

## **Tempo de força de prensão no simulador de aeronaves Tucano T-27 não depende da força máxima de prensão manual nos cadetes da força aérea brasileira**

### **Time of holding strength in T-27 Tucano aircraft simulator doesn't depend maximum manual grip strength in brazilian air force cadets**

DOI:10.34117/bjdv8n5-514

Recebimento dos originais: 21/03/2022

Aceitação para publicação: 29/04/2022

#### **Joel Eloi Belo Júnior**

Graduação em ciências aeronáuticas

Instituição : Universidade da Força Aérea - UNIFA

Endereço: Alameda Mathilde Araium, 342 Cidade Jardim, Pirassununga - SP

CEP: 13632-530

E-mail: belojr27@gmail.com

#### **Thiago Augusto Rochetti Bezerra**

Pós-doutorado

Instituição: Universidade da Força Aérea - UNIFA

Endereço: Rod. Washington Luiz, s/n - Monjolinho, São Carlos - SP, CEP: 13565-905

E-mail: thiagorochetti77@yahoo.com

#### **Adriano Percival Calderaro Calvo**

Doutorado

Instituição: Universidade da Força Aérea - UNIFA

Endereço: Rua Quirino de Andrade, 215, Centro, São Paulo – SP, CEP: 01049-010

E-mail: percivalcalvo@fab.gmail.com

#### **Leonice Aparecida Doimo**

Doutorado

Instituição: Universidade da Força Aérea - UNIFA

E-mail: ladoimo1@gmail.com

#### **RESUMO**

Na Academia da Força Aérea (AFA) a instrução técnico-especializada dos futuros pilotos ocorre na aeronave EMB 312 T-27 Tucano, onde os cadetes realizam manobras, acrobacias e voos em formatura. Tais atividades exigem altos níveis de força isométrica do membro superior direito para a sustentação/manutenção do manche, este responsável pela direção e atitude da aeronave. O Manual da aeronave estabelece que a força máxima necessária (força útil) para a sustentação de 6 G(z), limite de carga gravitacional em condições normais de voo, é de 30 Kg. O objetivo do estudo foi avaliar e correlacionar a força de prensão manual máxima, por meio de dinamometria manual, com o tempo de sustentação de 30 Kg, no simulador do T-27, de membro superior direito, em cadetes da AFA, de ambos os sexos. Participaram 58 voluntários (56 homens e 02 mulheres). Foram obtidos os seguintes dados antropométricos: peso (Kg), estatura (m) e índice de massa corporal (IMC; Kg/m<sup>2</sup>). A avaliação da força de prensão manual do membro superior direito foi mensurada com o dinamômetro hidráulico de mão, modelo JAMAR (Brasil),

com medidas em Kg, conforme protocolo da Sociedade Americana de Terapeutas de Mão. Foram realizadas duas tentativas de prensão manual máxima, com intervalo um minuto entre elas, sendo registrada a tentativa de maior resultado. A resistência muscular de membro superior direito foi obtida através de exercício executado em simulador de forças inerciais da aeronave Embraer EMB T-27, projetado para simular pane mecânica, exigindo a execução da manobra cabrar (puxar o manche para trás, elevando o nariz da aeronave). A força aplicada foi registrada com frequência de 5Hz e acurácia de 100 g. O procedimento foi repetido uma única vez, considerando uma série de dados temporais, 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. Os resultados encontrados (média e desvio-padrão) foram: idade (anos)  $22,47 \pm 1,03$ ; massa corporal (Kg)  $74,63 \pm 8,32$ ; estatura (m)  $1,75 \pm 0,06$ ; IMC  $24,22 \pm 1,98$ ; prensão manual máxima (Kg)  $48,72 \pm 6,74$  e força > 30Kg (segundos)  $43,12 \pm 34,65$ . Após 45 segundos, mais da metade dos cadetes (33 cadetes) não mantiveram a força máxima de 30 Kg e, em dois minutos, essa quantidade aumenta para 98% dos cadetes. A correlação entre força de prensão manual máxima e o tempo de sustentação de 30 Kg no simulador do T-27 apresentou coeficiente de  $p = -0,12$  (95% de IC:  $-0,29$  a  $0,22$ ;  $\alpha > 0,05$ ) indicando relação não significativa entre as variáveis consideradas. Concluiu-se que a força de prensão manual máxima não é indicativa do tempo de aplicação de força útil no manche da aeronave T-27, e que, em 105 segundos, mais de 95% dos cadetes não sustentam a força útil necessária para reverter o posicionamento da aeronave em mergulho vertical, no caso de uma situação de emergência. Faz-se necessário uma atenção maior com o treinamento físico específico para os membros superiores, visando a sustentação de níveis de força adequados durante a formação dos cadetes, em especial para as mulheres, visto que as exigências físicas para a pilotagem são as mesmas para ambos os sexos.

