

O piloto militar de alta performance: alterações impostas durante o voo

The high-performance military pilot: changes imposed during the flight

Resumo: Este artigo tem como objetivo apresentar e discutir sobre a aptidão física e alterações fisiológicas e psicológicas causadas aos pilotos de alta performance. O voo de alta performance proporciona uma série de reações fisiológicas, como alterações no sistema cardiovascular, respiratório e mecânico, dada às altas acelerações e a força G imposta em suas atividades de treinamento ou operações. O treinamento físico pode contribuir para uma melhor adaptação às alterações fisiológicas do voo de alta performance, atribuindo maior resistência, força e controle das atuações dos pilotos durante as suas atividades. Aspectos psicológicos e físicos também são afetados nos pilotos, devido à necessidade de respostas rápidas e assertivas em momentos de pressão e estresse, seja ele físico ou mental. Assim, o voo de alta performance causa estresses físicos e psicológicos ao piloto, sendo a força G no eixo Z e a alta aceleração os principais responsáveis pelas variações fisiológicas e mentais nesses profissionais.

Palavras-chave: Piloto, Aeronaves, Militares, Monitorização, Fisiológica, Gravitação.

Abstract: This article aims to present and discuss physical fitness, physiological and psychological changes caused by high-performance pilots. High-performance *flight* provides a series of physiological reactions to pilots, such as changes in the cardiovascular, respiratory, and mechanical systems, given the high accelerations and G-force imposed in their training or operations activities. Physical training can contribute to better adaptation to the physiological changes of high-performance *flight*, providing greater endurance, strength, and control of pilots' actions during their activities. Psychological and physical aspects are also affected in pilots, due to the need for quick and assertive responses in moments of pressure and stress, be it physical or mental. Then, high-performance *flight* causes physical and psychological stress to the pilot, with the G force in the Z axis and high acceleration being the main responsible for physiological and mental variations in these professionals.

Keywords: Pilot, Aircraft, Military Personnel, Monitoring Physiologic, Gravitation.

Amanda Bárbara da Silva Guimarães 

Universidade Estadual do Maranhão.

Licenciatura em Educação Física.

São João dos Patos, Maranhão, Brasil.

amandabarbarasjp@gmail.com

Marcos Alexandre Carvalho Torres 

Universidade Estadual do Maranhão.

Licenciatura em Educação Física.

São João dos Patos, Maranhão, Brasil.

marcosalecarvalhot05@gmail.com

Pedro Gabriel Dias Coelho 

Universidade Estadual do Maranhão.

Licenciatura em Educação Física.

São João dos Patos, Maranhão, Brasil.

pedrogabrieldiascoelho@gmail.com

Ana Maria Siqueira Neiva 

Universidade Estadual do Maranhão.

Licenciatura em Educação Física.

São João dos Patos, Maranhão, Brasil.

ananeiva997@gmail.com

Joyce Freitas Noleto 

Universidade Estadual do Maranhão.

Licenciatura em Educação Física.

São João dos Patos, Maranhão, Brasil.

joycefreitasnoleto@gmail.com

Marcos Antonio do Nascimento 

Universidade Estadual do Maranhão.

Programa de Pós-Graduação em Educação Física. São Luís, Maranhão, Brasil.

marcosdonascimento@professor.uema.br

Recebido: 13 dez. 2024

Aprovado: 27 jan. 2025

COLEÇÃO MEIRA MATTOS

ISSN on-line 2316-4891 / ISSN print 2316-4833

<http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/RMM/index>



Creative Commons
Attribution Licence

1 INTRODUÇÃO

O fascínio por voar sempre esteve presente na humanidade. Os maiores avanços na área da aviação datam do século XX, especificamente entre 1901 e 1914, período conhecido como “Era Pioneira” da aviação (Rangel, 2022).

O ser humano sempre teve vontade de deixar o seu meio natural, onde se desenvolveu, e de conquistar outros ambientes para os quais não estava adaptado, como o marítimo e o aéreo. O ambiente aéreo demonstrou, ao longo dos anos, ser um dos mais difíceis, além de ter sido o último a ser alcançado e é, sem dúvida, o que tem levado o homem a procurar cada vez mais soluções para o explorar de modo mais rápido e eficiente (Sá, 2015).

Em nossos dias, mais de 2,7 bilhões de pessoas utilizam anualmente a aviação comercial em todo o mundo, com os mais variados objetivos, desde negócios a turismo, em função da eficácia, conforto e infinita capacidade de integração entre cidades e países. Além desses aspectos, voar é um dos meios de transporte mais seguros que existe (Palhares; Espírito Santo, 2001).

No princípio, a aviação estava voltada para o setor de transporte. Mas, por conta da Primeira Guerra Mundial, o avião passou a ser adaptado como arma de guerra (Morrow, 1996). Na Segunda Guerra Mundial, os aviões de caça foram utilizados em grande quantidade e eficácia como arma militar (Silva Júnior, 2006). Os aviões de caça são utilizados para voo de combate, sendo realizados policiamento do espaço aéreo e confronto direto com outras aeronaves. Por esses fatores, essa modalidade de voo ocasiona as maiores sobrecargas da aviação militar, em relação à manobrabilidade e as altas acelerações atingidas (Lopes, 2018).

A evolução aeronáutica passou de um voo de poucos metros para aeronaves que conseguem voar praticamente em todas as condições climáticas, durante o dia e a noite, com velocidade que superam três vezes a velocidade do som, em missões de muitas horas seguidas e realizando uma variedade de tarefas com complexidades cada vez maiores (Candeias, 2007).

