

FISIOLOGIA DA FADIGA, SUAS IMPLICAÇÕES NA SAÚDE DO AVIADOR E NA SEGURANÇA NA AVIAÇÃO

Luciene Conte Kube ¹

Artigo submetido em 18/08/2010.

Aceito para publicação em 14/10/2010.

RESUMO: O objetivo deste artigo é revisar alguns aspectos relevantes sobre o conceito de fadiga, os mecanismos conhecidos da fadiga periférica, algumas hipóteses dos mecanismos de fadiga central e as implicações no processo de fadiga do avião. A fadiga, seja ela periférica ou central, é um conceito complexo, um conjunto de conhecimentos ainda não consolidado. Apresenta-se como um processo que extrapola sintomas, tais como as respostas visíveis dos mecanismos fisiológicos desencadeantes de fadiga, sendo que a hipótese básica aqui discutida fundamenta-se no encadeamento de fenômenos, primariamente energéticos, seguidos de respostas neuroendócrinas e neuroimunológicas. Essas compõem um quadro sintomático de queda de desempenho físico e mental do avião, minimizado, segundo estudos da fisiologia do trabalho aplicada à aviação, por um melhor condicionamento físico, principalmente da aptidão física aeróbica. Aviadores, em alguns estudos, apresentaram respostas satisfatórias no enfrentamento dos processos de fadiga por estarem bem condicionados aerobicamente. Esse fato aponta para a necessidade de desenvolvimento de programas profiláticos de treinamento, em especial, da aptidão aeróbica, que têm o objetivo de melhorar o desempenho do piloto nas tarefas de cabine e segurança de voo, com consequentes benefícios para a qualidade de vida do avião.

PALAVRAS CHAVE: Aptidão aeróbica. Fadiga do avião. Segurança de voo.

1 INTRODUÇÃO

A fadiga é uma condição restritiva para a continuidade de trabalho e embora a fisiologia apresente variadas hipóteses para explicá-la, ainda não existe um conhecimento consolidado, uma vez que a fadiga parece sofrer interferências, basicamente, de duas frentes, uma física e outra mental, ou psicológica (ASTRAND et al., 2006).

¹ Bacharel em Biomedicina (1979), Especialista em Biologia da Performance Humana (Instituto de Biociências – IB-UNESP, 1991), Mestre em Ciências da Motricidade (IB-UNESP-SP, 1995), Especialista em Administração avançada com ênfase em Gestão Pública (FAAP-SP/ 2006), Doutora em Ciências Aeroespaciais (Universidade da Força Aérea, UNIFA, 2010). Atualmente Professora da Academia da Força Aérea e pesquisadora na área de Antropotecnologia, foco na utilização de tecnologia e transferência tecnológica (ênfase em Defesa Nacional), Desenvolvimento de performance humana em vôo, segurança e saúde do aeronauta. lucienelck@gmail.com

Na fadiga o organismo perde eficiência, mas essa perda não pode ser definida como exclusivamente física ou, então, mental. Portanto, sugerem-se, a princípio, duas visões diferentes, a título de definição. Uma é a fadiga muscular, que acaba redundando na fadiga periférica, outra é a Fadiga Geral, também conhecida como Fadiga Central (KROEMER; GRANDJEAN, 2005).

Para Mota, Cruz e Pimenta (2005) e Astrand et al. (2006), o conceito de fadiga está ainda imaturo. Após quase um século de pesquisas algumas hipóteses vão sendo propostas e, ao que tudo indica, algumas fases do processo de fadiga ainda não foram completamente explicadas, todavia, tudo indica que o processo metabólico é desencadeado desde o início da atividade, embora seus sintomas apareçam progressivamente ao longo da atividade.

Limongi França e Rodrigues (1999) entendem a fadiga como um estado físico e mental, resultante de um esforço prolongado ou repetido, repercutindo sobre vários sistemas do organismo e provocando múltiplas alterações de funções. Invariavelmente essas alterações levam a uma diminuição do desempenho laboral de forma qualitativa e quantitativa. Em seu ápice contribui para o absenteísmo no trabalho e vários distúrbios psicológicos, que afetam a vida pessoal, familiar e social.

Astrand et al. (2006) sugerem que a fadiga pode ser definida como um estado de perturbação na homeostasia, podendo tal perturbação ser atribuída ao tipo e intensidade do trabalho e do ambiente no qual é realizado. Com isso são produzidos sintomas subjetivos e objetivos. Sintomas subjetivos vão desde uma leve sensação de cansaço até sensação de exaustão.

Hipóteses na área da fisiologia do esforço e da psicofisiologia tentam aliar a sintomatologia subjetiva aos aspectos fisiológicos objetivos ou mensuráveis, tais como acúmulo de lactato e amônia no sangue e outros aspectos bioquímicos mais complexos.

Sensações subjetivas de fadiga, como sensação de cansaço e fraqueza

geral podem ocorrer após o final de um dia de trabalho, de oito horas, com carga média de 30 a 40, até 50%, além da potência aeróbia máxima do indivíduo (ASTRAND et al., 2006). Isso faz aparecer sinais objetivos como dores musculares, tonturas, dor de cabeça, devido à tensão emocional, ansiedade, aumento da frequência cardíaca e respiratória, além de pressão arterial alterada e de alterações digestivas.

Provavelmente tais alterações orgânicas sintomáticas podem dificultar a tomada de decisões, pois a capacidade de concentração, provavelmente estará comprometida, juntamente com a evocação da memória. Não há dúvida que a atuação do avião, diante desse quadro, poderá comprometer o desempenho das funções básicas de seu trabalho, o que leva a aumentar a probabilidade de erros e acidentes aéreos.

O conhecimento das respostas psicofisiológicas tem relevante importância na aviação, se considerado o alto percentual de participação humana (cerca de 90% no período de 1989 a 1999) nas ocorrências acidentais na aviação do Exército (RIBAS, 2003).

São revisados alguns aspectos metabólicos relevantes que redundam na instalação da fadiga, considerando os mecanismos conhecidos de fadiga periférica, algumas hipóteses sobre a fadiga central e as implicações do processo de fadiga no trabalho do avião e conseqüente segurança de voo.

