

Correlação dos prognósticos do programa FAST com relatos de fadiga de pilotos da aviação civil brasileira

Paulo Rogério Licati^{1,5}, Tulio Eduardo Rodrigues², Daniela Wey³, Frida Marina Fischer³, Luiz Menna-Barreto⁴

1 Associação Brasileira de Pilotos de Aviação Civil, São Paulo, SP

2 Associação dos Aeronautas da GOL, São Paulo, SP

3 Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Saúde Ambiental, São Paulo, SP

4 Universidade de São Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, São Paulo, SP

5 paulolicati@gmail.com

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo identificar perigos relativos à fadiga de pilotos através do estudo de correlações entre relatos de fadiga e parâmetros quantitativos extraídos do programa *Fatigue Avoidance Scheduling Tool* [FAST]. A coleta de dados foi realizada em 2012 e incluiu 301 questionários baseados nas recomendações da *International Civil Aviation Organization* [ICAO] que foram respondidos de maneira anônima e espontânea por pilotos da aviação civil brasileira. As questões incluíam informações sobre o horário da sensação de fadiga, o histórico da jornada de trabalho, a qualidade e a duração subjetivas de sono nas últimas 72 horas. A Efetividade dos pilotos apresentou distribuição normal com valor médio de $73,8 \pm 0,8\%$ (Hursh *et al.*, 2004). Os relatos de fadiga, em função das horas do dia, ficaram concentrados nos valores médios de $3,1 \pm 0,4h$, $9,8 \pm 0,5h$ e $21,3 \pm 0,4h$. A distribuição da duração da vigília, anterior à sensação de fadiga, apresentou dois picos de valores médios de $7,0 \pm 0,6h$ (53%) e $18,0 \pm 0,5h$ (47%). Deste modo, foi observada uma relação exponencial entre os horários de início da vigília e de relato da sensação de fadiga, permitindo estimar a hora provável da fadiga em função da hora de início da vigília na população estudada. O valor médio de duração da vigília de $7,0 \pm 0,6h$ pode estar relacionado à fadiga acumulada (fadiga crônica), presumindo-se que tenha sido ocasionada pela média de 5,1h de sono nas últimas 24 horas, e o débito crônico de sono de 7,41h nas últimas 72 horas. Os resultados sugerem um cenário indesejável em relação à segurança operacional na aviação civil, principalmente quando os pilotos venham a cumprir turnos de trabalho sucessivos durante períodos de ritmo circadiano baixo. Este perigo pode conduzir a situações de risco, suscitando a necessidade de implantar sistemas de gerenciamento do risco da fadiga que introduzam controles eficientes na indústria de aviação brasileira.

Palavras chave: Fadiga Humana. Modelo Biomatemático. Gerenciamento de Risco. Jornada de trabalho

Correlation between FAST software output and fatigue reports from Brazilian civil aviation pilots

ABSTRACT: This paper aims at the identification of hazards related to pilot fatigue through the correlation between fatigue reports and prognostics from *Fatigue Avoidance Scheduling Tool* [FAST] software. The survey was carried out in 2012, including 301 questionnaires based upon the *International Civil Aviation Organization* [ICAO] recommendations answered anonymous and spontaneously by Brazilian civil aviation pilots. The questions included the clock time when the fatigue was sensed, duty time history, subjective quality and length of sleep within the last 72 hour. Pilot Effectiveness showed normal distribution with a mean value of $73.8 \pm 0.8\%$ (Hursh *et al.*, 2004). The fatigue reports, as a function of time of the day, were concentrated in the mean values of $3.1 \pm 0.4h$, $9.8 \pm 0.5h$ and $21.3 \pm 0.4h$. The distribution of wakefulness period from pilots prior to fatigue sensation presented two peaks at $7.0 \pm 0.6h$ (53%) and $18.0 \pm 0.5h$ (47%). An exponential relationship between the starting time of wakefulness and the time of the day of fatigue was observed, making possible to estimate the most likely fatigue time for a given start time of wakefulness in this population. The average wakefulness period of $7.0 \pm 0.6h$ may be related to cumulative fatigue (chronic), presuming it was caused by the last 24 hours average sleep of 5.1h and the chronic sleep debt of 7.41h in the last 72 hours. These results suggest an undesirable scenario related to safety in Brazilian civil aviation, particularly when pilots follow through successive duties encompassing low circadian rhythm periods. This hazard may lead to increase fatigue issues on safety related occurrences raising the need for implementation of fatigue risk management systems in order to introduce effective controls in the Brazilian civil aviation industry.