Durante o voo, o piloto pode sofrer diversas alterações fisiológicas, entre elas, visão acinzentada, desorientação espacial e em casos mais extremos a perda de consciência (G-LOC) (Akparibo; Chumbley, 2020). São também comuns de ocorrer operações em ambientes de química e biologicamente contaminados, relação de estresses físicos como, *jetleg*, alterações no ciclo circadiano e estresses ambientais de calor/frio (Gindhart Junior, 1999). Além das alterações exercidas pelo próprio voo, como, vibração, pressurização, disbarismo, hipóxia, variações de temperatura, qualidade do ar, ruído, entre outros (Gul; Salmanoglu, 2012; Sauvet et al., 2009). O psicológico do piloto também pode sofrer alterações, com a carga de trabalho a bordo, estresse, complexidade da missão e percepção da situação, que podem trazer consequências cognitivas, psicomotoras e interfe- rências na transmissão de informações, assimilação da informação pelo piloto e geração de desorientações e ilusões, provocados pelo excesso ou má interpretação das informações (Candeias, 2007).

No voo de alta performance é exigido do piloto elevados níveis de destreza, resistência física, julgamento adequado e habilidade para manusear todos os sistemas da aeronave com rapidez em suas ações e excelência nas capacidades psíquicas e físicas (Candeias, 2007).

A fim de reduzir tais efeitos e aumentar a tolerância dos pilotos, algumas estratégias são utilizadas, como: utilização de trajes anti-G, assentos reclináveis e a manobra respiratória AGSM (*Anti G Straining Maneuver*) (Burns et al., 2001; Yun; Oh; Shin, 2019; Pollock et al., 2019).

Tendo em vista a rápida evolução tecnológica da aviação, estratégias que visem a eficácia de promover a maior tolerância à Força G se fazem necessárias, portanto, é importante redefinir e compreender os parâmetros de engenharia e fisiológicos que modulam e determinam essa tolerância às altas acelerações (Bulbulian et al., 1994). Entre os fatores intrínsecos que envolvem a tolerância G, estão: o sexo (Convertino et al., 1998), massa corporal, composição corporal, idade, estatura, e variáveis hemodinâmicas como regulação da Pressão Arterial (PA) e frequência cardíaca (FC) (Ludwig et al., 1987; Hinghofer-Szalkay, 2011).

A evolução estrutural e de performance das aeronaves nos últimos anos atingiram patamares de capacidade e velocidade extremamente elevados, mas essa não é a única preocupação; no teatro de guerra moderno, se não houver associação dos sistemas e plataformas de armas embarcados, essa evolução seria totalmente inútil. Esses pontos supracitados contribuem para agilidade operacional, porém, o piloto é o elo entre todos os pontos dessa evolução (Candeias, 2007).

A discussão sobre a influência do condicionamento físico sobre a tolerância G ainda é objeto constante de debates, principalmente relativos ao condicionamento aeróbico e anaeróbico, que ainda possuem dados conflitantes (Bulbulian et al., 1994; Newman; White; Callister, 1999). Dentro desse contexto, este artigo busca apresentar e discutir sobre as alterações fisiológicas, a relação aptidão física e força G e os aspectos psicológicos em pilotos de alta performance.

2 METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de uma revisão narrativa, pesquisa de cunho qualitativo, descritiva, desenvolvida durante o mês de maio de 2023, por meio de levantamento bibliográfico, utilizando as bases de dados Lilacs e PubMed. As bases de dados foram escolhidas por possuir indexação de manuscritos na área da saúde em diferentes contextos e serem renomadas no campo científico.

Para a busca, foram utilizados os seguintes Descritores em Ciências da Saúde (DeCS): “pilot”, “aircraft”, “physiologic”, “gravitation” e “military personnel”.

A estruturação da questão problema foi determinada a partir do acrônimo PICO (população, interesse, contexto, desfecho/outcome), sendo P = pilotos, I = voo de alta performance e C = militares, O= espera-se encontrar os impactos causados ao corpo humano durante o voo de alta performance. Assim, gerou-se a seguinte pergunta norteadora: quais os possíveis impactos da aptidão física, alterações fisiológicas e psicológicas do voo de alta performance?

3 ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O VOO DE ALTA PERFORMANCE

É considerada aeronave de alta performance aquelas capazes de manter +6G constantes, força que está aplicada ao piloto, resultante do seu peso e que pode variar conforme a aceleração do avião (Candeias, 2007).

Por conta da força resultante da alta aceleração, as estruturas orgânicas mais prejudicadas nos pilotos são o sistema cardiovascular, o sistema respiratório e estruturas mecânicas, com destaque para a coluna vertebral (Balldin, 2001). A força G pode ser aplicada pela ação da gravidade ou por alguma força de aceleração que altere a posição corporal (Sá, 2015).

No momento do voo, forças distintas resultantes das altas acelerações atuam em diferentes eixos de movimento: eixo X (sagital / frontal para posterior), Y (transversal / direita para esquerda) e Z (longitudinal / cranial - podal) (Sá, 2015), a força G pode ser positiva ou negativa, dependendo do sentido da força.

Nesse contexto, destaca-se a força aplicada no eixo Z sentido cranial-podal. Quando o direcionamento da força G no eixo Z é positivo, o sangue é direcionado para o sentido dos pés, o que por sua vez induz a elevação da pressão nos membros inferiores. Banks et al. (2008) sugerem ainda que o deslocamento sanguíneo é elevado à medida que a +Gz aumenta, por esse e outros motivos, a pressão arterial sistólica (PAS) pode alcançar valores próximos dos 300 mmHg nos membros inferiores e valores muito baixos na região superior do corpo (Balldin, 2001; Eiken et al., 2012). Essas alterações hemodinâmicas podem contribuir para um menor desempenho nas missões caso o piloto não estava totalmente preparado para suportá-las.

As alterações no sistema cardiovascular decorrente da exposição à força G+ são causadas pela alteração no gradiente hidrostático encontrado no sistema venoso arterial, tais alterações afetam o tamanho dos vasos sanguíneos, que por sua vez acaba por afetar o fluxo sanguíneo regional e o conteúdo sanguíneo como um todo (Rainford, 2006).