**Palavras-chave:** militar, força muscular, avaliação física.

## ABSTRACT

At the Air Force Academy (AFA) the future pilots technical-specialized instruction takes place in the EMB 312 T-27 Tucano aircraft, where the cadets perform maneuvers, acrobatics and formation flights. Such activities require high levels of isometric strength with right upper limb to sustain/maintain the stick, which is responsible for steering and maintaining the aircraft's attitude during flight. The T-27 Manual establishes the maximum force required (useful force) to sustain 6 G(z), the gravitational load limit under normal flight conditions, is 30 kg. The study purpose was to evaluate and correlate the maximum handgrip strength, by means of manual dynamometry, with the holding time of 30 kg, on T-27 simulator, with right upper limb, in AFA cadets, of both sexes. 58 volunteers participated (56 men and 02 women). The following anthropometric data were obtained: weight (Kg), height (m) and body mass index (BMI; Kg/m<sup>2</sup>). The handgrip assessment strength of the right upper limb was measured with a hydraulic hand dynamometer; JAMAR model (Brazil), with measurements in kg, according with American Society of Hand Therapists protocol. Two maximum handgrip attempts were performed, with a one-minute interval between attempts, and the attempt with the highest result was recorded. The upper right limb muscular resistance was obtained through an exercise performed in an Embraer EMB T-27 aircraft inertial forces simulator, designed to simulate mechanical failure, requiring the execution of the goat maneuver (pulling the stick backwards, raising the nose of the aircraft). The applied force was recorded with a frequency of 5Hz and an accuracy of 100 g. The procedure was repeated only once, considering a series of temporal data, referring to the time between the beginning of the

attempt and the first moment in which the subject maintained the maximum force in the goat maneuver below 30 kg. The results found (mean and standard deviation) were: age (years)  $22.47 \pm 1.03$ ; body mass (kg)  $74.63 \pm 8.32$ ; height (m)  $1.75 \pm 0.06$ ; BMI  $24.22 \pm 1.98$ ; maximum handgrip (Kg)  $48.72 \pm 6.74$  and force > 30Kg (seconds)  $43.12 \pm 34.65$ . After 45 seconds, more than half of the cadets (33 cadets) did not maintain the maximum strength of 30 kg and, in two minutes, this amount increases to 98% of the cadets. The correlation between maximum handgrip strength and holding time of 30 kg in the T-27 simulator showed a coefficient of  $p = -0.12$  (95% CI: -0.29 to 0.22;  $\alpha > 0,05$ ) indicating a non-significant relationship between the variables considered. It was concluded that the maximum handgrip strength is not indicative of the time of application of useful force on the stick of the T-27 aircraft, and that in 105 seconds, more than 95% of the cadets do not sustain the useful force necessary to reverse the positioning of the aircraft in a vertical dive, event of an emergency situation. It is necessary to pay more attention to specific physical training for the upper limbs, aiming at sustaining adequate levels of strength during the training of cadets, especially for women, since the physical requirements for piloting are the same for both the sexes.

**Keywords:** military, muscle strength, physical assessment.

## 1 INTRODUÇÃO

A Academia da Força Aérea (AFA) é uma organização militar de ensino superior cuja missão objetiva preparar seus cadetes para se tornarem oficiais aviadores da Força Aérea Brasileira (FAB) e cumprirem adequadamente suas futuras missões.