O objetivo básico dessa breve revisão de literatura está em mostrar o provável encadeamento desses fenômenos, sendo primariamente energéticos seguidos dos fenômenos neuroendócrinos e neuroimunológicos, que acabam compondo um quadro geral de sintomas clássicos, que externamente se denominam de fadiga. Baseado nesses fatos, discute-se as implicações dessas manifestações nas atividades do avião e o papel profilático da boa aptidão física aeróbica como retardador do processo de fadiga.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mecanismos fisiológicos do processo de fadiga periférica

Na fadiga periférica, a complexidade se estabelece através do tipo de contração muscular, da frequência, da intensidade e duração do exercício, além do tipo de fibras do grupo muscular.

Existem basicamente três tipos de fibras musculares, que apresentam, devido a suas características bioquímicas e neurais, diferentes velocidades de contração. As fibras do tipo I, são fibras lentas com baixa capacidade glicolítica em contraste com alta capacidade oxidativa, recebem grande fluxo sanguíneo e são providas de grandes quantidades de mitocôndrias, se encarregando, portanto, do trabalho aeróbico prolongado.

O tipo Ila são fibras que trabalham de forma predominantemente anaeróbica, mas que possuem uma certa capacidade oxidativa e, embora especializadas em rápidas explosões e repostas muito velozes possuem uma boa resistência à fadiga. São fibras intermediárias nos processos metabólicos energéticos. Em contrapartida, o Tipo I Ib, são fibras rápidas, com alta capacidade glicolítica, mas baixa aptidão oxidativa, não necessitam de muito aporte sanguíneo e servem para atividades rápidas, intensas e intermitentes no ritmo motriz. (WILMORE; COSTILL, 2001).

No exercício prolongado, a intensidade do trabalho tem muita importância, uma vez que a medida quantitativa da capacidade individual para sustentar um exercício prolongado, portanto, aeróbico, é o nível do consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$), um indicador da aptidão de captação de oxigênio pelo organismo.

Segundo Rossi e Tirapegui (1999), experimentos que investigam os fenômenos da fadiga advindos do exercício físico, dão conta que a intensidade em que são executados atinge a faixa de 60 a 90% do $VO_{2máx}$, durante um determinado tempo de exercício.

O tempo de duração e a intensidade da atividade determinam a ativação

dos sistemas bioenergéticos. No exercício intenso e prolongado, a fadiga se apresenta predominantemente através da hipoglicemia, pela escassez de glicose e o consequente e paulatino decréscimo do nível de oxidação de carboidratos e depois de lipídios, com destaque para a relação existente entre a depleção do glicogênio estocado, tanto no músculo, quanto no fígado e a resistência ao exercício (ROSSI; TIRAPEGUI, 1999).

Em exercícios de alta intensidade e curta duração, que atingem cerca de 90% do $VO_{2máx}$, uma parte da energia requisitada para o movimento acaba desviada para a produção de metabólitos, como o lactato, aumento do fosfato inorgânico (Pi) pela quebra do trifosfato de adenosina (ATP), formação de difosfato de adenosina (ADP) e monofosfato de Adenosina (AMP), liberação de íons de hidrogênio (H^+) e consequente queda do pH sanguíneo. O acúmulo desses metabólitos acaba gerando um menor rendimento muscular no exercício.

O trifosfato de adenosina (ATP) é uma molécula fosfatada de alta energia que através de hidrólise libera uma grande quantidade de energia, sendo a principal fonte de fluxo energético do organismo. Precisa ser mantida em alta concentração, pois uma vez utilizada como fonte energética, deve ser reposta na mesma proporção para que a sua concentração não sofra desequilíbrio desfavorável e desencadeie processos de queda de rendimento (HOUSTON, 2001).

Na contração muscular, a quebra de uma molécula de ATP resulta na formação de uma molécula de ADP (difosfato de adenosina), e a liberação de fosfato inorgânico, além de uma quantidade de energia de 7,6 kcal/mol de ATP (WILMORE; COSTILL, 2001).

Grande parte da formação de ATP acontece por meio de processos aeróbicos, mas também é formado em processos anaeróbicos, porém em menor quantidade. Há uma proporção de restituição de ATP, na qual duas moléculas de ADP são necessárias para restituir uma de ATP e uma de AMP (monofosfato de adenosina). Com a intensidade e, principalmente, a duração da atividade muscular, essa proporção de refosforilação de ADP para ATP sofre um decréscimo fazendo

com que o ADP e o AMP comecem a se concentrar no tecido muscular.

No exercício moderado, o ciclo adenina nucleotídeo induz a deaminação do AMP para IMP (monofosfato de inosina) e o músculo produz grande quantidade de amônia. Isso acontece, segundo Rossi e Tirapengui (1999), não só nos músculos ativos, mas também no tecido cerebral e até em outros órgãos. A amônia produzida está associada tanto à fadiga periférica, quanto à fadiga central, sendo, apenas, mais um dos componentes desse complexo processo.

A depleção de glicogênio na atividade muscular intensa e prolongada induz a formação de IMP (monofosfato de inosina), um sinalizador de estresse metabólico, em conjunto com o acúmulo de lactato e a diminuição de fosfocreatina, com aumento da enzima creatina-quinase no sangue, um marcador de dano e exaustão muscular, denotando fadiga intensa.

O lactato acumulado durante um exercício intenso e prolongado é considerado um dos mais populares marcadores bioquímicos da fadiga. Pela intensidade e pela duração do exercício, há um desequilíbrio no processo de remoção do lactato, o que o faz acumular-se, uma vez que é produzido continuamente no organismo, sendo, porém, a remoção deste mais eficiente em um organismo em condições de repouso.

Quando o organismo não possui mais condições de manter-se na via oxidativa, devido ao déficit de oxigênio e à falência dos mecanismos oxidativos, que inclui carboidratos e lipídeos, desvia-se da produção de piruvato em direção à produção de lactato, que atinge alta concentração no tecido muscular e se difunde por todo organismo (HOUSTON, 2001).