A primeira manifestação evidente dos efeitos cardiovasculares da exposição à aceleração é manifestada primeiramente na visão e em níveis suficientes de elevação na aceleração, ocasionando perda de consciência (Albuquerque, 2012), pois com a redução do fluxo de sangue na retina, nota-se uma perda da visão periférica, denominada “visão de túnel”, que ao progredir para a “visão de cano” pode ser rapidamente seguida de acinzentamento da visão, conhecido como *Gray out* (Oliveira-Silva, 2016), caso a hipóxia permaneça, haverá um escurecimento total, *Black Out* e, por fim, a perda total da consciência (G-LOC) (Silva Júnior, 2006). Um estudo de Xin-Sheng et al. (2012), realizado com pilotos em centrífuga humana, demonstrou que os tripulantes sob alta carga G podem passar 12 segundos sob absoluta incapacidade, em decorrência do G-LOC, e 16 segundos sob relativa incapacidade.

A exposição à aceleração +Gz produz grandes alterações imediatas na distribuição da pressão nos sistemas arteriais e venosos, induzindo mudanças no fluxo sanguíneo o que resulta em respostas reflexas envolvendo os barorreceptores arteriais e, possivelmente, também os receptores de baixa pressão cardiopulmonares e quimiorreceptores arteriais. Reflexos em nível local também tendem a influenciar a resposta da PA na exposição à aceleração (Rainford, 2006, p. 144).

No início da exposição à aceleração +Gz a PA se mantém, mas passa a cair lentamente com a exposição continuada de 6 a 12 segundos (Sá, 2015). Com a diminuição da PA, o Sistema Nervoso Simpático (SNS) aumenta a FC, e eleva a força de contração e a condução de impulsos elétricos na tentativa de compensar tais mudanças (SÁ, 2015). Green (2016) ressalta que a adição de 4,5 +GZ por 30 a 60 s pode modificar a PA drasticamente, ao ponto de chegar a 300 mmHg no leito femoral e 0 mmHg nas artérias cerebrais.

Por conta da redistribuição do sangue em direção aos membros inferiores, a hipotensão cerebral pode ser induzida, causando também o comprometimento da perfusão cerebral, elevando os riscos do sistema cardiovascular, não conseguir suprir as necessidades do sistema nervoso central (Rangel, 2022).

Outro fator relevante relacionado à saúde dos pilotos foi demonstrado no estudo da força aérea holandesa, que realizou um estudo com 128 pilotos de F-16, analisando a degeneração da coluna vertebral desses pilotos, durante a operação continuada após 8 anos. Com base nos resultados, foi concluído que há uma rápida degeneração da coluna vertebral, contanto, essa degeneração não levou os participantes do estudo à incapacidade física (RTO, 1999). Esse tipo de situação pode levar a uma redução precoce da vida profissional do piloto.

Entre outros efeitos causados pela aceleração, estão: disritmias cardíacas, rupturas dos capilares da pele e aumento dos níveis de hormônios como a adrenalina, noradrenalina e cortisol séricos (Rainford, 2006).

Ao ser relacionado o piloto com a aeronave, as áreas que são mais afetadas direta ou indiretamente e que podem levar a um número maior de possíveis causas de acidentes são, estresse, complexidade da missão, percepção da situação e carga de trabalho embarcado na área psicológica; fadiga, doença de descompressão, desorientação espacial e proteção aos G's na área física e programa de treinamento e processo de seleção na área de seleção e treino (Candeias, 2007).

4 APTIDÃO FÍSICA E TOLERÂNCIA À FORÇA G

O organismo humano é altamente adaptável (Aboitiz; Montiel, 2012; Hofman, 2014), graças a essa capacidade é que o homem consegue viver em diferentes ambientes, fator pelo qual a espécie humana cresce e se desenvolve em todas as regiões do planeta (Slessarev et al., 2010).

Essa capacidade adaptativa não ocorre da mesma forma em todos os indivíduos, pois depende de fatores relacionados ao volume e intensidade dos estímulos (Yashin et al., 2007) e à capacidade de resposta, além da possibilidade de minimizá-la em função do avançar da idade (Arbeev et al., 2011). Esses fatores são primordiais para a entrada e manutenção da vida profissional do piloto de alta performance.

É importante salientar que voar não faz parte do rol de habilidades físicas da espécie humana (Boullosa et al., 2013) e, portanto, pode trazer adaptações indesejadas ou incertas, para tanto, os humanos não se encontram preparados como espécie.

O voo em ambientes com alta gravidade impõe sobre o piloto um grande desgaste metabólico e cardiorrespiratório sobre o organismo (Tesch; Hjort; Balldin, 1983), para reduzir os efeitos decorrentes da exposição à força G, algumas estratégias são adotadas pelos militares, entre elas estão a utilização de trajes anti-G, assentos reclináveis e a manobra respiratória AGSM (*Anti G Straining Maneuver*) (Burns et al., 2001; Yun; Oh; Shin, 2019), com o objetivo de evitar o G-LOC e aumentar a adaptação ou compensação do sistema cardiovascular através de repetidas exposições a ambientes de altas cargas (Lin; Wang; Li, 2012), tais manobras acabam por levar o piloto ao cansaço e fadiga local (Tesch; Balldin, 1984). Outro aspecto relevante é que as altas acelerações diminuem as capacidades de desempenhar tarefas psicomotoras, acima de 7 G's há um declínio da capacidade psicomotora (Candeias, 2007).