A formação do piloto militar tem prazos e níveis mínimos que devem ser atingidos obrigatoriamente. De acordo com os Manuais de Procedimentos do Primeiro e Segundo Esquadrões de Instrução Aérea (2021), todos os exercícios, manobras e procedimentos ensinados são demonstrados, ensinados mecanicamente, orientados verbalmente e exigidos nos voos de cheque (onde o aluno deve realizar sem qualquer auxílio do instrutor).

Na formação do piloto militar existe um limite de missões e horas de voo disponíveis para que o cadete atinja a proficiência e esteja apto a voar solo, ocorrendo naturalmente nesse processo, uma seleção daqueles que demonstram maior aptidão.

Diversas qualidades são importantes para a formação de um bom piloto e, dentre elas, está a força de membro superior direito, especialmente a isométrica, necessária para uma pilotagem segura e eficiente, especialmente no período de aprendizagem dos cadetes.

## 2 FORMAÇÃO DO FUTURO PILOTO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Em linhas gerais, a instrução básica de voo ocorre na aeronave T-25 Universal, no primeiro ano, contendo aulas práticas e teóricas. No segundo e terceiro ano, ou 2º e 3º

esquadrões, os cadetes cumprem disciplinas do campo geral, treinamentos físicos e militares e algumas disciplinas do campo técnico-especializado (Aerodinâmica 2 e Instrução Técnica da Aeronave T-27), pré-requisitos para o voo na aeronave T-27, para a qual deverão estar teoricamente preparados ao final do terceiro ano. No quarto ano, os cadetes retomam o voo, voando na aeronave EMB 312 T27 Tucano, mais rápida e alcançando maiores altitudes em relação ao T 25. Esta aeronave é um turbo hélice cuja força Gz+ máxima atingida é de 6 Gz (positivo) e 3 Gz (negativo), em situação de voo invertido, sendo que, neste último caso, a aeronave pode permanecer de dorso em um tempo máximo de 30 segundos (MANUAL EMB, 1984). Ainda, de acordo com o manual da mesma, a força máxima necessária para a sustentação de 6 G(z), limite de carga gravitacional em condições normais de voo, é de 30 Kgf. Nesta aeronave os cadetes realizam manobras e acrobacias e voos em formatura, cumprindo a instrução avançada no Primeiro Esquadrão de Instrução Aérea (1º EIA; BRASIL, 2021).

A execução das manobras e acrobacias aéreas é feita através da movimentação do manche, em quatro movimentos distintos: cabrar (puxar o manche para trás, erguendo o nariz do avião), picar (empurrar o manche para a frente, baixando o nariz do avião), rotação externa (empurrar o manche para a direita, inclinando o avião para o lado direito) e rotação interna (puxar o manche para a esquerda, inclinando o avião para o lado esquerdo). O membro superior direito do piloto é o segmento corporal responsável pela movimentação do manche, enquanto que o segmento esquerdo opera o painel de controle da aeronave executando ações que impõem uma menor carga de trabalho.

Os aviões 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 do movimento. Em geral, as forças produzidas pela aceleração linear durante o voo normal de um avião não são suficientes para produzir efeitos fisiológicos importantes. Mas, 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 que voavam em cargas Gz mais elevadas, sendo considerados o principal problema de saúde entre pilotos (RINTALA et al, 2015), acometendo principalmente o segmento superior direito.

Em pesquisa informal com nove instrutores experientes de voo no T-27 Tucano (dados não publicados) foram apontadas as principais manobras, acrobacias ou fases do voo que exigem movimentos com uso significativo de força no manche, realizados em

condições normais de voo. Segundo os entrevistados, os movimentos que demandam uma maior utilização de força são as partes iniciais e finais das acrobacias verticais (Retournement, Looping, Meio Oito Cubano, Trevo e Immelmann). A maior aplicação de força, de acordo com os instrutores, é necessária para “as cabradas” (movimento de trazer o manche para trás, elevando o nariz da aeronave, executado no eixo lateral da aeronave). Ainda, segundo os mesmos, a duração média das aplicações de força é de 10 segundos cada manobra, quando realizadas de maneira isolada.

Durante a atividade aérea, pilotos empregam maior nível de força isométrica 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 durante o voo.