Tal fato diminui o pH (aumento da quantidade de íons Hidrogênio nos tecidos e fluidos corporais) das células musculares provocando acidez no meio extracelular, que afeta a produção de energia e a contração muscular. O pH inferior a 6,9 inibe a ação da Fosfofrutoquinase (PFK), uma enzima chave no processo glicolítico, diminuindo a velocidade da glicólise e, conseqüentemente, da produção de ATP, reduzindo, portanto, a produção de energia para o movimento.

A alta concentração de íons H^+ afeta o fluxo de cálcio (Ca^{+2}) na fibra, interferindo no acoplamento das pontes cruzadas actina/miosina, presentes no músculo, o que reduz progressivamente a quantidade de fibras musculares capazes de se contrair (WILMORE; COSTILL, 2001).

Deixando o meio intramuscular, pesquisas sugerem que certas condições podem resultar em fadiga em face de uma incapacidade de ativação das fibras musculares, ou seja, o impulso nervoso. Transmitido através da junção neuromuscular, ele é responsável pela ativação da membrana, fazendo com que o retículo sarcoplasmático libere o cálcio que se liga à troponina, que se acopla aos filamentos de actina e miosina. Isso provoca um deslizamento de miosina sobre a actina provocando um encurtamento ou alongamento das fibras musculares, produzindo movimento. Falhas no mecanismo de transmissão do impulso nervoso comprometem a produção do movimento. A fadiga pode acontecer na junção neuromuscular o que impede a transmissão do impulso nervoso para a membrana sarcoplasmática (WILMORE; COSTILL, 2001).

Wilmore e Costill (2001) elencam uma série de possíveis falhas, entre elas, redução da liberação ou da síntese de acetilcolina, o neurotransmissor que proporciona a passagem de impulso dos neurônios motores para a membrana muscular. Aqui pode estar o ponto de transição entre a fadiga periférica e a fadiga central.

A hiperatividade de colinesterase, enzima que degrada a acetilcolina, pode impedir uma concentração suficiente do neurotransmissor capaz de desencadear o potencial de ação que transmite o impulso adiante. Também a hipoatividade dessa enzima acaba permitindo um excesso de acetilcolina na junção, paralisando a fibra muscular. Para Astrand, *et al.* (2006), esse fenômeno é considerado próprio da fadiga muscular, no entanto alguns pesquisadores o classificam como próprios da fadiga central (ASCENSÃO *et al.*, 2003).

Para Rossi e Tirapegui (1999), o processo de contração muscular e de fadiga ainda exige mais pesquisas, pois se trata de um evento de interação

fisiológica bastante complexo. O que se percebe é a grande complexidade do assunto, a escassez de pesquisas que comprovem hipóteses da área e talvez um problema na concepção do conceito de fadiga. Dessa forma algumas áreas, ainda pouco reconhecidas na comunidade científica, propõem hipóteses que correlacionem fatores fisiológicos e fatores psíquicos, como é o caso da psicofisiologia.

2.2 Hipóteses sobre os mecanismos fisiológicos do processo de fadiga central

Um exercício moderado a intenso produz uma sobrecarga, prioritariamente, em três sistemas orgânicos: (a) Sistema Bioquímico – via metabólica, com depleção de glicogênio que posteriormente afeta a utilização dos aminoácidos, (b) Sistema Neuronal – via neuromuscular, provoca decréscimo da função neuromuscular, (c) Sistema Endócrino – via adrenal, que libera, por exemplo, o cortisol, também chamado de hormônio do estresse. Isso acontece quando o exercício físico se prolonga ou também em outras condições nas quais a reserva de carboidratos está diminuída no organismo (HOUSTON, 2001).

O sistema neural atuante nos mecanismos de fadiga periférica já é bastante conhecido e se baseia na disfunção do processo de contração, como impedimentos na transmissão neuronal no retículo sarcoplasmático, ligados à oferta energética de glicose e trifosfato de adenosina (ATP), além da disponibilidade de liberação de cálcio no sistema. Isso pode explicar a queda de rendimento.

Por outro lado, algumas hipóteses defendem que um rendimento comprometido não está exclusivamente ligado a uma diminuição da concentração de glicose sanguínea, glicogênio hepático e muscular e sim a um mecanismo central que acaba limitando o rendimento e estabelecendo o ponto de exaustão (ROSSI; TIRAPEGUI, 1999).

Investigações nos últimos 30 anos focaram suas atenções sobre o metabolismo dos carboidratos e das gorduras durante o exercício, deixando de lado o papel das proteínas. No entanto, estudos mais recentes voltaram-se para a

verificação da interferência das proteínas, que parecem contribuir significativamente no rendimento do exercício ou estresse prolongado (ROSSI; TIRAPEGUI, 1999).

A hipótese da fadiga central destaca o papel dos aminoácidos como precursores de alguns neurotransmissores cerebrais, supondo que sob condições de exercício ou atividade intensa e prolongada tais neurotransmissores atuem nos sistemas monoaminérgicos desenvolvendo algumas das fases do processo de fadiga. Todavia pouco se sabe realmente sobre esse processo. Existem estudos e hipóteses ainda sem comprovação confiável (ROSSI; TIRAPEGUI, 1999).

Aminas biogênicas são compostos funcionais responsáveis pela regulação do metabolismo. Formam-se a partir de um processo chamado descarboxilação de aminoácidos aromáticos, tais como a fenilalanina, tirosina e triptofano, esse último, precursor do neurotransmissor serotonina, que desperta interesse na pesquisa da fadiga central. Embora não seja o único envolvido na percepção e desenvolvimento da fadiga, ele interfere diretamente sobre os aspectos comportamentais, como a formação da memória, os processos de sono e das alterações do humor (ROSSI; TIRAPEGUI, 1999).

Derivadas da tirosina estão as catecolaminas, como a dopamina, noradrenalina e adrenalina, sendo a dopamina o primeiro neurotransmissor a ser relacionado à fadiga central. A dopamina está diretamente relacionada à função motora e foi amplamente utilizada por esportistas para melhorar desempenho atlético. Também foi usada como anorético para a supressão do apetite.

