cadete) a execução da manobra cabrar (elevar o nariz da aeronave) com força máxima, constante e prolongadamente. O voluntário foi posicionado confortável e ergonomicamente no simulador de forças inerciais, e orientado a realizar a manobra cabrar com a mão direita, de forma constante e com força máxima, obedecendo as ordens do avaliador para execução do exercício. A força aplicada pelo manche foi registrada pelo software do próprio equipamento, com frequência de amostragem de 5Hz e acurácia de 100 g. O procedimento foi repetido uma única vez.

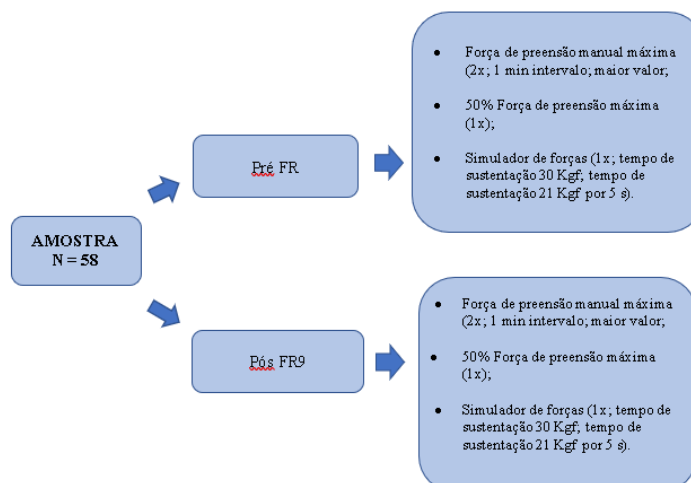
Para avaliar a resistência muscular, foi considerada uma série de dados temporais em dois momentos distintos: o primeiro, referente ao tempo entre o início da tentativa e o primeiro instante em que o avaliado manteve a força máxima na manobra cabrar abaixo de 30 Kg (t30). A movimentação do manche do T-27 para realização da manobra cabrar, no seu limite máximo de percurso (isto é, o batente do manche), é calibrada para transferir 30 Kg de força para a aeronave, e reflete cargas inerciais provocadas por manobras que empregam seis vezes a carga gravitacional (6Gz+) (BRASIL, 1984). Portanto, nesse momento, foi verificado a capacidade temporal do sujeito em manter força superior à do limite operacional da aeronave.

Já o segundo registro referiu-se ao intervalo de tempo entre o início da tentativa e o primeiro instante em que o participante manteve sua força máxima na manobra cabrar abaixo de 21 Kg (t21). Ao atingir esse valor, a sustentação de força foi registrada durante cinco segundos.

Os valores de 30 e 21 Kg foram definidos com base nas especificações técnicas da aeronave Embraer EMB T-27 Tucano e segundo Zago et al. (2016), respectivamente, conforme anteriormente mencionado. Assim, estabeleceu-se a perda de 30% da força exercida no manche do simulador (ou seja, força final de 21Kg) como fadiga muscular periférica para pilotar a aeronave T-27.

A avaliação no simulador foi feita antes e após FR9. Considerando este voo, o teste no simulador foi aplicado num intervalo aproximado de 15 minutos entre a finalização do voo e a realização da avaliação, em decorrência de determinados procedimentos operacionais que o piloto deve obedecer sempre que finaliza um voo/missão. A Figura 4 exemplifica o desenho do estudo.

Figura 4 - Desenho do estudo



Fonte: O autor

5.4 Tratamento e análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise descritiva. Em seguida, foi realizado o teste Kolmogorov-Smirnov com correção de Lilliefors para verificação da normalidade dos dados. A confiabilidade das medidas foi avaliada por meio do coeficiente de correlação intraclasse (CCI) calculado para as duas tentativas de cada teste, com um intervalo de confiança de 95%. Para verificar diferenças nos resultados em cada um dos testes de força foi utilizado o teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas. A correlação de Spearman foi utilizada para verificar as relações entre as diferentes medidas de força. Para comparar os valores de força obtidos nos diferentes instantes (pré e pós voo) foi utilizado o teste de McNemar para amostras pareadas. O tamanho do efeito (d de Cohen) foi utilizado para quantificar o tamanho da diferença entre os dois momentos de avaliação. Em todas as análises foram determinados índices de significância de α igual a 95%. Os testes estatísticos foram realizados através de software estatístico JASP (0.16.1).

6 RESULTADOS

Do total de 114 cadetes aviadores matriculados no quarto ano da AFA, em 2021, obteve-se uma amostra de conveniência formada por 58 voluntários, sendo 56 homens e 02 mulheres. Devido ao reduzido número de mulheres, as análises foram feitas considerando um grupo único (58 sujeitos). A Tabela 1 apresenta os dados de caracterização dos participantes.

Tabela 1- Caracterização etária e antropométrica da amostra de cadetes da AFA.