Key words: Human Fatigue. Biomathematics Modeling. Risk Management. Duty Time

Citação: Licati, PR; Rodrigues, TE; Wey, D; Fischer, FM; Menna-Barreto, L. (2015) Correlação dos prognósticos do programa FAST com relatos de fadiga de pilotos da aviação civil brasileira. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 6, No. 1, pp. 7-17.

Recebido 18 outubro 2014; **Aceito** 27 janeiro 2015; **Publicado** 30 abril 2015

1 INTRODUÇÃO

A degradação do desempenho cognitivo de pilotos devido à fadiga é um tópico que merece atenção, visto que

pode acarretar em aumento substancial na probabilidade de erros ou julgamentos incorretos durante fases críticas de voo, reduzindo as margens de segurança operacional (FAA, 2010).

A chamada ‘sociedade 24 horas’ impõe, por diversos meios, a continuidade de prestação de serviços em vários setores, incluindo o transporte coletivo (urbano e interurbano) em todas as suas formas (terrestre, fluvial e aéreo) (Fischer; Rotenberg & de Castro Moreno, 2004). A imposição da vigília em horários noturnos, que naturalmente deveriam ser de repouso, perturba o ritmo biológico, incluindo o ciclo vigília-sono, tendo como consequência a maior sonolência no trabalho que afeta disposição, bem-estar e o próprio desempenho do profissional (Haugli, Skogstad & Hellesoy, 1994).

O transporte aéreo é uma atividade ininterrupta que cresce com a demanda global para atender à necessidade de transporte de pessoas e cargas (Licati *et al.*, 2010). A fadiga de pilotos é um problema que afeta de forma significativa as operações aeronáuticas, devido à irregularidade e extensão das jornadas de trabalho e às perturbações do ritmo biológico (Caldwell *et al.*, 2009). Conforme definição da *International Air Transport Association* [IATA], *International Civil Aviation Organization* [ICAO] e *International Federation of Air Line Pilots Association* [IFALPA], a fadiga é um estado fisiológico onde a capacidade de desempenho mental e físico está reduzida, seja em função da perda de sono ou vigília prolongada, seja pela alteração nos ritmos circadianos associados à atenção/vigília e/ou na carga de trabalho (atividades mentais e/ou físicas) que podem prejudicar a capacidade de vigilância e a habilidade de operar com segurança uma aeronave ou desempenhar tarefas relacionadas à segurança operacional (IATA, ICAO & IFALPA, 2011).

Especificamente, no caso de pilotos da aviação civil brasileira, a fadiga é um problema que tem despertado atenção. De acordo com Mello *et al.* (2008), os erros classe III, caracterizados pela extrapolação de limites e/ou descumprimento de procedimentos operacionais, cometidos por 515 comandantes e 472 copilotos apresentam maior incidência (46%) entre 00h00 e 05h59 quando comparados ao intervalo 06-11:59h. Adicionalmente, Quito (2012) demonstrou em estudo preliminar que a fadiga contribuiu em cerca de 79% dos eventos classe III, segundo análise feita com o programa *Fatigue Avoidance Scheduling Tool* [FAST].

A ICAO reconhece a fadiga como um grande risco relacionado à área de Fatores Humanos, uma vez que esta afeta a capacidade da tripulação em executar suas atividades. Para mitigar este risco, a ICAO recomenda que os operadores estabeleçam Sistemas de Gerenciamento do Risco da Fadiga, em inglês, *Fatigue Risk Management System* [FRMS], a fim de monitorar e gerenciar continuamente riscos à segurança operacional relacionados à fadiga, com base em princípios e conhecimentos científicos, bem como em experiência operacional, que tenham o objetivo de garantir que o pessoal envolvido desempenhe suas atividades com nível adequado de vigilância (IATA, ICAO, & IFALPA, 2011).

O objetivo deste trabalho multidisciplinar é identificar perigos relacionados à fadiga de pilotos na aviação civil brasileira, por meio da combinação da análise estatística de relatos de fadiga subjetiva com parâmetros quantitativos ex-

traídos do programa FAST.