O cortisol parece contribuir no processo de desenvolvimento da fadiga central, através de sua influência na diminuição da síntese protéica aumentando a degradação das proteínas. Dessa forma aumenta-se a oferta de aminoácidos para o processo de gliconeogênese, ou seja, o processo de produção de glicogênio a partir de outras fontes que não a glicose. Um provável desequilíbrio de produção/utilização de aminoácidos pode desandar a produção e liberação de neurotransmissores cerebrais. Isso fomenta a questão da origem da fadiga central com notável prejuízo de rendimento (ROSSI; TIRAPEGUI, 1999).

Bara Filho *et al.*(2002) em experimento com grupos de nadadores competitivos de alto desempenho, relacionaram um tratamento experimental de relaxamento progressivo com a diminuição do nível de cortisol sanguíneo desses atletas. Concluíram que parece haver uma grande relação psicofisiológica entre estresse, fadiga e nível de exigência física e psicológica.

Um estressor, ou seja, o agente causador do estresse pode por insistência de sua participação no processo, levar à fadiga. Isso resulta em hiperfuncionamento do sistema nervoso simpático e do sistema neuroendócrino, em especial a glândula supra-renal, acelerando o organismo e secretando entre outros o cortisol, o hormônio do estresse. Para equilibrar esse desgaste o hipotálamo e o sistema nervoso parassimpático, numa reação pró-homeostase, trabalham num processo inverso para auxiliar na adaptação orgânica.

Segundo Toivanen (1994 apud BARA FILHO *et al.*, 2002) uma grande liberação de cortisol pode estar refletindo situações em que o sujeito está perdendo o controle, entrando em fase de distresse (estresse excessivo e negativo) e posterior ou concomitante depressão.

Bara Filho *et al.* (2002) demonstraram que uma redução de níveis de cortisol se consegue com um programa de relaxamento progressivo, que promove maior autocontrole, suposta previsibilidade de ação e provável envolvimento prazeroso e motivador com a tarefa desenvolvida.

Essas constatações são de grande importância para o trabalho com aviadores, entre os quais se apresentam o estresse, a fadiga e vários agravantes a médio e longo prazos, caso não sejam tratados. O benefício de um programa de relaxamento pode interferir na redução das possibilidades de perda de controle psicofisiológico e diminuir o desenvolvimento de síndromes crônicas, como a síndrome metabólica, além de afetar positivamente as condições de segurança de voo e a qualidade de vida do trabalhador.

Outro protagonista provável no desenvolvimento do processo de fadiga central aparece em recentes estudos. Segundo Prestes *et al.* (2006), o comando

neural central pode sofrer interferência da Interleucina-6, que é uma citocina; ou seja, um grupo de proteínas bioquimicamente ativas com funções endócrinas e metabólicas.

A interleucina-6 é conhecida por ser uma molécula de sinalização associada ao controle e à coordenação de respostas imunes, sendo secretada primeiramente pelos macrófagos e linfócitos (tipos de glóbulos brancos) sempre em resposta a uma lesão ou a uma infecção (PRESTES et al., 2006).

Nos últimos anos, pesquisas revelaram que a interleucina-6 está relacionada ao exercício e por isso recebeu também a denominação de miocina, por ser produzida e liberada no músculo em resposta ao exercício físico, embora exerça seus efeitos também em outros órgãos do corpo.

De acordo com Prestes *et al.* (2006), esta citocina exerce importante papel na manutenção da homeostasia da glicose durante o exercício prolongado, para aperfeiçoar a resposta metabólica muscular no exercício. No entanto, a Interleucina-6 aumenta exponencialmente com o aumento da duração e da intensidade do exercício, sofrendo influências da quantidade de massa muscular que está sendo recrutada na atividade, da quantidade de glicogênio estocada e aptidão aeróbica do indivíduo.

A queda na concentração de glicogênio muscular pode ser um fator crítico que dispara a resposta da interleucina-6 no exercício e sinaliza uma transição do fenômeno energético para o fenômeno neuroendócrino e neuroimunológico, que compõe parte da hipótese sugerida neste artigo.

A interleucina-6 acaba interferindo no metabolismo dos neurotransmissores, estimulando o sistema neuroendócrino na direção da fadiga, por aumento, em especial, de produção de serotonina.

A serotonina, ou 5-Hidroxitriptamina (5-HT) é um neurotransmissor derivado do aminoácido triptofano, produzido em menor escala no núcleo da Rafe no tronco cerebral, e cerca de 90% nas células enterocromafins do trato gastrointestinal.

Esse neurotransmissor é responsável pela regulação do humor, do sono, da

atividade sexual, do apetite, do ritmo circadiano, das funções neuroendócrinas, da temperatura corporal, da sensibilidade à dor, da atividade motora e das funções cognitivas. Seu provável envolvimento nos processos de fadiga central, durante exercícios prolongados, está diretamente relacionado à diminuição de sua disponibilidade no Sistema Nervoso Central, em especial com o aparecimento do cansaço e do sono, conseqüentemente comprometendo o nível de concentração e atenção (ROSSI; TERAPEGUI, 1999).

Boa disponibilidade retarda o aparecimento de sintomas como a diminuição da concentração mental e da atenção, o cansaço e o sono. Em resumo, aponta para o fato de que a serotonina em quantidades adequadas é ótima reguladora de processos importantes para a convivência do ser humano com o ambiente (ROSSI; TERAPEGUI, 1999).

A psiconeuroimunologia (PNI), um campo multidisciplinar emergente, formula a hipótese do Efeito Gatilho (trigger effect), na qual, mensageiros químicos cerebrais, que afetam diretamente o sistema imunológico, podem ser ativados por emoções, tais como a ansiedade, a raiva, depressão e estresse. Tais emoções influenciam o sistema nervoso autônomo, responsável pela vida vegetativa, controlando a frequência cardíaca, a pressão arterial, a frequência respiratória, entre outras respostas fisiológicas (RIBAS, 2003).