Variáveis	Média	DP	Mínimo	Máximo
Idade [anos]	22,47	± 1,03	21	25
Massa Corporal [Kg]	74,63	± 8,32	60,4	92,9
Estatura [m]	1,75	± 0,06	1,64	1,89
Índice Massa Corporal [Kg/m ²]	24,22	± 1,98	17,46	26,2

DP = desvio padrão

Fonte: O autor

A classificação do índice de massa corporal, categoriza os participantes como eutróficos, segundo a ABESO (2016).

As Tabelas 2 a 8 apresentam os resultados relativos ao pré-FR9. A Tabela 2 apresenta os valores médios da força de preensão manual máxima, de 50% deste valor e do erro na reprodução da mesma. A diferença da média de força variou aproximadamente 1 Kg.

Tabela 2 - Resultados de força de preensão manual (máxima; 50% e erro de acurácia) de cadetes da AFA, pré-FR9.

Variáveis	Média	DP	Mínimo	Máximo
Preensão manual máxima [Kg]	48,72	± 6,74	48	55
50% preensão manual máxima [Kg]	26,69	± 8,40	17	26
Erro 50% Preensão Manual Máxima [Kg]	-2,33	± 7,11	-8	5

DP = desvio padrão (Kg)

Fonte: O autor

A Tabela 3 apresenta os resultados do tempo de sustentação de força obtidos no simulador do T-27. Observa-se que o tempo de sustentação de força máxima considerando 30Kg é inferior à um minuto.

Tabela 3 - Tempo de sustentação de força no simulador de forças do T-27, pré-FR9.

Variáveis	Média	DP	Mínimo	Máximo
Força > 30Kg [s]	43,12	± 34,65	9	79
Força > 21Kg [s]	128,04	± 27,70	120	158
30Kg > Força > 21Kg [s]	84,91	± 46,69	38	132

DP = desvio padrão; s = segundos; DP = desvio padrão

Fonte: O autor

A Tabela 4 mostra que, após 45 segundos, mais da metade dos cadetes (33 cadetes) não mantiveram a força máxima de 30 Kg e que, em dois minutos, essa quantidade aumenta para 98% dos cadetes.

Tabela 4 - Tempo de sustentação de força de 30Kg, em simulador de forças do T-27, pré-FR9.

30 Kg			n = 58
Tempo (s)	Acima / Abaixo	(%)	
15	38 / 20	(65,5 / 34,5)	
30	32 / 26	(55,2 / 44,8)	
45	25 / 33	(43,1 / 56,9)	
60	16 / 42	(27,6 / 72,4)	
75	10 / 48	(17,2 / 82,8)	
90	8 / 50	(13,8 / 86,2)	
105	5 / 53	(8,6 / 91,4)	
120	1 / 57	(1,7 / 98,3)	
135	0 / 58	(0,0 / 100,0)	

Fonte: O autor

A Tabela 5 apresenta o tempo, em segundos, para sustentação de força de 21 Kg, no simulador. Observa-se que, em 2 minutos, apenas 58% dos cadetes conseguem sustentar 21 Kg de força, na manobra cabrar. Em 3 minutos, somente, 5,2% dos cadetes ainda estão aplicando força acima de 21 Kg.

Tabela 5 - Tempo de sustentação de força de 21Kg em simulador de forças do T-27, pré-FR9.

21 Kg		N = 58
Tempo (s)	Acima / Abaixo	(%)
75	57 / 1	(98,3/1,7)
90	56 / 2	(96,6/3,4)
105	49 / 9	(84,5/15,5)
120	34 / 24	(58,6/41,4)
135	14 / 44	(24,1/75,9)
150	11 / 47	(19,0/81,0)
165	8 / 50	(13,8/86,2)
180	3 / 55	(5,2/94,8)
195	2 / 56	(3,4/96,6)
210	0 / 58	(0,0 /100,0)
225	0 / 58	(0,0 /100,0)
240	0 / 58	(0,0 /100,0)

Fonte: O autor

Nas Tabelas 6, 7 e 8, são mostrados os resultados dos testes realizados com o objetivo de verificar possíveis correlações entre a preensão manual máxima e o tempo de sustentação de força de membro superior direito, no simulador, no movimento de cabrar (maior do que 30, maior do que 21 e entre 21 e 30 Kg), pré-FR9.

Tabela 6 - Relações entre preensão manual e sustentação de força no simulador do T-27 para força superior a 30 Kg, pré-FR9.

Variáveis	Coef p	Intervalo de confiança	p
Preensão Manual Máxima [Kg]	-0,12	-0,29:0,22	0,36
50% Preensão Manual Máxima [Kg]	-0,11	-0,39:0,12	0,40
Erro 50% preensão manual máxima [Kg]	0,12	-0,11:0,39	0,37

p < 0,05

Fonte: O autor

Tabela 7 - Relações entre preensão manual e sustentação de força no simulador do T-27 para força superior a 21 Kg, pré-FR9.

Variáveis	Coef <i>p</i>	Intervalo de confiança	<i>p</i>
Preensão Manual Máxima [Kg]	0,26	-0,06:0,44	0,05
50% Preensão Manual Máxima [Kg]	0,05	-0,17:0,34	0,72
Erro 50% Preensão Manual Máxima [Kg]	0,02	-0,27:0,2	0,89

p < 0,05

Fonte: O autor

Tabela 8 - Relações entre preensão manual e sustentação de força no simulador do T-27 para força entre 21 e 30 Kg, pré-FR9.