2 MÉTODOS

2.1 POPULAÇÃO ESTUDADA

A pesquisa foi realizada entre os dias 10/01/2012 e 02/05/2012, com comandantes e copilotos da aviação civil brasileira. A faixa etária dos participantes variou entre 21 e 62 anos (média 36 ± 8 anos). Os pilotos pertenciam ao quadro de associados da Associação Brasileira de Pilotos da Aviação Civil [ABRAPAC]. Foram validados 301 questionários, dos quais 187 oriundos de comandantes e 114 de copilotos. Dentre os comandantes, 183 eram de transporte aéreo regular, sendo 173 pilotos de aeronaves a jato e 10 pilotos de aeronaves turboélice. Dentre os copilotos, 113 pertenciam à aviação de transporte aéreo regular, com 106 pilotos de aeronaves a jato. Portanto, dentre os respondentes da pesquisa, 98,3% pertenciam à aviação de transporte aéreo regular de quatro empresas aéreas brasileiras.

2.2 QUESTIONÁRIOS

O reporte de eventos é um dos meios recomendados para identificar perigos (ICAO, 2013). Nesta pesquisa, os dados foram coletados com o auxílio de Questionário de Fadiga (Anexo I), adaptado de outro utilizado pela *EasyJet* (Stewart, 2009), uma das empresas pioneiras neste assunto e participante da força tarefa constituída pela ICAO para a elaboração do *Doc 9966*, o manual para reguladores que provê informações necessárias ao funcionamento e a regulação de FRMS (ICAO, 2012).

O reporte de fadiga permite que qualquer membro de tripulação dê seu *feedback* sobre o momento de ocorrência da fadiga na operação (ICAO, 2012). Baseado nisto, os questionários desta pesquisa foram respondidos de forma anônima e espontânea, contendo questões com aspectos fisiológicos, cognitivos, contribuintes, contramedidas utilizadas pelo piloto, bem como informações sobre o histórico de jornada de trabalho/sono, a qualidade e duração do repouso nas últimas 72 horas e o horário em que foi percebida a sensação de fadiga. Os relatórios foram validados por meio do programa FAST conforme será mostrado a seguir.

2.3 QUESTIONÁRIOS VERSUS PROGNÓSTICOS DO FAST

Após a aplicação dos questionários, os relatos de sensação de fadiga foram sistematicamente associados aos prognósticos do programa FAST, baseado no modelo biomatemático pelos passos denominados *Sleep*, *Alertness*, *Fatigue*, and *Task Effectiveness* [SAFTE], proposto por Hursh *et al.* (2004).

Os dados referentes ao histórico relatado das últimas 72 horas anteriores à sensação de fadiga foram inseridos no FAST. Este programa forneceu os valores de Efetividade dos

pilotos no momento do relato de fadiga. Alguns dos questionários foram excluídos da análise em virtude de não conterem informações suficientes que permitissem extrair de forma adequada os resultados do FAST ou qualquer problema de inconsistência nas informações. Com esse procedimento, foi possível identificar dados espúrios e validar 301 questionários de fadiga que compõem a análise apresentada.

De acordo com Hursh *et al.* (2004), a Efetividade [E] do indivíduo é uma medida de velocidade para realizar tarefas corretamente, tendo como referência a Efetividade ótima correspondente a de indivíduo, sem débito de sono acumulado, após período de 8 (oito) horas de sono adequado. Este parâmetro de Efetividade é inversamente proporcional ao tempo de resposta ao *Psychomotor Vigilance Task* [PVT]. Dessa forma, de acordo com Hursh *et al.* (2004), a probabilidade de lapsos ao teste PVT aumenta linearmente com o inverso da Efetividade calculada pelo programa FAST e possui seu valor de referência $LI_R = 1$ para um indivíduo com Efetividade ótima ($E = 100\%$). Essa aproximação linear proposta por Hursh *et al.* (2004, p. 9) permite avaliar o aumento da probabilidade de lapsos na medida em que a Efetividade diminui.