A adequada capacidade de sustentação de força isométrica contribui sobremaneira para a correta execução das manobras e acrobacias, não permitindo que a aeronave entre em alguma condição não desejável durante o voo. Apesar disso, falhas humanas e problemas técnicos podem acontecer nos equipamentos e sistemas da aeronave. Em caso de falha, é necessário que o piloto exerça força suficiente no manche para que a aeronave mantenha condições seguras de voo, e consiga direcionar a aeronave em segurança para o aeródromo mais próximo.

Caso a aeronave entre em mergulho vertical descendente inadvertidamente, a velocidade pode atingir valores elevados. Com velocidades maiores, a força necessária para sustentar o movimento de cabrar e trazer a aeronave para o voo nivelado (situação normal de voo) será maior do que nas manobras e acrobacias (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos - CENIPA; BRASIL, 2007). Na prática, movimentar o manche da aeronave para as diferentes posições anteriormente mencionadas requer força dinâmica, e mantê-las por um dado período de tempo, até a concretização da manobra e recuperação da aeronave, e sob efeito de alta carga Gz, requer o uso de força isométrica.

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 e Shimano (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. 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. O sistema é

composto de quatro células de carga conectado a um aquisitor de sinais permite a quantificação das forças em função do tempo no simulador.

Dentre as varias pesquisas realizadas com este equipamento, destaca-se o estudo de Guindani et al. (2017), que objetivou avaliar a amplitude eletromiográfica média e de pico dos músculos dos membros superiores, em instrutores de voo da FAB, submetidos à reprodução de manobras acrobáticas no simulador. Considerando o movimento de cabrar, este estudo mostrou que a realização dessa manobra é feita basicamente pela ação agonista do músculo flexor radial do carpo, responsável pelos movimentos de flexão do punho e desvio (abdução) radial. Trata-se de um músculo fusiforme, onde as fibras estão paralelas á linha de tração (tendão), possibilitando grandes quantidades de encurtamento e movimentos de alta velocidade, mas, com menor capacidade de produção de força em relação aos músculos peniformes (McGINNIS, 2015). Outro aspecto importante a ser considerado é a força de preensão manual. De acordo com Baptista et al (2013), a força de preensão manual pode ser usada como medida preditora da força dos membros superiores e é aceita como um índice objetivo da funcionalidade deste segmento corporal.

Como mencionado anteriormente, conforme Manual da EMBRAER, fabricante do T 27 Tucano (BRASIL, 1984), a força necessária para sustentação da carga Gz máxima em operação normal da aeronave (6 vezes a força da gravidade) é de 30 Kg. Durante as acrobacias, o corpo do piloto está sujeito à interferência das forças gravitacionais (Gz) que, em algumas manobras, podem atingir a magnitude de até 6 Gz (BEZERRA et al, 2011).

Diante do exposto, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar e correlacionar a força de preensão manual máxima, por meio de dinamometria manual, com o tempo de sustentação de 30 Kg, no simulador do T27, de membro superior direito, em cadetes da AFA, de ambos os sexos.

## **2 METODOLOGIA**

Trata-se de um estudo observacional, de corte transversal, exploratório e descritivo. A pesquisa foi aprovada em comitê de ética em pesquisa sob o protocolo CAAE n. 45797021.9.0000.8928. Todos os voluntários oficializaram sua participação através da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e todos os dados foram coletados por um único avaliador.

## 2.1 AMOSTRA

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. 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 desordens ou lesões musculoesqueléticas ou em processo de recuperação das mesmas em período inferior a seis meses.

## 2.2 DADOS ANTROPOMÉTRICOS

As medidas antropométricas foram feitas conforme padronização da ISAK (International Standards for Anthropometric Assessment; STEWART et al, 2011). A massa corporal (Kg) foi obtida 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 ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ), por meio da fórmula  $\text{IMC} (\text{Kg}/\text{m}^2) = \text{Massa corporal (Kg)}/\text{Estat}^2 (\text{m})$ . O estado nutricional foi classificado utilizando os valores referenciados pela ABESO (2016, pág 16).

## 2.3 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. 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 um minuto entre tentativas, sendo registrada a tentativa de maior resultado. Os resultados serão comparados com os valores de referência conforme estudo de Bohannon et al (2006).