Variáveis	Coef <i>p</i>	Intervalo de confiança	<i>p</i>
Preensão Manual Máxima [Kg]	0,14	-0,11:0,39	0,29
50% Preensão Manual Máxima [Kg]	0,11	-0,10:0,40	0,41
Erro 50% Preensão Manual Máxima [Kg]	-0,13	-0,36:0,15	0,34

p < 0,05

Fonte: O autor

A correlação de Spearman não evidenciou relação significativa entre as variáveis consideradas, conforme valores de *p*, expostos nas Tabelas 6 a 8.

Era esperado que os valores de força de preensão manual e aqueles obtidos no simulador, após o FR9, fossem menores em relação às avaliações prévias, o que de fato ocorreu. Assim, as tabelas seguintes mostram os resultados comparando-se o antes e depois do FR9 para as variáveis consideradas.

Na Tabela 9 buscou-se as diferenças entre as medidas do pré e pós FR9 através do teste não paramétrico de Wilcoxon. Observou-se que apenas o tempo de sustentação de 30 Kg no simulador até decair para 21 Kg e o erro em reproduzir 50% da força de preensão manual máxima não foram significativos. As variáveis força maior do que 30 Kg, força maior do que 21 Kg e preensão manual máxima foram significativas quanto ao FR9.

Tabela 9 - Diferenças médias, intervalos de confiança, valores de p e tamanho do efeito relativos ao efeito do FR9 na resistência muscular do membro superior direito e na preensão manual.

Variáveis	Diferença Média	[Inferior: Superior]	p	Tamanho do Efeito
Força > 30Kg [s]	22,88	[11,33 : 34,43]	<0,01*	0,52
Força > 21Kg [s]	29,80	[20,47 : 39,13]	<0,01*	0,84
30Kg > Força > 21Kg [s]	6,92	[-8,36 : 22,20]	0,37	0,12
Preensão Manual Máx. [Kg]	4,52	[2,66 : 6,38]	0,01*	0,64
50% Preensão Manual Máx. [Kg]	3,14	[0,52 : 5,76]	0,02*	0,32
Erro 50% Preensão Manual Máxima [Kg]	-0,88	[-3,20 : 1,44]	0,45	-0,10

*Significativo para $p < 0,05$; s = segundos

Fonte: O autor

Foi verificado que há efeito negativo do FR9 no tempo de sustentação da força, tendo em vista que a diferença para manter força acima de 30 Kg foi de 22,88 segundos (perda). Outro dado importante pode ser observado na força acima de 21 Kg, onde houve diferença significativa (aproximadamente 30 s de perda). Na preensão manual, a força máxima teve diferença média de 4,52 Kg, indicando significativa redução. Quando considerado o teste de acurácia de 50 %, a redução foi de 3,14 Kg.

Ainda buscando verificar o efeito do FR9, dessa vez ao longo do tempo, foi realizado o teste de comparação com variáveis categóricas (Teste de McNemar) com medidas nominais e, além disso, também foi calculada a razão de prevalência. Valores de desempenho foram definidos para a manutenção de força acima de 30 Kg, conforme Tabela 10, com classificações a cada 15 segundos. Pelo número de indivíduos que obtiveram resultados acima ou abaixo de 30 Kg em cada intervalo de tempo, a combinação é traduzida pelo “p”, ou seja, valor menor do que 0,05 indica combinação.

Tabela 10: Efeito do voo FR9 no perfil de manutenção de força de 30 Kg no simulador do T-27 em relação ao tempo.

Tempo (s)	Pré voo	Pós voo	X^2	p	Razão de Prevalência
15	38 / 20	57 / 1	15,43	<0,01 *	0,1
30	32 / 26	12 / 46	11,28	<0,01 *	1,8
45	25 / 33	6 / 32	11,17	<0,01 *	1,6
60	16 / 42	5 / 53	5,26	0,02 *	1,3
75	10 / 48	3 / 55	2,77	0,10	1,2
90	8 / 50	1 / 57	4,00	0,05 *	1,1
105	5 / 53	0 / 58			
120	1 / 57	0 / 58			
135	0 / 58	0 / 58			

X^2 = qui quadrado; *Significativo para $p < 0,05$.

Fonte: O autor

Na Tabela 10, a razão de prevalência indica a chance de se manter acima do esforço de 30 Kg. Quando considerada a força de 30 Kg, a razão de prevalência varia de 1,1 a 1,8. Verifica-se que, a partir de 30 segundos, há mais cadetes que não conseguem manter sua força de membro superior acima de 30 Kg após o voo, em comparação aos índices pré-FR9. Esse efeito persiste majoritariamente até os 90 segundos. Além disso, verificou-se que as exigências de força de membro superior direito do FR9 aumentam a taxa de pilotos que não mantêm o nível de força necessário em até 1,8 vezes.