Respostas bioquímicas envolvem a liberação de catecolaminas, cortisol e opiáceos orgânicos, como a beta endorfina e a encefalina, liberados durante o estresse. Essas substâncias afetam o sistema imunológico produzindo imunossupressão aguda. Quando a quantidade e qualidade de estresse são mantidas por longo tempo, a imunossupressão torna-se crônica com inúmeros transtornos de ordem psicofisiológica (RIBAS, 2003).

O estresse mental agudo e intenso afeta também processos ligados à trombogênese, ou seja, há uma redução da atividade do ativador do plasminogênio tecidual, com aumento do tempo de lise (quebra) dos coágulos, expondo o organismo a riscos de trombose e embolia, pelo aumento da ativação plaquetária,

aumento de viscosidade sanguínea e diminuição do volume plasmático circulante (LOURES et al., 2002).

2.3 Implicações do processo de fadiga no trabalho do aviator

Como principais atributos críticos da fadiga aparecem: cansaço, exaustão, desgaste, alteração da capacidade funcional e falta de recursos/energia (MOTA; CRUZ; PIMENTA, 2005).

As manifestações de fadiga têm sido associadas a um declínio de força muscular produzido durante e após o exercício máximo e submáximo, com incapacidade de manter a intensidade da atividade ao longo do tempo, bem como ao decréscimo da velocidade de contração muscular e um tempo maior para que a musculatura relaxe, tanto por influência de fatores energéticos, quanto de fatores de transmissão neural (ASCENSÃO et al., 2003).

As principais consequências são: letargia, sonolência, diminuição da motivação, atenção e concentração, mal-estar, todos eles problemáticos para o aviator e a segurança de voo (MOTA; CRUZ; PIMENTA, 2005).

Parece inevitável que os aviadores sejam submetidos a variadas e adversas condições de trabalho que, normalmente provocam desgaste na saúde, comprometendo sua qualidade de vida, bem como as condições de segurança do voo.

Pilotos são submetidos a provas fisiológicas de exaustão, que envolvem situações de hipóxia, de alternadas acelerações +G e -G, entre outras, que servem para diagnosticar a capacidade física de reserva, objetivando delimitar os níveis de respostas destes em situação de emergência. Para alguns pilotos, um estado de excitação e, até certa exaustão, parecem ser positivos, segundo Cereser (1985), mas para a maioria deles a fadiga faz cair o nível de prontidão psicomotora, expondo o aviator à maior possibilidade de acidentes.

Para Cereser (1985) a questão da exaustão deve ser analisada

cuidadosamente para não ser considerada apenas como um fenômeno predominantemente subjetivo separada da dependência com a situação funcional do sistema neuro-vegetativo e da motivação.

O fenômeno da fadiga passa a ser um importante aspecto da segurança de voo que foi exposta de forma objetiva, segundo Kanashiro:

O que pode fazer com que um piloto capacitado, com excelente formação, demonstrando estar nas melhores condições psicofisiológicas cometa um erro de julgamento ou tome uma decisão inadequada e ocasione um acidente? A fadiga pode ser uma das respostas (KANASHIRO, 2005 apud, CUNHA, 2007, p. 35).

A fadiga do aviador em voo está presente, juntamente com os sinais e sintomas derivados dela em 35% dos acidentes aeronáuticos. “É uma condição subjetiva, de difícil identificação, que avança insidiosa e perigosamente sobre as tripulações, sendo seu estudo fundamental para a medicina aeroespacial” (KANASHIRO, 2005 apud, CUNHA, 2007, p. 35).

Não há dúvida que para enfrentar tais situações o organismo deve estar bem condicionado, principalmente aerobicamente, com base na fisiologia que foi discutida até o momento, para responder com mínimo dano possível ao sistema, seja ele agudo ou crônico.

Palma e Paulich (1999) estudaram o papel da aptidão física aeróbia nas respostas ao desgaste geral entre pilotos da caça da Força Aérea Brasileira. Esses pilotos são requisitados de forma relevante em seu potencial de raciocínio e de interação antropotecnológica, ou seja, a interação entre homem-máquina-tarefa em suas manobras e deslocamentos, sendo que o estresse gerado na atividade aérea pode acarretar um desgaste geral do piloto.

Numa aeronave de caça existem vários fatores que estimulam o estresse e a fadiga, tais como a grande velocidade de voo, o reduzido espaço da cabine do piloto, imobilização na cadeira através de cintos, capacetes justos, máscaras que causam grande incômodo na face, as diversificadas manobras e forças acelerativas alternadas constantemente pelas manobras da aeronave, sem contar as vibrações e

ruídos, grandes variações de temperatura e radiações atmosféricas que estimulam o desenvolvimento da fadiga (PALMA; PAULICH, 1999).

Palma (1998) afirma que, de forma geral, as condições de trabalho do aviador, militar ou civil, devem ser analisadas através das propriedades biológicas, físicas e químicas que geralmente intervêm no ambiente de trabalho e no organismo do aeronauta. Sem contar o trabalho em variados turnos que afetam o ritmo circadiano do piloto, desregulando funções orgânicas importantes, tais como o sono, a alimentação, a ansiedade, avaliadas em pesquisas como a de Tvaryanas e Thompson (2006), que consideraram também o trabalho das equipes de manutenção de aeronaves que seguem os turnos de voo.

Tvaryanas e Thompson (2006) recomendam em seu estudo, o desenvolvimento de programa de gerenciamento para promoção de cuidados com o sono, enfrentamento de estresse e de fadiga, através de diferentes modos, seja no trabalho ou em sua casa, para minimizar a instalação da fadiga (TVARYANAS; THOMPSON, 2006).

De acordo com o relatório do Departamento Intersindical de Estudo e Pesquisa de Saúde e dos Ambientes de Trabalho (DISAET), realizado com aeronautas em 1995, o ruído, por exemplo, chega a ser prejudicial não só para a audição, mas também atua desencadeando reações fisiológicas que compreendem a taquicardia, elevação da pressão arterial, cefaléia, ansiedade, insônia e irritabilidade, que acabam desenvolvendo um fenômeno denominado “fadiga de voo”, segundo relatório do DISAET (1995 apud PALMA, 1998, p. 43).