## 2.4 RESISTÊNCIA MUSCULAR EM SIMULADOR DE FORÇAS DA AERONAVE EMBRAER T-27 TUCANO

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, SHIMANO & CAMPOS, 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). 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. 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, 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 ( $t_{30}$ ). 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 trabalho, se avaliou a capacidade temporal do cadete em manter força superior à do limite operacional da aeronave, considerada como “força útil” para uma pilotagem segura.

## 2.5 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Análises descritivas foram aplicadas para caracterização dos participantes através de medidas centrais e de dispersão por meio de média e desvio-padrão; mínimo e máximo. Além disso, a variável resistência muscular foi tabulada em frequências em função do tempo (cada 15 segundos) de permanência executando a força mínima, com os intervalos de 95% de confiança. Foi analisado o coeficiente de correlação entre as variáveis de preensão manual e resistência muscular de simulador de forças por meio do teste de Spearman ( $\rho$ ), acompanhada de 95% de intervalo de confiança (IC). Nas análises foram determinados índices de significância de  $\alpha$  igual a 95%. Os testes estatísticos foram realizados através de software estatístico JASP (0.16.1).

### 3 RESULTADOS

Do total de 114 cadetes obteve-se uma amostra de conveniência formada por 58 voluntários, sendo 56 homens e 02 mulheres. Devido ao número reduzido das mesmas, as análises foram feitas considerando um grupo único (58 sujeitos). A Tabela 1 apresenta os dados de caracterização dos participantes (idade e dados antropométricos) e os valores de força de prensão manual máxima e tempo de sustentação de 30 Kg em simulador do T27.

Tabela 1- Caracterização etária e antropométrica, força de prensão manual máxima (Kg) e tempo de sustentação de 30 Kg (em segundos) da amostra de cadetes da AFA (n=58)

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 <sup>2</sup> ]	24,22	± 1,98	17,46	31,78
Prensão manual máxima [Kg]	48,72	± 6,74	48	55
Força > 30Kg [s]	43,12	± 34,65	9	79

DP = desvio padrão; s = segundos

Fonte: O autor

A classificação do índice de massa corporal, categoriza os participantes como eutróficos, segundo a ABESO (2016). A média da força de prensão manual encontra-se abaixo do valor médio reportado por Bohannon et al (2006) para a faixa etária de 20 a 24 anos, que é de 53,3 Kg. Observa-se que o tempo de sustentação de 30 Kg foi inferior à um minuto, bem como a existência de uma enorme amplitude nos resultados desta variável, indicando grande variabilidade individual.

A Tabela 2 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 2 - Tempo (em segundos) de sustentação de força de 30Kg, em simulador de forças do T-27, de cadetes da AFA (n=58).

Tempo (s)	Sujeitos 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 correlação entre força de prensão manual máxima e o tempo de sustentação de 30 Kg no simulador do T-27 apresentou coeficiente de  $p = - 0,12$  (95% de IC: - 0,29 a 0,22;  $\alpha > 0,05$ ). Esse resultado não evidencia relação significativa entre as variáveis consideradas.

#### 4 DISCUSSÃO

O objetivo do estudo foi verificar a relação entre força de prensão manual máxima e o tempo de sustentação de força útil (30 Kg) no simulador de forças do T27. Os resultados permitem afirmar que a força de prensão manual não é indicativa do tempo de sustentação de força no manche da aeronave T 27.

Esse estudo, indiretamente, permitiu observar a fatigabilidade 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 a redução da velocidade de condução nervosa devido, provavelmente, a alterações no fluxo sanguíneo, aumento da acidose muscular, diminuição da concentração extracelular de sódio plasmático ( $\text{Na}^+$ ) e acúmulo de íons extracelulares de potássio ( $\text{K}^+$ ) (ALLEN, LAMB & WESTERBLAD, 2008).

No presente estudo verificou-se 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 prensão 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 (FRANCHINI et al, 2011) e em atletas/militares jovens (YI et al, 2018). Em estudo realizado com pilotos da Alemanha (idade média de 23 anos), submetidos a exercício de força isométrica em uma centrífuga e com variações controladas de carga Gz, observou-se que, a partir de 3 Gz+, os pilotos perderam a capacidade de exercer e coordenar, de modo satisfatório, a força aplicada no manche (GUARDIERA et al, 2007).