O programa FAST fornece informações a respeito de diversos parâmetros, tais como: Efetividade [E], Desempenho Cognitivo [C], Índice de Lapso [LI], Tempo de Reação [RT], Reservatório de Sono [R], Débito Crônico de Sono [SD], entre outros. Os Relatos de Fadiga [FR], por sua vez, determinam alguns vínculos independentes das estimativas do FAST, o que significa dizer que os parâmetros de ‘horas de sono nas últimas 24 horas’ [H24], ‘hora da fadiga’ [FT], ‘tempo acordado’ [AT], ‘qualidade do sono’, entre outros, não dependem do modelo biomatemático utilizado. No presente estudo, a análise foi concentrada nos parâmetros LI, E, FT, AT, H24 e SD.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas incluídas no presente estudo são baseadas no Método dos Mínimos Quadrados (Helene, 2013). Os testes de normalidade foram efetuados por meio de ajuste dos dados (histogramas apresentados na Seção 3) às funções distribuições Gaussianas, ou seja:

$$f(x) = Norm * \exp \left[-\frac{(x - \langle x \rangle)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (1),$$

sendo $f(x)$ a função distribuição, $Norm$ uma constante de normalização e σ^2 a dispersão da variável x em torno do valor médio $\langle x \rangle$.

Para se obter os histogramas apresentados na Seção 3, os eventos oriundos do FAST foram subdivididos em intervalos Δx , de maneira que num intervalo entre x_i e $x_i + \Delta x$ tem-se n_i eventos. Admitindo-se que a variável x obedece à distribuição de Poisson (Helene, 2013), na qual se considera

que x está aleatoriamente distribuído em intervalos Δx_i , pode-se aproximar a incerteza estatística do dado n_i como sendo

$$\sigma_i = \sqrt{n_i}$$

Para verificar a normalidade dos dados, foi feito o mapeamento do χ^2 em função dos parâmetros de ajuste, sendo χ^2 definido por:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left[\frac{n_i - f(x_i)}{\sqrt{n_i}} \right]^2 \quad (2),$$

onde n_i representa o número de eventos entre x_i e $x_i + \Delta x$ com incerteza $\sqrt{n_i}$ e $f(x_i)$ representa o valor da função [Eq.(1)] para $x = x_i$. Dessa forma, pode-se obter os parâmetros $Norm$, $\langle x \rangle$ e σ que minimizam χ^2 , cumprindo com o critério estatístico $\chi^2/n.g.l. \sim 1$ (Helene, 2013). O número de graus de liberdade (n.g.l.) é obtido por: n.g.l. = $N - N_p - 1$, sendo N o número de dados ajustados e N_p o número de parâmetros.

3 RESULTADOS

3.1 ÍNDICE DE LAPSOS VERSUS TEMPO DE REACÇÃO

A Figura 1 apresenta os LI extraídos do FAST usando os relatos de fadiga desta pesquisa (quadrados pretos sólidos) em função do tempo de reação, que representa o inverso da Efetividade [$1/E$]. A reta em azul foi obtida através de regressão linear $LI(E) = 11,7(1/E) - 11,5$ com $R^2 = 0,999$. Os valores de LI oriundos do programa FAST são relativos ao valor de referência. O coeficiente de correlação de Pearson obtido foi de $\rho = 0,999$.

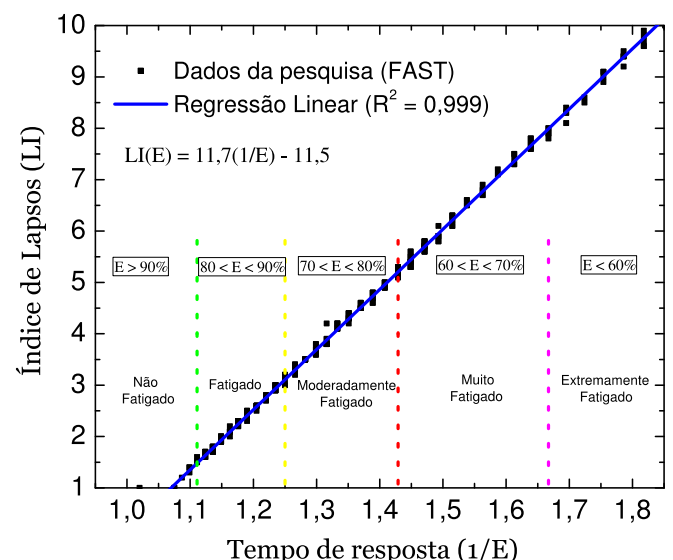


Figura 1: Índice de Lapsos [LI] em função do tempo de resposta ($1/E$) (Hursh *et al.*, 2004). O coeficiente de correlação de Pearson foi $\rho = 0,999$

A parcela dos pilotos com $E > 90\%$ (dados à esquerda da linha vertical verde da Figura 1) representa cerca de 7,6% dos 301 relatos de fadiga validados no FAST, fato que comprovou o estado de fadiga da grande maioria dos respon-

dentes quando participaram da pesquisa.