O sistema cardiovascular é prontamente ativado nas respostas às situações estressoras e responde com aumento da frequência cardíaca, aumento da contratilidade, do débito cardíaco e pressão arterial (WILMORE; COSTILL, 2001).

Para esse enfrentamento o organismo humano desenvolveu um sistema complexo de ativação e resposta que é comandado, prioritariamente, pelo sistema nervoso central, que atribui ao eixo hipotálamo-hipófise-adrenal e o sistema nervoso autônomo, a tarefa de manter a homeostasia, seja quando o organismo está em

repouso, ou diante de situações de estresse. Tal sistema cuida de funções vitais como a respiração, o ritmo cardíaco e o metabolismo intermediário (LOURES, et al. 2002 ; BRANDÃO, 2001).

Não obstante, deve se considerar também as condições de organização do trabalho que engloba sua divisão social, a hierarquia, a distribuição de tarefas, índices de produtividade, entre outros, que influenciam sobremaneira as condições de enfrentamento do aeronauta à demanda de estresse, seja ele militar ou civil.

Na sobrecarga física e emocional o indivíduo tem seus processos fisiológicos comprometidos, que se manifestam organicamente de variadas formas. Moraes (2001) propõe que sejam realizados regularmente exames hematológicos e bioquímicos em aviadores, pois podem ser obtidas algumas respostas prévias do estado fisiológico desse trabalhador, com o objetivo de prevenir o desenvolvimento de doenças crônicas e evitar uma condição laboral insegura, o que, para a aviação tem enorme impacto socioeconômico.

Tal proposta parece pertinente ao se considerar os diversos marcadores bioquímicos aqui já citados, como, por exemplo, o cortisol e o lactato, e os marcadores hematológicos, como a tipificação e quantidade dos leucócitos, das hemácias e plaquetas. Fatores neuroimunológicos podem ser detectados através desses exames e tratamentos podem ser desenvolvidos para melhorar as condições do aviador (MORAES, 2001).

Ribas (2003) em seu estudo sobre o fenômeno da fadiga central na pilotagem de helicópteros, considerando a condição da aptidão aeróbia dos pilotos focou os conhecimentos desenvolvidos pela psicofisiologia e, com base nesses conhecimentos afirma que para realizar uma tarefa importante o aviador é submetido a uma intensa carga psíquica que envolve riscos e consequências. As manifestações abarcam desde as respostas fisiológicas como também respostas cognitivas, psicomotoras e emocionais.

Dessa forma o referido autor relacionou o retardamento da fadiga central com o melhor nível de aptidão física dos pilotos de helicópteros, sobretudo da

aptidão aeróbica que parece estimular respostas diferenciadas na determinação e empenho contra agentes estressores para realizar as tarefas.

Estudos como o de Hawkins, *et al.* (1992 apud RIBAS, 2003) que envolveram indivíduos durante 10 semanas de treinamento aeróbico, concluíram que os indivíduos melhor condicionados aerobicamente obtinham também superior desempenho cognitivo nas tarefas complexas, aquelas que exigiam atenção e concentração.

Deve-se considerar, no entanto, que a desmotivação pode afetar o nível do desempenho. Estudos provam a influência da mente no aumento da força, por meio da supressão de estímulos inibitórios da contração muscular. Há comprovações de que, sob hipnose, indivíduos conseguem um aumento de até 30% na força máxima e também contribui para a motivação, por meio de sugestão mental positiva (TUBINO; MOREIRA, 2003).

Levine (2008) demonstra, segundo pesquisa com atletas, que a diminuição do ritmo do exercício e a conseqüente parada total, podem ser fatores resultantes do declínio da captação de oxigênio, esta se deve, provavelmente, às severas alterações metabólicas que ocorrem nos músculos em atividade, limitando o transporte de oxigênio e interferindo nas transmissões das vias neuronais aferentes produzindo a cessação do movimento como resposta ao comando neurológico central.

Essas limitações do desempenho físico podem ser naturais do exercício extenuante e da resposta econômica para poupar a integridade relacional do organismo, pois sem oxigênio o cérebro deixa de controlar as atividades físicas e, principalmente, as intelectuais (LEVINE, 2008).

Dados coletados por Palma e Paulich (1999) demonstram que o desgaste laboral do piloto de caça parece ser minimizado, por influência positiva da aptidão aeróbica, apresentando menor desconforto geral. Também afirmam que uma boa condição aeróbica auxilia nas respostas pós-esforço, sendo a recuperação mais rápida, além de uma proteção contra outros problemas de ordem circulatória, às

quais estão sujeitos esses profissionais, tais como hipertensão arterial e acidentes vasculares cerebrais e coronarianos.

Falar sobre fadiga periférica e fadiga central envolve considerações e observações à luz da psicofisiologia. Embora não goze, ainda, de boa aceitação no meio científico, pelo menos por enquanto, é uma área que vem tentando contribuir com conhecimentos associados de forma interdisciplinar, para dar informações sobre a interdependência dos fatores cognitivos, emocionais e fisiológicos, diante das mais diversas circunstâncias vivenciais.

Pesquisas na área da psicofisiologia demonstram estreita relação entre os níveis de estresse físico e mental com alterações nas respostas fisiológicas, como a frequência cardíaca e respiratória, taxas séricas de cortisol, adrenalina, noradrenalina e concentração de lactato sanguíneo durante as atividades físicas e laborais, segundo (BARA FILHO, 1999 e TOLEDO, 2000 apud RIBAS, 2003).

O estresse mental, ou emocional está bastante relacionado à morbimortalidade na doença aterosclerótica coronariana. Isso inclui o estresse ocupacional, além de precipitar eventos cardíacos agudos. Tal quadro é induzido por isquemia miocárdica, mais frequente em organismos mal condicionados aerobicamente (RIBAS, 2003).

O efeito benéfico de melhor oferta crônica de oxigênio e de melhoria nos processos oxidativos, auxilia na diminuição das lipoproteínas de baixa densidade (LDL), também conhecidas como colesterol ruim e aumento das lipoproteínas de alta densidade (HDL), conhecidas como bom colesterol (HOUSTON, 2001).