Considerando ainda os testes realizados após o voo e antes do voo, pode-se observar aumento de chances de ocorrência de força abaixo do esperado.

Na Tabela 11, pode ser observado os resultados obtidos para a força útil (21 Kg), ou seja, a prevalência de se manter acima desse esforço.

Tabela 11: Efeito do voo FR9 no perfil de manutenção de força de 21 Kg no simulador do T-27, em relação ao tempo.

Tempo (s)	Pré voo	Pós voo	X ²	p	Razão de Prevalência
45	58 / 0	58 / 0			
60	58 / 0	55 / 3			
75	57 / 1	51 / 7	3,13	0,08	7,0
90	56 / 2	33/25	17,93	<0,01 *	12,5
105	49 / 9	22/36	19,31	<0,01 *	4,0
120	34/24	8 / 50	17,36	<0,01 *	2,1
135	14/44	4 / 54	4,50	0,02 *	1,2
150	11 /47	2 / 56	4,92	0,03 *	1,2
165	8 / 50	1/ 57	4,00	0,05 *	1,1
180	3 / 55	0 / 58			
195	2 / 56	0 / 58			

X²= qui quadrado; *Significativo para p < 0,05.

Fonte: O autor

Como pode ser observado na tabela acima, após 90 segundos de teste no simulador, a ocorrência de força menor do que 21 Kg tem 12,5 mais chances de ocorrer entre os cadetes.

7 DISCUSSÃO

O objetivo do estudo foi verificar os efeitos do FR9 sobre a fadigabilidade muscular isométrica localizada de membro superior direito dos cadetes da AFA, uma temática importante para o desenvolvimento e otimização das atividades aéreas.

A fadiga muscular é um processo contínuo, fisiologicamente complexo, caracterizado pela diminuição da capacidade do tecido muscular gerar e manter a contração, podendo ser de origem central e periférica (KENT-BRAUN, 2009).

A instalação da fadiga periférica relaciona-se com alterações no próprio tecido muscular,

devido à redução da velocidade de condução nervosa devido, provavelmente, a alterações no fluxo sanguíneo, aumento da acidose muscular, diminuição da concentração extracelular de sódio plasmático (Na⁺) e acúmulo de íons extracelulares de potássio (K⁺) (ALLEN, LAMB & WESTERBLAD, 2008).

A partir dos resultados, a discussão enfocará a questão da fadiga muscular periférica e o efeito do voo de FR9 sobre a força muscular de membro superior direito em relação à segurança operacional.

7.1 Caracterização da fadiga muscular isométrica localizada de membro superior direito de cadetes da FAB e suas implicações para a segurança

No presente estudo verificamos um comportamento de fatigabilidade muscular no membro superior direito dos cadetes quando submetidos a esforço isométrico sustentado. Adultos jovens submetidos a este tipo de esforço apresentaram queda nos padrões de força (conforme observado na força de preensão manual, por exemplo) que foi exponencial ao longo do tempo. Esse padrão de perda de força isométrica já foi constatado em exercícios realizados por membros superiores de atletas em estudos prévios (FRANCHINI et al., 2011).

Em outro estudo, realizado com 16 adultos jovens atletas/militares (YI et al., 2018) foi revelado que há uma perda de força muscular quando realizada a extensão dos membros superiores. Sendo assim, o padrão de fatigabilidade de membro superior dos cadetes do presente estudo é similar ao comportamento de fatigabilidade de musculaturas de membro superior verificados em jovens saudáveis, atletas e militares.

A fatigabilidade da força muscular de membro superior dos cadetes da FAB foi verificada em outro estudo prévio: utilizando simulador de forças, os autores verificaram a fadiga na execução de quatro manobras distintas, entre elas o cabrar (BEZERRA et al., 2014). O interstício entre os estudos foi de 6 anos, porém, os resultados são similares. Essa proximidade dos resultados indica a previsibilidade da rotina dos cadetes considerando o treinamento físico.

É consenso que a doutrina militar aplicada em colégios e academias militares exige adaptações físicas, cognitivas e emocionais dos discentes devido à necessidade da função militar (CONTE et al., 2010). Através da comparação do presente estudo ao de Bezerra e colaboradores, é possível verificar que a doutrina militar adotada na AFA pelo período de três anos (treinamento físicos, nutrição, exercícios operacionais) é capaz de proporcionar padrão semelhante ao desempenho de fatigabilidade muscular isométrica localizada no membro superior dos cadetes.

Neste contexto de padrão de desempenho dos cadetes, os resultados sobre o tempo útil de força aplicado no manche em situação de emergência ser de aproximadamente 1 min e 45s torna-se uma informação valiosa, que traz muitas reflexões a respeito da segurança de voo.

A manobra de cabrar é imprescindível na pilotagem, pois através dela é possível reduzir a taxa de perda de altitude da aeronave em situações de emergência e realizar manobras de aproveitamento da energia acumulada durante um mergulho para ganhar altitude.