As manobras de voo podem gerar grandes exigências físicas como FC próxima da máxima e consumo de oxigênio maior que 70% do VO₂máx, exigências suficientes para gerar fadiga periférica ocasionada pelo trabalho muscular excessivo (Guézennec et al. 2001). Diante do que foi citado acima, entende-se que é necessário o desenvolvimento de um bom nível de atividade física (Banks

et al., 2008), com ênfase no aumento da capacidade aeróbica e o aumento de força (Newman; White; Callister, 1999).

Uma melhora aptidão física é atribuída a uma melhora da longevidade e das atividades da vida cotidiana. Segundo Palma e Paulich (1999), pilotos mais condicionados fisicamente conseguem suportar de forma mais efetiva o desgaste inerente da profissão. Kube (2010), cita que a manutenção de uma excelente condição física pode minimizar os efeitos da fadiga, e para atender as necessidades dessa população que se mostra muito específica, é necessário prescrever treinamentos que equilibrem treinamento aeróbio e anaeróbio. Com isso, quanto mais específico e personalizado o treinamento, melhor o resultado dos pilotos em seus treinamentos e missões reais.

No meio militar, o exercício físico possui um papel importante na preparação de pilotos (Lima et al., 2011; Assa et al., 2011), principalmente pelas exigências respiratórias, cardiovasculares, mecânicas, psicológicas e térmicas que o aviador está exposto em sua função. Vários estudos investigaram a influência da prática de atividade física e da aptidão cardiorrespiratória sobre o sistema autônomo cardiovascular (Goldsmith et al., 1992), porém os achados são divergentes.

A partir do desenvolvimento dos aviões de combate de alto desempenho, que alcançam grandes forças “G”, o piloto é mais exigido quanto a esse fator. Diante disso, o papel da aptidão física passou a merecer maior atenção e provavelmente o fator limitante para sustentar altas cargas +G seja a baixa resistência muscular localizada nos membros inferiores, abdômen, coluna lombar e cervical (Guimarães, 2017).

Os indivíduos que se submetem à +G necessitam de um aparato cardiovascular capaz de reagir, rapidamente, à tendência do sangue em se acumular nos membros inferiores. Porém, o treinamento aeróbio impõe reduções, muitas das vezes significativas, na reação do sistema cardiovascular (Guimarães, 2017).

É bem estabelecido que treinamento físico aeróbico pode provocar modificações estruturais no sistema cardiovascular, que incluem o aumento no volume sanguíneo total; o aumento de cavidades cardíacas; resposta barorreflexa reduzida da carótida e da aorta e hipertrofia ventricular (Raven, Pawelczyk, 1993; Martinelli, 1997), que, acarretam uma resposta atenuada da FC e da vasoconstricção frente à hipotensão ortostática, que pode contribuir para a intolerância ortostática devido à diminuição do volume vascular cerebral em ortostase, embora essas modificações sejam benéficas para o exercício.

O treinamento aeróbico parece não interferir na tolerância à Força G (Crisman; Burton, 1988). Há evidências de que a aptidão aeróbica excessiva pode até ter efeitos deletérios sobre a tolerância à gravidade, pois induz um desequilíbrio entre a atividade parassimpática e simpática e maior ativação vagal. Guimarães (2017) cita que alterações que produzam um maior tônus do sistema parassimpático levam a uma menor reação do tecido cardíaco, fazendo com que ocorra um lapso de tempo maior aumento da FC, e da PA, por fim, causando uma deterioração na perfusão sanguínea do cérebro.

Porém, não se deve eliminar o treino anaeróbico de um programa de treinamento, pois além de contribuir para a construção e manutenção de uma boa saúde do sistema cardiovascular, e uma composição corporal ideal (Guimarães, 2017), promove uma redução no tempo de recuperação dos músculos utilizados nas manobras de AGSM (Balldin, 1984). Isso devido à melhora da irrigação sanguínea e melhores condições fisiológicas gerais, tais quais o aperfeiçoamento

do sistema de tamponamento sanguíneo, diminuição da acidez circulante, redução das dores musculares e dos fenômenos da fadiga e favorecimento de uma recuperação mais rápida após esforços físicos (Palma; Paulich, 1999).

Para o contexto das necessidades fisiológicas de pilotos de caça, há um grande interesse na pesquisa para análises dos efeitos agudos e crônicos do treinamento aeróbio e anaeróbio na tolerância G. Os resultados de alguns estudos demonstraram que o treinamento de força aumenta a capacidade dos indivíduos para executar a AGSM de maneira mais eficaz, o que lhes permite uma resistência maior ao aumento da força G e por mais tempo (Crisman; Burton, 1988; Macdougall et al., 1992; Bain et al., 1997), além disso, autores como Burton, Whinnery, Forster (1987), chegaram à conclusão de que o voo de combate é uma atividade, predominantemente, anaeróbia.

O treino anaeróbio produz algumas modificações fisiológicas, entre elas: aumento da atividade do sistema simpático; hipertrofia de fibras de contração rápida, tipo de fibra que mais facilmente incrementa sua força e secção; diminuição na densidade capilar do músculo; e capacidade aumentada em tolerar as cargas do exercício (Tesch; Balldin, 1984).

No estudo de Bateman et al. (2006), os autores levantaram o questionamento de que um período longo de treinamento de força não poderia aumentar os leitos vasculares periféricos, promovendo maior dispersão de fluxo e consequentemente, a hipotensão, que prejudicaria a tolerância G. Porém, Epperson, Burton e Bernauer et al. (1985), observaram os efeitos do treinamento contra resistência em 7 aviadores por 12 semanas, onde os sujeitos foram expostos às cargas G na centrífuga de 4.5 a 7G. Os resultados apontaram uma alta correlação entre o aumento da força dos músculos do abdômen e do bíceps e o aumento da tolerância à força G, com destaque para a força do bíceps que foi considerada determinante para suportar altas cargas de aceleração.