Para Armentrout, *et al.* (2006) embora a fadiga seja um fator significativo em acidentes, relativamente pouco tem sido feito, por exemplo, no âmbito do Comando de Mobilidade Aérea da United States Air Force (USAF) para resolver os problemas de fadiga da tripulação. Programas de combate à fadiga têm sido sugeridos, com ênfase na alimentação saudável e boa higiene do sono.

Medidas preventivas devem atender o controle do estresse através de melhoria da aptidão física, com ênfase na atividade aeróbica que induz boas

condições cardiovasculares, metabólicas e respiratórias, exercendo um papel de retardador no aparecimento dos sintomas da fadiga, com aperfeiçoamento da atividade metabólica, neuroendócrina e neuroimunológica, melhorando a qualidade de vida dos pilotos e reduzindo as possibilidades de acidentes (RIBAS, 2003).

A questão da fadiga como um dos elementos do chamado “fator humano” parece destacar-se decisivamente nos acidentes aeronáuticos, sendo lembrada por Kanashiro (2005 apud CUNHA, 2007, p. 35)

Estatísticas do Centro de investigação e Prevenção de Acidentes Aéreos (CENIPA), apresentados por Ribas (2003) dão mostras que o fator humano é o componente mais suscetível à falha num acidente aéreo. No relato estatístico de 10 anos (de 1989 a 1999), entre as 155 ocorrências aeronáuticas, 36% delas foram devidas a alterações psicofisiológicas dos aviadores (RIBAS, 2003).

RIBAS (2003) afirma que há entre aviadores uma grande incidência da ansiedade e diminuição da atenção e concentração, indícios de aspectos psicológicos que afetam o desempenho laboral desses profissionais. Essas são características de estresse mental agudo e crônico com produção dos sintomas acima descritos, caracterizando sinais da fadiga central.

Estudos do CENIPA apontam que, apesar de paradoxal, o acidente aeronáutico pode ser resultado de uma incapacidade do aviador para suportar a carga psíquica de seu labor e, muitos acidentes fornecem informações comprovadas que o indivíduo não estava, ou não respondeu, em sua condição psicofisiológica normal. Os sintomas de fadiga mental ou fisiológica, provavelmente afetaram suas decisões no momento em que foi requisitado de forma crítica no seu posto de trabalho (RIBAS, 2003).

Parece provável que pilotos com melhor condicionamento aeróbico, demonstram no pós-voo uma concentração superior, quando comparados aos colegas com menor nível de aptidão aeróbica, o que, para os primeiros, indica menor fadiga psíquica e melhores condições de enfrentamento do estresse, comum nas suas profissões, segundo estudos de Ribas (2003).

A boa condição psicofisiológica geral do piloto, aliada a uma pronunciada condição aeróbica parecem ser fatores de segurança de voo. Isso pode minimizar os sintomas do processo de fadiga e, provavelmente, as ocorrências aeronáuticas, principalmente se forem consideradas as estatísticas do CENIPA para a aviação do exército, através das quais foi constatado que 90% dos acidentes tiveram grande participação do fator humano, com evidências de problemas psicofisiológicos (RIBAS, 2003).

Portanto, é de relevante importância para a aviação, seja ela comercial ou militar, conhecer e monitorar com atenção as condições de saúde integral do aviator e acompanhar o nível de qualidade de vida, e através dele o aparecimento de sintomas dos processos de fadiga, procurando melhorar a oferta de oportunidades para treinamento e condicionamento físico, além de programas de relaxamento adequados para as tarefas da aviação.

3 CONCLUSÃO

A fadiga tem grande relevância no ambiente aeronáutico, pois é um complexo processo metabólico e neurofisiológico que se desenvolve ao longo de um tempo de trabalho físico e/ou mental intenso e prolongado. Quando se instala restringe a continuidade do trabalho ao atingir níveis que podem acarretar sintomas variados e queda de rendimento físico e mental diante das requisições da atividade.

Sintomas como sensação de cansaço, esgotamento e fraqueza geral, acompanham-se de dores musculares, tonturas, problemas gástricos, manifestações de ansiedade, taquicardia e aumento de pressão arterial, estes bastante comuns em indivíduos fatigados e sob alta tensão psicofisiológica. Aliam-se a esses sintomas, a dificuldade para tomar decisões devido ao baixo nível de concentração mental e atenção, além do comprometimento da memória.

Tal quadro se apresenta problemático numa atividade como a da aviação, pois esta envolve um risco que lhe é inerente e uma pressão por segurança, tanto nas atividades propriamente de voo, como nas de manutenção de aeronaves e

também no atendimento da segurança de passageiros e do tráfego aéreo.

Como as estatísticas apontam, o fator humano apresenta-se como o causador de grande porcentagem dos acidentes aeronáuticos, segundo o CENIPA (2000 *apud* RIBAS, 2003).

Este estudo revisou alguns conceitos fisiológicos da fadiga periférica e explorou algumas hipóteses sobre a fadiga central, embora os estudos sobre esse assunto sejam ainda pouco conclusivos, mas bastante elucidativos, ou seja, sabe-se o que deve ser feito de forma preventiva.

Trabalhos abordaram a inter-relação entre o estresse mental e as respostas do sistema cardiovascular, oportunamente lançando luz sobre o entendimento da provável influência dos estressores e as respostas desenvolvidas pelo organismo humano para tentar manter a homeostasia e equalizar, em especial, as respostas cardíacas mediante o nível de aptidão aeróbica do aviador.

A fadiga e o estresse, próprio da atividade, parecem ter sido mais bem enfrentados por aviadores com boa aptidão física aeróbica. Tal aptidão parece agir como fator mitigador do desenrolar do processo de fadiga, além de melhorar a rapidez da resposta recuperativa pós-estressores.

Alguns estudos preconizam trabalhos profiláticos na forma de programas de melhoramento da condição física geral do aviador, em especial, a aptidão física aeróbica, além de exercícios de relaxamento.