Considerando a arquitetura do músculo flexor radial do carpo, principal agonista do movimento de cabrar, por ser um musculo fusiforme, o arranjo das suas fibras permite

grande capacidade de encurtamento e movimentos de alta velocidade, diferentemente dos músculos peniformes, cujas fibras, por correrem diagonalmente em relação a um tendão, apresentam secção transversa fisiológica maior e, portanto, podem exercer forças maiores (McGINNIS, 2015). Logo, os sucessivos movimentos de cabrar a aeronave sem o devido tempo de recuperação fisiológica, ou então um tempo de sustentação de força relativamente longo podem levar á rápida fatigabilidade do flexor radial do carpo, comprometendo o desempenho do cadete e ocasionando dores e desconforto musculares após o voo. Importante também considerar o músculo flexor profundo dos dedos, responsável pela habilidade de preensão da mão, um músculo também fusiforme e sujeito a fatigabilidade precoce. A força produzida pelo mesmo pode receber influência de vários fatores como a postura corporal, a posição da mão e das demais articulações dos membros superiores (SANDE & COURRY, 1998).

Nesse estudo, considerando o contexto do padrão de desempenho dos cadetes, saber que o limite de tempo útil de força aplicado no manche, em situação de emergência, foi de, aproximadamente, 1 min e 45 segundos, resultou numa 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 questões como o abandono da aeronave e a posição ideal de ejeção (não é recomendável ejetar-se em posição invertida ou com a aeronave em rotações no seu próprio eixo longitudinal), além de verificar se a aeronave está numa altitude mínima necessária para esse procedimento. 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 de que, em maiores altitudes, a probabilidade de correta execução dos procedimentos e de sobrevivência do tripulante são aumentadas (NEWMAN, 1997).

Todos os voos de instrução na AFA ocorrem, obrigatoriamente, acima de 4000 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, aproando alguma pista de emergência ou o campo de pouso da AFA, para um pouso em segurança. A título de exemplificação, em um acidente ocorrido com uma aeronave, após falha no sistema de compensação da mesma, 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. A combinação de esforço muscular repetido durante execução das sucessivas manobras e acrobacias, associadas às recorrentes alterações de carga Gz, podem implicar em grandes solicitações musculares nos cadetes durante a realização dos voos de instrução, exigindo esforços intermitentes de alta intensidade, envolvendo períodos de pausas e estímulos de alta magnitude de força.

No caso de repetições das manobras e acrobacias, 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 de um interstício de segurança para prevenir a fadiga muscular que ocorre entre as manobras/acrobacias para que não haja prejuízo à execução das mesmas.

Estes pontos podem ser melhorados adotando padrões pré-estabelecidos 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.

De acordo com Franchini et al. (2003), uma das variáveis que influenciam nos níveis de força de preensão manual, especialmente a força máxima, é a área de secção transversa da musculatura do antebraço. E com relação ao membro superior, os aumentos de força, a partir do treinamento isométrico, podem ser decorrentes da quantidade de

ações musculares realizadas, da duração e da intensidade das mesmas e com a frequência de treinamento (DA COSTA ALECRIM et al, 2019).

Estudo conduzido por Bezerra, Shimano & Campos (2014), analisando a força muscular de cadetes de ambos os sexos, (56 participantes; quatro grupos: 2º Esquadrão; 4º Esquadrão; Grupo controle e Grupo de aviadoras), pré e pós-treinamento de simulação de acrobacias e ejeção no simulador do T 27, observaram que todos os grupos, após o treinamento, atingiram níveis superiores aos registrados durante a fase pré-inicial. Além disso, constataram diferença significativa entre a força muscular de homens e mulheres e, por isso, sugerem que os esquadrões tenham monitoramento mais próximo e treinamento específico, especialmente as mulheres aviadoras, garantindo que alcancem valores mais próximos aos dos homens.