No meio militar, a literatura destaca o importante papel do exercício físico na preparação de pilotos (Bateman; Jacobs; Buick, 2006; Lima et al., 2011; Assa et al., 2011), especialmente frente às exigências cardiovasculares, respiratórias, mecânicas, psicológicas e térmicas que o aviador está exposto em seu posto de trabalho. Entretanto, não existe uma conclusão quanto ao programa de exercício ideal a ser executado, alguns autores optam pela ênfase na base aeróbica (Palma; Paulich, 1999; Ribas, 2003; Kube, 2010) e outros (Caiozzo et al., 2009; Newman; White; Callister, 1999) destacam a importância do exercício anaeróbio. Deixando uma lacuna na literatura sobre o efeito dos exercícios combinados.

O estudo de Ang, Linder, Harms-Ringdahl (2005) analisou a fadiga muscular no pescoço de pilotos de caça e de helicóptero, relacionando as dores e às consequências no desempenho de suas atividades, os autores destacaram que os pilotos de caça deveriam reforçar o treinamento físico para a região do pescoço, pois o enfraquecimento nessa região do corpo estava mais relacionado a lesões devido à fadiga muscular, podendo assim, a dor contribuir para a diminuição na efetividade da missão. Pois a falta de mobilidade do pescoço para um piloto de caça durante um combate ar – ar, limita a visão da área externa e interna, que é um fator essencial para o sucesso na missão. A fadiga e dor na área do pescoço também geram desconforto e reduzem a concentração.

Não se pode ignorar que o esforço físico e o estresse a que são submetidos, no caso, os cadetes aviadores, requeiram análise mais apurada para vislumbrar, talvez, a possibilidade de

se planejar e implantar um programa de gerenciamento da aptidão física especial para aviadores, procurando estabelecer um marco de excelência para as necessidades da atividade na aviação (Kube, 2010).

5 ASPECTOS PSICOLÓGICOS DO VOO

Os aspectos psicológicos estão circunstancialmente ligados à conduta militar. É primordial que haja um treinamento que prepare o piloto para situações extremas e adversas. Apesar do treinamento, podem surgir consequências psicológicas. A carga de trabalho a bordo, percepção da situação, complexidade da missão e estresse são fatores de agravamento para tais consequências (Candeias, 2007). Esses agravos podem interferir no rendimento do piloto, assim como provocar afastamentos da sua função laborativa.

O modelo de trabalho dos pilotos aéreos é permeado por uma série de características que podem implicar na saúde mental desses profissionais. Um exemplo são os turnos rotativos e longos que acontecem em condições ambientais muito desfavoráveis, como baixa umidade, espaços apertados de trabalho, ruídos e iluminação. Não bastasse as condições desfavoráveis no ambiente de trabalho, esses profissionais são submetidos a outros fatores associados a cargas extras de trabalho, como treinamentos intensos, simulações de voo regular e testes de voos reais. Logo, os inúmeros fatores intrínsecos ao segmento aéreo e as operações comerciais, dependem da boa saúde física e psicológica dos pilotos (Jackson; Earl, 2006).

Existem evidências de que as acelerações contribuem para a redução das capacidades psicomotoras e cognitivas. Se as aeronaves de alta performance são capazes de provocar acelerações e detêm uma elevada agilidade operacional, então as probabilidades de a performance do piloto ser prejudicada, causando a redução das suas capacidades, são maiores. Ao imaginar-se num teatro de guerra complexo aos comandos de uma aeronave com a capacidade de receber toda a informação e com a potencialidade de rapidamente mudar de missão, torna-se importante tentar limitar essas sensações, porque nesse contexto a carga de trabalho que o piloto tem dentro do “cockpit” é imensa e ele necessita de avaliar corretamente todas as informações, para poder tomar uma decisão eficaz (Candeias, 2007).

O estresse pode inibir a capacidade do piloto de lidar com a informação, isto é, quanto maior nível de informação ele receber, maior será a dificuldade e o estresse, impossibilitando que o piloto aplique todos os seus conhecimentos. O estresse pode provocar várias reações psicológicas, como: irritação excessiva, visão em túnel, vontade de atuar a todo o custo, regressão mental, e algumas vezes o simples bloqueio mental, todos resultados da pilotagem de aeronaves de alta performance numa situação real (Feijo; Câmara; Luiz, 2014). Essas reações podem ser um ponto chave entre a vida e a morte de um piloto em situações reais.

Diante disso, pilotos de aeronaves compõem um grupo de profissionais que também atuam sob significativo nível de estresse, conforme Feijo, Câmara e Luiz (2014). Fatores estressores inerentes à pilotagem (risco de acidentes, turbulências e condições climáticas) e regime de trabalho (ciclos irregulares de atividade e repouso, afastamento da família por períodos prolongados e carga horária elevada) exigem do profissional um rigoroso controle de processos em diferentes níveis de operações e tarefas interligadas.

No Brasil, a Força Aérea Brasileira (FAB) passou a realizar os atendimentos psicológicos no Instituto de Psicologia da Aeronáutica (IPA) em 1988, sendo criado em 2013 a Associação Brasileira de Psicologia da Aviação (Abrapav). Ambos com foco na segurança operacional, atuando na fomentação de estudos e pesquisas ao fator psicológico humano (Medeiros, 2021).

Para que haja uma operação padronizada e segura, é necessário um alto nível de dedicação, responsabilidade e comprometimento com a saúde pessoal exigidos aos pilotos de aeronaves de alta performance. Entretanto, torna-se um desafio manter uma boa e equilibrada saúde mental e física dada às interferências sofridas por alguns aspectos inerentes à profissão.

O autor Coelho (2016, p. 10) cita em sua pesquisa que “a vinculação entre o trabalho e o adoecimento psíquico apresenta visibilidade crescente devido ao número elevado de casos de depressão e suicídio na área da aviação”.