A fadiga ainda prescinde de estudos mais aprofundados, principalmente quando relacionada ao aviador e a conseqüente segurança de voo. Processos fisiológicos apontam vários mecanismos antes ignorados, tais como os neuroendócrinos e neuroimunológicos agindo sobre o sistema nervoso central e ativando respostas direcionadas a uma queda de desempenho psíquico e mental.

Pesquisas que desenvolvam melhor conhecimento das respostas aos agentes estressores e ao enfrentamento da fadiga, bem como estudos que viabilizem operacionalidade de processos diagnósticos de marcadores de fadiga, assim como métodos de prevenção e enfrentamento da fadiga serão oportunas e

convenientes na aviação militar e civil. Tais iniciativas poderão trazer progressos nos fatores de segurança de voo no que tange à minimização do fator humano, bem como na qualidade de vida do piloto.

Espera-se que tal estudo possa estimular instituições aeronáuticas, civis e militares em direção às pesquisas para diagnosticar, acompanhar e prevenir problemas de saúde de aviadores, assegurando-lhes qualidade de vida e de segurança ocupacional.

REFERÊNCIAS

- ARMENTROUT, J. J. et al. Fatigue and related human factors in the near crash of a large military aircraft. **Aviat. Space Environ. Med.**, v. 77, p. 963-970, 2006.
- ASCENSÃO, A. Fisiologia da fadiga muscular. Delimitação conceitual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, Portugal, v. 3, n.1, p. 108-123, 2003.
- ASTRAND, Per-Orlof et al. **Tratado de Fisiologia do Trabalho**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- BARA FILHO, M. G. et al. A redução dos níveis de cortisol sanguíneo através da técnica de relaxamento progressivo em nadadores. **Rev. bras. Med. Esporte**, v. 8, n. 4, jul/ago. 2002.
- BRANDÃO, M. L. **Psicofisiologia**. São Paulo: Atheneu, 2001.
- CERESER, C. H. Aptidão física como fator de prevenção de acidentes aeronáuticos. **SIPAER**. v. 1., n. 1, 2. sem. 1985.
- CUNHA, C. E. D. O voo com o NVG e a fadiga. **Rev. UNIFA**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 22, p. 29-40, nov. 2007.
- HOUSTON, M. E. **Bioquímica básica da ciência do exercício**. São Paulo: Roca, 2001.
- KROEMER, K. H.E.; GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- LEVINE, B.D., VO_2 máx: What do we know, and what do we still need to know? **J. Physiol.** v. 581, n. 1, p. 25-34, 2008.
- LIMONGI FRANÇA, A. C.; RODRIGUES, A. L. **Stress e trabalho: guia básico com a abordagem psicossomática**. São Paulo: Atlas, 1996.
- LOURES, D. L. et al. Estresse mental e sistema cardiovascular. **Arq. bras. cardiol.**, Niterói, v. 78, n. 5, p. 525-530, 2002.
- MORAES, M. S. **Proposta para monitoramento da saúde de aeronautas por meio de marcadores bioquímicos e hematológicos**. Rio de Janeiro. 2001. 182p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.

MOTA, D. D. C. F.; CRUZ, D., A. L. M.; PIMENTA, C. A. M. Fadiga: uma análise do conceito. **Acta paul. Enferm.**, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 285-293, 2005.

PALMA, A. O trabalho dos comandantes de grandes jatos: um estudo sobre aptidão física, saúde e qualidade de vida. **Artus. Rev. Educ. Fís. Desp.**, v. 18, n. 1, p. 38-52, 1998.

PALMA, A.; PAULICH, C. A influência da aptidão física aeróbia sobre o desgaste em voo dos pilotos de caça. **ENEGEP, 1999**. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999_A0780.PDF>. Acesso em: 11 out. 2010.

PRESTES, J. et al. O papel da Interleucina-6 como um sinalizador em diferentes tecidos durante o exercício físico. **Fit. Perf. J.**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 6, p. 348-353, nov./dez. 2006.

RIBAS, P. R. **O Fenômeno da Fadiga central na pilotagem de helicópteros: o efeito da condição física aeróbica sobre o comportamento psicofisiológico**. Rio de Janeiro, 2003. 129 p. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Universidade Gama Filho.

ROSSI, L.; TIRAPEGUI, J. Aspectos atuais sobre exercício físico, fadiga e nutrição, **Rev. paul. Educ. Fis.**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 67-82, jan./jun. 1999.

TUBINO, M. J. G.; MOREIRA, S. B. **Metodologia científica do treinamento desportivo**. Rio de Janeiro: Shape, 2003.

TVARYANAS, A. P.; THOMPSON, W. T. Fatigue in military aviation shift workers: survey results for selected occupational groups. **Aviat. Space Environ. Med.**, v. 77, p. 1166-70, 2006.

WILMORE, J. H.; COSTILL, D. L. **Fisiologia do Esporte e do Exercício**. São Paulo: Manole, 2001.

PHYSIOLOGY OF FATIGUE AND ITS IMPLICATIONS ON THE AVIATOR'S HEALTH AND ON AVIATION SAFETY

ABSTRACT: This paper aims at reviewing some relevant aspects of the fatigue concept, the known mechanisms of peripheral fatigue, some hypotheses of the central fatigue mechanisms and the implications on the aviator fatigue process. Fatigue, whether peripheral or central, is a complex concept, a body of knowledge not yet consolidated. It presents itself as a process that goes beyond symptoms, such as the visible responses of the physiological fatigue triggering mechanisms. The basic hypothesis discussed herein is based on the chain of phenomena, primarily energetic, followed by neuroendocrine and neuroimmunological responses, which compose a picture symptomatic of declining physical and mental performance on the part of the aviator, a condition that is minimized, according to physiological studies of work applied to aviation, by means of better fitness, especially aerobic physical fitness. Aviators, according to some studies, have shown satisfactory responses in facing the processes of fatigue on account of being aerobically fit. This fact underscores the need to develop prophylactic training programs, especially for the attainment of aerobic fitness, in order to improve the pilot's performance of the tasks related to the cockpit and flight safety, with resulting benefits to his/her quality of life.

KEYWORDS: Aerobic Fitness. Aviator Fatigue. Flight Safety.