Manter a aeronave em voo é a primeira necessidade para que o piloto possa avaliar o cenário após uma falha ou incidente. É interessante que haja tempo hábil para decidir sobre: o abandono da aeronave, posição ideal de ejeção (não é recomendável ejetar-se em posição invertida ou com a aeronave em rotações no seu próprio eixo longitudinal), e ter altitude mínima necessária para ejeção. O manual da aeronave sugere que uma ejeção com sucesso tem maiores chances de ocorrer acima de 2000 pés de altura (aproximadamente 600 metros), e há consenso que em maiores altitudes a probabilidade de correta execução dos procedimentos e de sobrevivência do tripulante são aumentadas (NEWMAN, 2013).

Todos os voos de instrução na AFA ocorrem, obrigatoriamente, acima de 4000 ft de altura (deck), ou seja, existe uma sobra de 2000 pés de altura em relação à altura sugerida pelos manuais. Considerando a força útil obtida no presente estudo, pode ser que essa margem de segurança não seja suficiente para a execução dos procedimentos em caso de mergulho vertical descendente em uma falha ocorrida em altura próxima ao “deck”.

É importante para a segurança de voo que o cadete tenha condições musculares suficientes para manter o controle da aeronave pelo maior tempo possível em situações de emergência.

Como forma de demonstrar a importância de cabrar uma aeronave em situações de emergência, podemos raciocinar com uma falha no sistema de compensação da aeronave: funciona como a direção hidráulica de um veículo, reduzindo a força necessária para a execução dos movimentos. É imprescindível que o cadete seja capaz de sustentar a aeronave pelo menos em voo nivelado, aproveitando alguma pista de emergência ou o campo de pouso da AFA, para um pouso em segurança. Em acidentes anteriores, após falha no sistema de compensação da aeronave, o tempo de voo antes da colisão com o solo foi inferior a 2 minutos (BRASIL, 2007).

Desta forma, combinando os resultados com os parâmetros de segurança, é necessário considerar a força muscular do cadete como fator de influência sobre a segurança de voo.

7.2 Caracterização do efeito do voo de FR9 sobre a fadiga muscular isométrica localizada de membro superior direito de cadetes da FAB e suas implicações para a segurança

O voo FR9 promoveu evidente degradação da capacidade de sustentação de força isométrica nos cadetes, caracterizando uma fatigabilidade mais acelerada.

Essa missão possui exercícios que exigem bastante fisicamente do piloto. Além do esforço e atenção necessários para a manutenção da aeronave na posição correta em relação à aeronave do líder, as três fases do voo possuem momentos em que a carga Gz é elevada. 20 % das manobras e acrobacias podem atingir fatores de carga iguais ou maiores de 3Gz+ (Looping, , meio oito cubano, immelmann, reversões). Nas acrobacias na ala e ataque 2, durante a maior parte do tempo, o fator de carga está acima de 2Gz+. O tempo médio sob ação de carga G acima de 2 pode chegar a 10 s, com intervalos de recuperação, em média, de 25 a 30 s. Portanto, este voo de instrução combina manobras sucessivas com pouco intervalo de descanso muscular, associados à grandes variações de carga Gz.

Em estudo realizado com pilotos da Alemanha, com faixa etária média de 23 anos, foi realizado exercício de força isométrica em uma centrífuga, com variações controladas de carga Gz (GUARDIERA et al., 2007). Os resultados do estudo indicaram que a partir de 3 Gz+, os pilotos perderam força no manche e também de coordenação de força.

Além disso, conforme estudo prévio, a execução de esforço repetitivo pode provocar fadiga muscular, inclusive no membro superior, dificultando a aprendizagem (NASCIMENTO, 1986).

Sendo assim, concluímos que a combinação de esforço muscular repetido pelas sucessivas manobras do voo FR9 associada às recorrentes alterações de carga Gz promovidas podem implicar em grandes exigências musculares nos cadetes durante a realização do voo de instrução. Por esse motivo os dados coletados imediatamente após o voo FR9 apresentaram perda de esforço útil no simulador de forças.

A partir deste cenário, a discussão realizada anteriormente a respeito de segurança de voo fica mais dramatizada, visto que os riscos podem ser agravados. No caso das repetições das manobras e acrobacias durante a missão FR9, não existe o número exato de repetições que podem ser realizadas por cada cadete durante a instrução. Também não consta nos manuais o tempo necessário entre as manobras/acrobacias para que não haja prejuízo à execução por motivo de fadiga, um interstício de segurança para cansaço muscular.

Estes pontos podem ser melhorados adotando padrões preestabelecidos para recuperação muscular do cadete antes de uma nova execução (caso o nível da missão permita).

Um parâmetro fixo de limite de repetições com intervalo entre elas poderia padronizar ainda mais os graus e o prosseguimento no curso avançado.

Considerando que a doutrina militar padroniza o desempenho dos cadetes, e que o desempenho quanto à fatigabilidade esteja satisfatório, porém passível de otimização, seria importante que novas medidas fossem implementadas para auxiliar neste quesito. Já foi realizado estudo prévio com treinamento muscular específico para força de pilotagem da aeronave T-27 Tucano, voltado para membros superiores (BEZERRA et al., 2014) com benefícios para este tipo de fatigabilidade.