A atividade exercida pelo piloto requer controle de complexos sistemas envolvendo diferentes tarefas e níveis de operações. Isso gera efeitos estressores que podem afetar o desempenho do profissional, podendo estar relacionados tanto aos regimes de trabalho quanto às operações aéreas (Feijo; Câmara; Luiz, 2014).

Este estudo traz algumas limitações, a maioria dos estudos abordados apresentam, focam em uma exposição a força G de curto prazo, enquanto a recuperação e o efeito de longo prazo para exposições repetidas ainda não são totalmente compreendidas na literatura, bem como, as discussões aqui apresentadas não serem generalizáveis para outros tipos de pilotos e indivíduos com diferentes condicionamentos físicos. Como sugestão para pesquisas futuras, indicam-se estudos longitudinais para avaliar com mais eficácia o efeito crônico da exposição à força G, diversificação de participantes, ambientes realistas e aplicação de novas tecnologias de monitoramento em tempo real.

Com isso, o acompanhamento e avaliação psicológica dos pilotos de alta performance se faz necessário, para a manutenção da saúde do piloto e da eficácia da missão imposta no treinamento ou combate aéreo.

6 CONCLUSÃO

A atividade militar por si já impõe várias modificações e adaptações fisiológicas ao longo da carreira, necessárias para o bom cumprimento do treinamento ou missão imposta ao militar. A aviação de alta performance, com sua alta imposição de aceleração e força G, principalmente no eixo Z, impõe uma sobrecarga fisiológica altíssima aos pilotos, que por sua vez podem ser minimizadas pelo treinamento cardiorrespiratório aeróbio e anaeróbio associados ao treinamento de força muscular.

A aptidão física é crucial para preparação de pilotos de alto desempenho, devido às grandes exigências de ambientes extremos causados pelas forças gravitacionais. O equilíbrio do treinamento aeróbio e anaeróbio é importantíssimo, pois ambos irão contribuir para atender as demandas mecânicas, fisiológicas e psicológicas impostas pela profissão, com isso, programas de treinamentos físicos personalizados e baseados em evidências devem ser desenvolvidos para garantir a segurança, desempenho e longevidade dos pilotos.

O controle psicológico e mental é outro determinante na profissão militar, que pode ser afetado pela alta carga de trabalho e/ou treinamentos, distanciamento dos familiares por longo período, complexidade das missões, entre outros, sendo imprescindível para os pilotos de alta

performance, dada a grande demanda estabelecida nas suas tarefas e na necessidade de tomadas de decisões rápidas e efetivas.

A compreensão dos efeitos fisiológicos, físicos e psicológicos pelos pilotos e instrutores permite o desenvolvimento de estratégias e treinamentos direcionados ao aumento da tolerância à força G, redução dos riscos de perda de consciência (G-LOC) ou desorientação, proporcionando uma operação mais segura.

Portanto, se faz necessário estudos de campo com estratégias para a mitigação dos efeitos causados aos pilotos pelo voo de alta performance, possibilitando, assim, uma maior longevidade aos pilotos e efetividade na missão.

COLABORAÇÕES DOS AUTORES

Todos os autores participaram de modo equivalente na elaboração do artigo.

REFERÊNCIAS

- ABOITIZ, F.; MONTIEL J. F. From tetra pods to primates: conserved developmental mechanisms in diverging ecological adaptations. **Progress in Brain Research**, [s. l.], v. 195, p.3-24, 2012. DOI: 10.1016/B978-0-444-53860-4.00001-5
- AKPARIBO, I. Y.; CHUMBLEY, E. Aerospace, Gravitational Effects, High Performance *In: AKPARIBO, I. Y.; CHUMBLEY, E. StatPearls*. Treasure Island: StatPearls, 2020
- ALAGHA, B. *et al.* Hypoxia symptoms during altitude training in professional Iranian fighter pilots. **Air Medical Journal**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 28-32, 2012.
- ALBUQUERQUE, M. P. **Desenvolvimento de uma centrífuga humana movida a exercício para treinamento de pilotos e pesquisas aeroespaciais**. 2012. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- ANG, B.; LINDER, J.; HARMS-RINGDAHL, K. Neck strength and myoelectric fatigue in fighter and helicopter pilots with a history of neck pain. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 76, n. 4, p. 375-80, 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15828638/>. Acesso em: 23 maio 2023.
- ARBEEV, K. G. *et al.* Age trajectories of physiological indices in relation to healthy life course. **Mechanisms of Ageing Development**, [s. l.], v. 132, n. 3, p. 93-102, 2011. DOI: 10.1016/j.mad.2011.01.001
- ASSA, A. *et al.* Echocardiographic evaluation and follow-up of cardiac and aortic indexes in aviators exposed to acceleration forces. **Journal of the American Society of Echocardiography**, [s. l.], v. 24, n. 10, p. 1163-1167, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2011.06.001>
- BAIN, B.; JACOBS, I.; BUICK, F. Respiratory muscle fatigue during simulated air combat maneuvering(SACM). **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 68, n. 2, p. 118-125, 1997. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9125087/>. Acesso em: 23 maio 2023.
- BALLDIN, U. I. Acceleration effects on fighter pilots acceleration-induced loss of consciousness medications for pilots of high-performance aircraft. In: BALLDIN, U. I *et al. Aceleration effects on fighter pilots*. Medical Aspects of Harsh Environments. [S. l.]: [s. n.], 2001.
- BALLDIN, U. I. Physical training and +Gz tolerance. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], p. 991-992, 1984.
- BANKS, R. D. *et al.* Human Response to Acceleration. *In: DAVIS, J. R. Fundamentals of aerospace medicine*. 4. ed. Philadelphia: [s. n.], 2008.

BATEMAN, W. A.; JACOBS, I.; BUICK, F. Physical conditioning to enhance +Gz tolerance: issues and current understanding. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 77, n. 6, p. 573-580, 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16780233/>. Acesso em: 5 jun. 2023.