3.2 EFETIVIDADE DOS PILOTOS

A Efetividade dos pilotos representa um parâmetro fundamental para a identificação de perigos relacionados à fadiga humana. A Figura 2 apresenta o histograma dos dados de Efetividade obtidos pelo programa FAST para os 301 respondentes. Verificou-se que o conjunto de dados é descrito por uma distribuição normal, comprovando o comportamento aleatório e não tendencioso dessa variável. Esse resultado permite utilizar as propriedades da curva Gaussiana para estimar, com probabilidade de 68%, que a Efetividade dos pilotos estudados ficou no intervalo: $62 < E < 85,5\%$. O valor médio e o desvio padrão da média são, respectivamente, 73,8 e $\pm 0,8\%$.

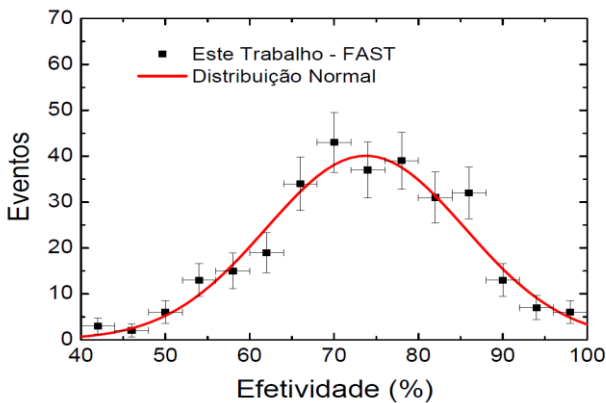


Figura 2: Distribuição da Efetividade dos pilotos oriunda do FAST (quadrados pretos). A curva normal (linha vermelha) foi ajustada aos dados com $\chi^2/n.g.l. = 8,47/11 = 0,77$

3.3 HORA RELATADA DA FADIGA

A distribuição dos FR em função das FT representa um importante parâmetro para a avaliação dos perigos para operações/atividades de trabalho.

A Figura 3 apresenta o histograma dos relatos de fadiga em função das horas do dia. Como se observa, existem estruturas com dois picos bem definidos que representam 92% dos dados, centrados em $\langle FT \rangle_1 = 3,1 \pm 0,4h$ (43%) e $\langle FT \rangle_2 = 9,8 \pm 0,5h$ (49%).

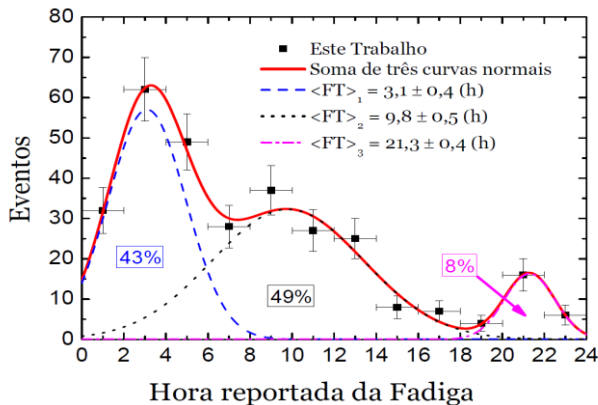


Figura 3: Distribuição da hora reportada da fadiga [FT] oriunda dos relatos dos pilotos (quadrados pretos). A linha

vermelha representa a soma de três curvas normais ajustadas simultaneamente aos dados com $\chi^2/n.g.l. = 3,15/2 = 1,58$

3.4 DURAÇÃO MÉDIA DA VIGÍLIA ANTES DO RELATO DE FADIGA

Outro parâmetro importante a ser observado é a duração da vigília ou tempo acordado [AT] que antecede ao relato de fadiga. A Figura 4 apresenta a distribuição de AT para os 301 respondentes. Como pode ser observado, novamente aparecem resultados interessantes na distribuição de AT, fato que permite subdividir os relatos de fadiga em dois subgrupos bem distintos. Cerca de 47% dos respondentes manifestaram a sensação de fadiga com um tempo de vigília médio de $\langle AT \rangle_2 = 18,0 \pm 0,5h$, enquanto que os 53% restante têm a sensação de fadiga com apenas $\langle AT \rangle_1 = 7,0 \pm 0,4h$.