O cadete aviador está no início de sua vida operacional. Além de facilitar a aprendizagem durante o curso avançado na AFA, o legado do treinamento teria aplicabilidade para o resto da carreira nas diferentes aviações após o período de formação. É de fundamental importância que os treinamentos físicos dos cadetes contemplem questões de sustentação de força dos membros superiores.

8 CONCLUSÃO

Os resultados permitem concluir que, descansados, os cadetes apresentam em média tempo de fatigabilidade de 127 segundos. Porém, esse grupo demonstrou que, em 105 segundos, mais de 95% dos cadetes não sustentam a força útil para reverter o posicionamento da aeronave em mergulho vertical. Nessa condição, a aeronave tende a aumentar sua velocidade progressivamente. A força útil foi considerada como 70% da força máxima obtida nos cadetes descansados.

Além disso, os resultados mostraram que o FR9 implica grandes esforços musculares nos cadetes, prejudicando o desempenho no que diz respeito à fatigabilidade.

9 RECOMENDAÇÕES

Existe uma grande preocupação do Comando da Aeronáutica (COMAER) em aperfeiçoar os critérios de avaliação de condicionamento físico e os métodos de treinamento, com o objetivo de melhor preparar fisicamente os militares da Força Aérea Brasileira para o exercício das atividades.

Como produto deste estudo serão geradas informações úteis sobre as condições e as necessidades físicas específicas do cadete aviador, além de subsidiar propostas intervencionistas na rotina dos cadetes e instrutores, na preparação do PPC (Projeto Pedagógico

de Curso) do ano de 2023, documento que rege o ensino e avaliação dentro da Academia da Força Aérea.

Tais informações também serão consideradas pelo Grupo de Estudos coordenado pela Comissão de Desportos da Aeronáutica (CDA) para a atualização da NSCA 54-5 (Norma de Serviço do Comando da Aeronáutica), documento que rege o treinamento e avaliação do condicionamento físico de todos os militares da Força Aérea Brasileira.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiol Rev**, v. 88, n. 1, p. 287–233, jan. 2008.
- AUGUSTO, T.; BEZERRA, R.; SHIMANO, A. C. Análise da Força Isométrica em cadetes da Força Aérea Brasileira em Simulador de Forças da Aeronave EMB-312 T-27. **Revista Conexão Sipaer**, Brasília. v. 2, n. 2, p. 45, maio 2011.
- BERNARDES, C. R. **Simulação de Aviônicos de Navegação Aérea com Aplicação ao T-27**. 1994. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo, 1994.
- BEZERRA, T. A. R.; SHIMANO, A. C.; CAMPOS, F. A. D. Analysis of the forces exerted in flight by Aviator Cadets of the Brazilian Air Force. **Aviation in Focus-Journal of Aeronautical Sciences**, v. 5, n. 2, p. 61-67, 2014.
- BEZERRA, T. A. R. *et al.* Data Acquisition System for Revitalization of Aircraft EMB 312 T-27 and AT-29 Force Simulator. **Int J Astronaut Aeronautical Eng**, v.5, n. 039, 2020.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Ensino, Academia da Força Aérea, 1º Esquadrão de Instrução Aérea, Manual de Procedimentos. Divisão de Operações Aéreas. 2021.
- MANUAL EMB. Normas técnicas da Aeronave Embraer T-27. Rio de Janeiro: Força Aérea Brasileira; 1984.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Relatório final A-006/Cenipa, 2007.
- CABRAL, L. *et al.* A Systematic Review of Cross-Cultural Adaptation and Validation of Borg's Rating of Perceived Exertion Scale. **Journal of Physical Education**, 2017.
- CONTE, L.K. Fisiologia da Fadiga, suas implicações na saúde do Aviador e na segurança da Aviação **Revista Conexão Sipaer**. v. 2, n. 1, nov. 2010.
- CUNHA, C. E. D. O voo com NVG e a fadiga. **Revista da Unifa**, Rio de Janeiro. v. 19, n. 22, p. 29-40. 2007.
- CUSCHIERI, S. The Strobe guidelines. **Saudi Journal of Anaesthesia**, v. 13, n. 5, p. 31-34, 2019.
- EIKEN, O. Intraocular pressure and cerebral oxygenation during prolonged headward acceleration. **European Journal of Applied Physiology**, v. 117, n. 1, p. 61–72, 2017.
- ENOKA, R. M.; DUCHATEAU, J. Muscle fatigue: What, why and how it influences muscle function. **Journal of Physiology**, v. 586, n. 1, p. 11–23, 2008.
- FRANCHINI, E. *et al.* Teste de resistência de força isométrica e dinâmica na barra com o judogi. In: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CIENCIA DEL DEPORTE, 3., 2004, Valencia, Madrid. **Anais** [...]. Valencia, Madrid: [s. n.], 2004. Disponível em:

<http://www.unex.es/eweb/cienciadeporte/congreso/04%20val/pdf/C121.pdf>. 2011. Acesso em: 24 nov 2021.