Uma vez que um estudo prévio com cadetes da AFA já demonstrou a eficácia de um treinamento de força de membros superiores, e também considerando que a doutrina militar padroniza o desempenho físico dos cadetes, é importante institucionalizar o treinamento, em especial do tipo isométrico, com foco na sustentação de força durante as manobras e acrobacias, dado as exigências frequentes dessa ação muscular, e também pelo fato de que os requisitos de desempenho são os mesmos para ambos os sexos.

## 5 CONCLUSÃO

Para a amostra estudada, os resultados permitem concluir que a força de prensão manual máxima não é indicativa do tempo de aplicação de força útil no manche da aeronave T 27, e que em 105 segundos, mais de 95% dos cadetes não sustentam a força útil necessária para reverter o posicionamento da aeronave em mergulho vertical, no caso de uma situação de emergência. Faz-se necessário uma atenção maior com o treinamento físico para os membros superiores, visando a sustentação de níveis de força adequados durante a formação dos cadetes.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. Sydney. **Physiol Rev**, v. 88, n.1, p. 287–33, jan. 2008.
- BEZERRA, T. A. R.; SHIMANO, A. C. Análise da força isométrica de cadetes da Força Aérea Brasileira em simulador de forças da aeronave EMB 312. Brasília. **Revista Conexão Sipaer**, v.2, n.2, p. 45, 2011.
- 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**, vol. 5, n. 2, p. 61-67, 2014.
- BOHANNON, R. W.; PEOLSSON, A.; MASSY-WESTROPP, N.; DESROSIERS, J.; BEAR-LEHMAN, J. Reference values for adult grip strength measured with a Jamar dynamometer: a descriptive meta-analysis. *Physiotherapy*, n. 92, p. 11–15, 2006.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Ensino, Academia da Força Aérea, 1º Esquadrão de Instrução Aérea, Manual de Procedimentos, 2021.
- BRASIL. 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.
- DA COSTA ALECRIM, J., DA COSTA ALECRIM NETO, J., OLIVEIRA, M., PIVETTA, G. Efeito do treinamento pliométrico e isométrico na força explosiva de atletas de handebol. *Revista Ciencias de la Actividad Física UCM*, n.20, v.2, p. 1-14, 2019.
- FRANCHINI E, MIARKA B, MATHEUS L, DEL VECCHIO FB. Endurance in judogi grip strength tests: Comparison between elite and non-elite judo players. *Arch Budo*, v. 7, n.1, p. 1-4, 2011.
- FRANCHINI, Emerson et al. Frequência cardíaca e força de preensão manual durante a luta de jiu-jítsu. *EF Deportes*, v. 9, n. 65, 2003.
- GUARDIERA, S. *et al.* Acceleration effects on manual performance with isometric and displacement joysticks. **Aviat Space Environ Med**, v. 78, n. 10, p. 990 – 4, 2007.
- GUINDANI, G.; BEZERRA, T.A.R.; CAMPOS, F.A.D. ; SANTOS, R. R. F. ; SANTIAGO, P.R.P. . Electromyographic analysis in upper limbs of Brazilian air force flight instructors submitted to maneuvers in a T-27 force simulator. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 20, p. 38–43, 2017.
- KENT-BRAUN J. A. Skeletal Muscle Fatigue in Old Age. **Exerc Sport Sci Rev**; v.37, n.1, p.3–9, 2009.
- McGINNIS, P.M. **Biomecânica do esporte e exercício**. Porto Alegre, Editora Artmed S.A., 2015.

NEWMAN, D. G. +Gz-induced neck injuries in Royal Australian Air Force fighter pilots. **Aviat Space Environ Med**, v. 68, n. 6, p. 520–4, 1997.

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.

SANDE, L.A.P; COURY, H.J.C.G. Aspectos biomecânicos e ergonômicos associados ao movimento de preensão: uma revisão. *Rev. Fisioter. Univ. São Paulo*, v. 5, n. 2, p. 71-82, jul. / dez., 1998.

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

YI, C., LI, K. W., TANG, F., ZUO, H., MA, L., & HU, H. Pulling strength, muscular fatigue, and prediction of maximum endurance time for simulated pulling tasks. *Plos one*, v.13, n. 11, e0207283, 2018.