BOULLOSA, D. A. et al. Do Olympic Athletes Train as in the Paleolithic Era? **Sports Medicine**, [s. l.], v. 43, n. 10, p. 909-17, 2013. DOI: 10.1007/s40279-013-0086-1.

BULBULIAN, R. et al. The effects of strength training and centrifuge exposure on +Gz tolerance. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 65, n. 12, p. 1097-1104, 1994. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7872910/>. Acesso em: 5 jun. 2023.

BURNS, J. W. et al. Protection to + 12 Gz. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 72, n. 5, p. 413-421, 2001.

BURTON, R. R.; WHINNERY, J. E.; FORSTER, E. M. Anaerobic energetics of the simulated aerial combat maneuver (SACM). **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 58, n. 8, p. 761-767, 1987. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3632535/>. Acesso em: 5 jun. 2023.

CAIOZZO, V. J. et al. Artificial gravity as a countermeasure to microgravity: a pilot study examining the effects on knee extensor and plantar flexor muscle groups. **Journal of Applied Physiology**, [s. l.], v. 107, n. 1, p. 39-46, 2009. DOI: 10.1152/japplphysiol.91130.2008

CANDEIAS, C. J. G. **Impacto Provocado pelo Voo em Aviões de Alta Performance no Organismo Humano**. 2007. 46 f. Trabalho (Investigação Individual) - Instituto de Estudos Superiores Militares, Curso de Promoção a Oficial Superior da Força Aérea, Lisboa, Portugal, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.26/12660>. Acesso em: 5 jun. 2023.

COELHO, D. R. **Transtornos Mentais em Aeronautas Brasileiros e a Segurança Operacional**. 2016. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Aeronáuticas, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2016. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8112/1/Monografia%20-DANIELA%20RAMOS%20COELHO.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2023.

CONVERTINO, V. A. High sustained +Gz acceleration: physiological adaptation to high-G tolerance. **Journal of Gravitational Physiology**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 51-54, 1998. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11542364/>. Acesso em: 26 ago. 2023.

CRISMAN, R. P.; BURTON, R. R. **Physical fitness program to enhance aircrew G tolerance**. [S. l.]: Naval Aerospace Medical Research Laboratory, 1988.

EIKEN, O. et al. G tolerance vis-à-vis pressure-distension and pressure-flow relationships of leg arteries. **Europena Journla Applied Physiology**, [s. l.], v. 112, n. 10, p. 3619-3627, 2012. DOI: 10.1007/s00421-012-2349-1

EPPERSON, W.; BURTON, R. R.; BERNAUER, E. M. Effectiveness of specific wright training regimens on simulated aerial combat maneuvering g tolerance. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 56, n. 5, p. 534-539, 1985. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4015564/>. Acesso em: 26 ago. 2023.

FEIJO, D.; CAMARA, V. M.; LUIZ, R. R. Aspectos psicossociais do trabalho e transtornos mentais comuns em pilotos civis. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 11, p. 2433-2442, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00151212>

GINDHART JR, R. T. **The air force physical fitness program is it adequate?** Air Command and Staff College. [S. l.]: Air University. USAF.1999.

GOLDSMITH, R. L. et al. Comparison of 24-hour parasympathetic activity in endurance-trained and untrained young men. *Journal of the American College of Cardiology*, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 552-558, 1992. DOI: 10.1016/0735-1097(92)90007-a

GREEN, N. D. C. Long duration acceleration. In: GREEN, Nicholas. **Ernsting's aviation and sapace medicine**. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. p. 131-156.

GUIMARÃES, A. O. B. A influência do treinamento aeróbio e anaeróbio na performance do piloto de caça. **Revista de Educação Física**, [s. l.], v. 75, n. 133, 2017. Disponível em: <https://revistadeeducacaofisica.emnuvens.com.br/revista/article/view/372>. Acesso em: 10 jan. 2023.

GUL, M.; SALMANOGLU, M. Long-term high +Gz effects on cardiac functions in the pilots. **Anadolu Kardiyol Derg**, [s. l.], v. 12, n. 8, p. 675, 2012. DOI: 10.5152/akd.2012.245

HINGHOFER-SZALKAY H. Gravity, the hydrostatic indifference concept and the cardiovascular system. **European Journal Applied Physiology**, [s. l.], v. 111, n. 2, p. 163-174, 2011. DOI: 10.1007/s00421-010-1646-9

HOFMAN, M. A. Evolution of the human brain: when bigger is better. **Front Neuroanat**, [s. l.], v. 27, p. 8-15, 2014. DOI: 10.3389/fnana.2014.00015

JACKSON, E. M.; DISHMAN, R. K. Cardiorespiratory fitness and laboratory stress: A meta-regression analysis. **Psychophysiology**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 57-72, 2006. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2006.00373.x.

KUBE, L. C. Adaptações fisiológicas do organismo ao exercício físico capacitação física e aptidão físico-profissional do aviador. In: SEMINÁRIO DE ESTUDOS: PODER AEROESPACIAL E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, II., Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro, 2010.

LIMA, A. H. R. A. et al. Efeito agudo da intensidade do exercício de força na modulação autonômica cardíaca pós-exercício. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 6, p. 498-503, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2011005000043>

LIN, P. C.; WANG, J.; LI, S. C. Subjective stress factors in centrifuge training for military aircrews. **Applied Ergonomics**, [s. l.], v. 43, n. 4, p. 658-663, 2012. DOI: 10.1016/j.apergo.2011.10.002

LOPES, J. S. C. O Acordo de Compensação Offset entre Brasil e Suécia: o Projeto F-x2 e o Gripen Ng. **Revista Perspectiva**, [s. l.], v. 11, n. 21, 2018. Disponível em: file:///C:/Users/marco/Downloads/adanilevicz,+3+Gripen+ng.pdf. Acesso em: 25 fev. 2023.