GUARDIERA, S. *et al.* Acceleration effects on manual performance with isometric and displacement joysticks. **Aviation Space Environ Med**, v. 78, n. 10, p. 990 – 994, 2007

HUNTER, S. K.; ENOKA, R. Changes in muscle activation can prolong the endurance time of a submaximal isometric contraction in humans. Massachusetts. **Journal of Applied Physiology**, v. 94, p. 108-118, 2003.

KENT-BRAUN J. A. Skeletal Muscle Fatigue in Old Age. **Exerc Sport Sci Rev**; v. 37, n. 1, p. 3–9, 2009.

KNICKER, A. J. *et al.* Interactive processes link the multiple symptoms of fatigue in sport competition. **Sports Medicine**, v. 41, n. 4, p. 307–328, 2011.

NASCIMENTO, J. V. A influência da fadiga muscular de membros superiores na estabilidade manual. **Kinesis**, v. 2, n. 2, jul./dez. 1986. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/kinesis/article/view/10259>. Acesso em: 24 nov 2021.

ÖZKAYA, N. *et al.* Applications of Statics to Biomechanics. **Fundamentals of Biomechanics**. Springer, Cham. 2017, p. 101–139. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-44738-4_5 . Acesso em: 24 nov 2021.

PAVAN, K. *et al.* Avaliação da fatigabilidade em pacientes com esclerose múltipla através do dinamômetro manual. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**. v. 64, n. 2a, p. 283-286. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0004-282X2006000200020>. Acesso em: 24 mar. 2022

RINTALA, H. Relationships between physical fitness, demands of flight duty, and musculoskeletal symptoms among military pilots. **Military Medicine**, v. 180, n. 12, p. 1233–1238, 2015.

ROBERTS, H. C. *et al.* A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: towards a standardised approach. **Age and ageing**, v. 40, n. 4, p. 423-429, 2011.

ROZANSKI, P.; JÓWKO, E; TOMCZAK, A. Assessment of levels of oxidative stress, muscle damage, and psychomotor abilities of special force soldiers during military survival training. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 13, p. 1-10, 2020.

SÁ, G. B., SCHULTZ, A. **Aviação de combate: condição física e autonômica cardiovascular**. Rio de Janeiro: Novas Edições Acadêmicas, 2016. 113p.

STEWART, A. *et al.* **International standards for anthropometric assessment**. Lower Hutt: ISAK, 2011.

TOMCZAK, A. Coordination motor skills of military pilots subjected to survival training. **The Journal of Strength & Conditioning Research**. v. 29, n. 9, p. 2460-2464, 2015.

TOMCZAK, A.; DABROWSKI, J.; MIKULSKI, T. Psychomotor performance of Polish Air Force cadets after 36 hours of survival training. **Annals of agricultural and environmental medicine**, v. 24, n. 3, p. 387-391, 2017.

ZAGO, N. N. *et al.* Análise da força sustentada de preensão palmar em homens e mulheres por meio de dinamômetro eletrônico. *In*: ANAIS DO SIMPÓSIO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 2016, Campinas, Galoá. **Anais [...]**. Campinas, Galoá: [*s. n.*], 2016. Disponível em: <https://proceedings.science/seb-2016/papers/analise-da-forca-sustentada-de-preensao-palmar-em-homens-e-mulheres-por-meio-de-dinamometro-eletronico>. Acesso em: 13 mar. 2022.

11 APÊNDICES

APÊNDICE A - Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado(a) como voluntário para participar de uma pesquisa intitulada: “Influência do Voo com Manobras Acrobáticas e em Formatura sobre a Preensão Manual de Cadetes da Aeronáutica e relações com o Esforço Muscular de Membro Superior em simulador de forças do T-27” realizada na Universidade da Força Aérea (UNIFA) através do Programa de Pós-graduação em Desempenho Humano Operacional (PPGDHO).

O objetivo deste trabalho é verificar possíveis influencia do voo sobre o desempenho muscular de membros superiores pilotos /cadetes. Este estudo é importante pois através dele poderemos identificar desempenhos musculares médios e possíveis relações com a instrução de voo e para, futuramente, poder orientar o desenvolvimento de normativas de voo.

As avaliações que envolvem o estudo são: antropometria; desempenho muscular de membros superiores e desempenho de instrução. Além disso, há questionários sobre anamnese, intensidade de dor, intensidade de esforço físico, sintomas osteomusculares, e resultados sobre o TACF.

Como os esforços físicos são alternados e espaçados, considerar-se que os riscos para os voluntários são mínimos, se restringindo a possíveis desconfortos musculares tardios. Para exemplificar que esta avaliação promove risco mínimo à saúde física, os pilotos/cadetes em atividades de voo possuem aptidão na junta de saúde e em testes físicos (TACF). Logo, os esforço exigidos pela a avaliação deste estudo são confortáveis para sujeitos fisicamente ativos pois trata-se de mecanismos de avaliação de força muscular ou subjetivos por questionário. Quanto aos riscos biológicos, os protocolos de biossegurança serão adotados conforme os regimentos da própria instituição. Além disso, os dados NÃO são divulgados de forma identificada e individualizada, portanto, garantindo sigilo. Contudo, diante de eventuais danos comprovadamente provocados pela pesquisa, você poderá solicitar indenização, de acordo com a legislação vigente da resolução CNS 466/2012, Item IV.3/Item V.7.

Esclarecemos que sua participação é voluntariada e não gerará bônus a você. No entanto, os resultados permitirão a compreensão do objetivo proposto bem como sugerir medidas aplicáveis quanto a segurança e operacionalidade de voo. O mais importante é que você tem liberdade de desistir ou retirar seu consentimento do estudo a qualquer hora sem geração de ônus. Ressaltamos que sua participação é anônima, seus dados serão mantidos em sigilo, e que serão inseridos em banco de dados de forma que os resultados do estudo serão divulgados sem exposição particularizada dos voluntários. Esclareço ainda que você não receberá nenhum pagamento pela sua participação neste estudo.

Caso surjam dúvidas sobre o estudo e sua participação você nos encontrará pelos seguintes contatos: percivalcalvo.fab@gmail.com ou (21) 2157-2974. Além disso, caso você julgue necessário, você pode se esclarecer também pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Hospital de Força Aérea de São Paulo pelo telefone (11) 2224-7132 ou através do seguinte endereço: Av Olavo Fontoura, nº 1400, Alameda dos Genipapos, s/n, Prédio do Núcleo Científico, Sala CEP HFASP.

Termo de compromisso do pesquisador

Garanto que este Termo de Consentimento será seguido e que responderei a quaisquer questões colocadas pelo participante.

_____ pesquisador

Consentimento de participação da Pesquisa

Após ter sido esclarecido sobre os objetivos, importância e o modo como os dados serão coletados nessa pesquisa, além de conhecer os riscos, desconfortos e benefícios que ela trará para mim e ter ficado ciente de todos os meus direitos, concordo em participar desta pesquisa e autorizo a divulgação das informações por mim fornecidas em congressos e/ou publicações científicas desde que nenhum dado possa me identificar. Você concorda em participar desta pesquisa?

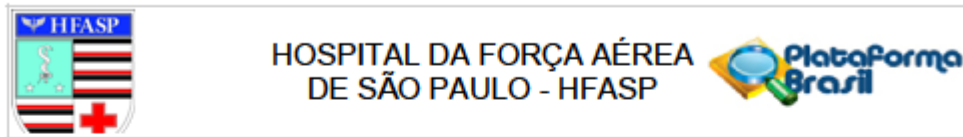
Sim

Não

_____, ____ de _____ de ____.

Assinatura do participante

APÊNDICE B - Parecer do Consubstanciado do CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: Influência do Voo com Manobras Acrobáticas e em Formatura sobre a Preensão Manual de Cadetes e Pilotos da Aeronáutica e relações com o Esforço Muscular de Membro Superior em simulador de forças da aeronave T-27

Pesquisador: ADRIANO PC CALVO

Área Temática:

Versão: 5

CAAE: 45797021.9.0000.8928

Instituição Proponente: COMANDO DA AERONAUTICA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.873.436

Apresentação do Projeto:

"A força muscular é responsável pela geração de movimentos voluntários, bem como pela estabilização corporal, tendo sua origem na tensão ou contração do tecido muscular (Özkaya et al. 2017). O tecido muscular pode apresentar fadiga, que pode ser entendida como a impossibilidade momentânea de produção de força muscular máxima pelo mesmo, devido a suas condições metabólicas e/ou estruturais (Enoka e Duchateau 2008). Na prática, a fadiga muscular é acompanhada de perda de desempenho físico e motor, prejudicando a execução bem sucedida de atividades rotineiras e esportivas (Knicker et al. 2011). Portanto, é notável que atividades que imponham sobrecargas extenuantes sobre as musculaturas contribuam com a fadiga muscular do indivíduo. Pilotos são submetidos a grandes cargas gravitacionais (Carga G; Gz), oriundas de manobras realizadas em aeronaves de combate (Eiken et al. 2007), promovendo grandes desgastes físicos, inclusive a fadiga de voo. A fadiga de voo é caracterizada por esgotamento físico em detrimento da atividade aeroespacial. Esta atividade causa respostas motoras lentas e atrasadas, erros nas tomadas de decisão e perda de confiança. Tais ocorrências comprometem a operacionalidade e prejudica a segurança de voo (Cunha 2007). Em geral, os fatores que influenciam a fadiga de voo nos pilotos são: volume e ponderação de atividades múltiplas (física, mental e/ou sensorial) e a qualidade de recuperação e/ou descanso em função do tipo de fadiga (aguda, acumulativa ou crônica) (Cunha 2007). Restringindo essa compreensão apenas às questões

Endereço: Av Otavo Fontoura, nº 1400, Alameda dos Genípagos, s/n, Prédio do Núcleo Científico, Sala CEP HFASP
Bairro: Santana **CEP:** 02.012-021
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)2224-7132 **E-mail:** cephfasp@gmail.com