LUDWIG, D. A. et al. Logistic risk model for the unique effects of inherent aerobic capacity on +Gz tolerance before and after simulated weightlessness. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 58, n. 11, p. 1057-1061, 1987. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3689269/>. Acesso em: 25 fev. 2023.

MACDOUGALL, J. D. et al. Factors affecting blood pressure during heavy weight lifting and static contractions. **Journal Applied Physiology (1985)**, [s. l.], v. 73, n. 4, p. 1590-1597, 1992. DOI: 10.1152/jappl.1992.73.4.1590

MEDEIROS, P. T. A. **Contribuições da Psicologia Para a Saúde Mental do Aeronauta**. 2021. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Aeronáuticas, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/1719>. Acesso em: 16 out. 2022.

MORROW, J. R. Expectation and Reality: The Great War in the Air*. **Airpower Journal**, [s. l.], 1996. Disponível em: <http://www.airpower.Maxwell.af.mil/airchronicles/apj/apj96/win96/morrow.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2023.

NEWMAN, D. G.; WHITE, S. W.; CALLISTER, R. Patterns of physical conditioning in Royal Australian Air Force F/A18 pilots and the implications for 1 Gz tolerance. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 70, n. 8, p. 739-744, 1999. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10447045/>. Acesso em: 26 ago. 2023.

OLIVEIRA-SILVA, I. **Respostas autonômicas e cardiovasculares em voo e sua relação com a aptidão física**. 2016. 155 f. Tese (Doutorado em Educação Física) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 2016.

PALHARES, G. L.; ESPÍRITO SANTO, R. A. JR. O Turismo é o Transporte Aéreo como Multiplicadores Socioeconômicos. In: SETTI, J. R. A.; LIMA JR., L. F. (eds.). Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2001. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES (ANPET), XV., 2001, Campinas. *Anais* [...]. Campinas, 2001. p. 225-232.

PALMA, A.; PAULICH, C., **A influência da aptidão física aeróbia sobre o desgaste em voo dos pilotos de caça**. [s. l.]: ENEGEP, 1999.

POLLOCK, R. D, et al. Hemodynamic Responses and G Protection Afforded by Three Different Anti-G Systems. **Aerospace Medicine and Human Performance**, [s. l.], v. 90, n. 11, p. 925-933, 2019. DOI: 10.3357/amhp.4927.2019

RAINFORD, J. D.; GRADWELL, P. D., **Ernsting's Aviation Medicine**. 4. ed. London: Hodder Arnold, 2006. 864 p.

RANGEL, M. V. S. **Modulação autonômica em pilotos militares de combate e transporte da Força Aérea Brasileira: um estudo caso-controle**. 2022. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Exercício e do Esporte) – Instituto de Educação Física e Desportos, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

RAVEN, P. B.; PAWELCZYK, J. A. Chronic endurance exercise training: a condition of inadequate blood pressure regulation and reduced tolerance to LBNP. **Medicine Science Sports Exercise**, [s. l.], v. 25, n. 6, p. 713-721, 1993. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8321109/>. Acesso em: 5 jun. 2023.

RIBAS, P. R. **O fenômeno da fadiga central na pilotagem de helicópteros: o efeito da condição física aeróbia sobre o comportamento psicofisiológico**. 2003. 129 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física). Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro, 2003.

NATO RTO-MP-33 AC / 323 (HFM) TP / 13. Operational Issues of Aging Crewmembers. 1999. Disponível na internetem: <<http://www.rta.nato.int/panel.asp?panel=HFM&topic=pubs>>

SÁ, G. B. **Efeitos fisiológicos da aviação de combate e do condicionamento cardiorrespiratório sobre o controle autonômico cardiovascular**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cardiovasculares) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

SAUVET, F. et al. Heart rate variability in novice pilots during and after a multi-leg cross-country flight. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 80, n. 10, p. 862-869, 2009. DOI: 10.3357/asem.2531.2009

SILVA JÚNIOR, F. C. **Atividade física dos pilotos de caça da FAB: análise da realidade e proposição de estratégias para implantação da programas de treinamento específicos.** Dissertação (Mestrado em Ciências Aeroespaciais) -Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, Y. **Alterações tomográficas dos seios paranasais em pilotos de caça por meio de imagens tomográficas.** 2020. 139f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

SLESSAREV, M. et al. Differences in the control of breathing between Andean highlanders and lowlanders after 10 days acclimatization at 3850 m. **Journal Physiology**, [s. l.], v. 588, p. 1607-1621, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.186064>

TESCH, P. A.; BALLDIN, U. I. Muscle fiber type composition and G-tolerance. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, v. 55, n. 11, p. 1000–1003, 1 nov. 1984. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6508678/>. Acesso em: 05 jun 2023.

TESCH, P. A.; HJORT, H.; BALLDIN, U. I. Effects of strength training on G tolerance. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 54, p. 691-695, 1983. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6626076/>. Acesso em: 5 jun. 2023.

YASHIN, A. I. et al. Stochastic model for analysis of longitudinal data on aging and mortality. **Mathematical Biosciences**, [s. l.], v. 208, n. 2, p. 538-551, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2006.11.006>

YUN, C.; OH, S.; SHIN Y. H. AGSM Proficiency and Depression Are Associated With Success of High-G Training in Trainee Pilots. **Aerospatial Medicine and Human Performance**, [s. l.], v. 90, n. 7, p. 613-617, 2019. DOI: 10.3357/amhp.5323.2019

XIN-SHENG, C. et al. Visual Symptoms and G-Induced Loss of Consciousness in 594 Chinese Air Force Aircrew—A Questionnaire Survey. **Military Medicine**, [s. l.], v. 177, n. 2, p. 163-168, 2012. DOI: 10.7205/milmed-d-11-00003