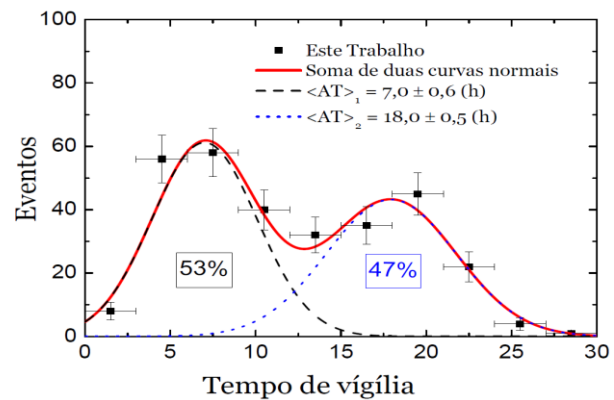


Figura 4: Distribuição da duração da vigília [h] oriunda dos relatos dos pilotos (quadrados pretos). A linha vermelha representa a soma de duas curvas normais ajustadas simultaneamente aos dados com $\chi^2/n.g.l. = 3,416/3 = 1,14$

Os dados observados para FT e AT sugerem que possa haver alguma correlação entre estes, fato que poderá auxiliar no gerenciamento da fadiga no modal aéreo.

3.5 CORRELAÇÃO ENTRE HORÁRIO DO RELATO E INÍCIO DA VIGÍLIA

Com base nos resultados apresentados nas Figuras 3 e 4, realizou-se um estudo para verificar o comportamento entre FT e AT. A Figura 5 apresenta a hora relatada da fadiga em relação ao tempo de vigília que antecede a sensação de fadiga.

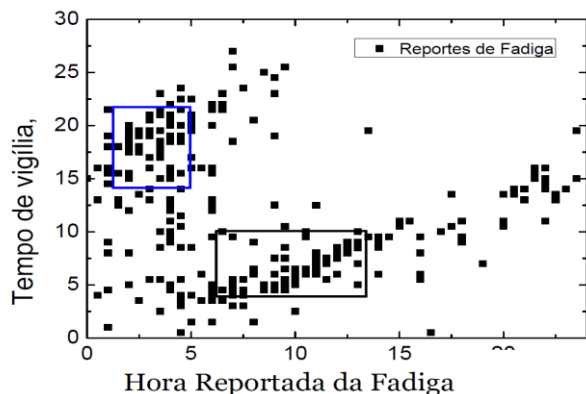


Figura 5: Duração da vigília [AT] versus hora reportada da fadiga [FT]

Os retângulos representam as larguras das gaussianas das Figuras 3 e 4, onde os lados do retângulo em azul representam o respectivo desvio padrão ($\pm 1\sigma$) das curvas em azul centradas em $\langle FT \rangle_1$ e $\langle AT \rangle_2$ (Figuras 3 e 4, respectivamente). Os lados do retângulo em preto representam o desvio padrão ($\pm 1\sigma$) das curvas em preto centradas nos valores médios $\langle FT \rangle_2$ e $\langle AT \rangle_1$ (Figuras 3 e 4, respectivamente).

Na Figura 5 ainda, verifica-se uma correlação entre a hora relatada da fadiga e o tempo médio de vigília. Este resultado motivou uma nova análise bidimensional comparando-se a hora relatada da fadiga com a hora de início da vigília. A Figura 6 apresenta 301 relatos de fadiga com a hora de início da vigília em relação à hora reportada da fadiga.

Os dados à esquerda da linha vertical vermelha representam 49% do total e se referem aos relatos de fadiga que correspondem a vigílias iniciadas no dia anterior, quando os pilotos trabalharam na madrugada anterior ao relato da sensação de fadiga. Os 51% restantes dos dados (à direita da linha vertical vermelha) se referem aos relatos efetuados no mesmo dia do início da vigília. Estes casos estão relacionados em sua maioria com as programações de voo que têm início muito cedo pela manhã.

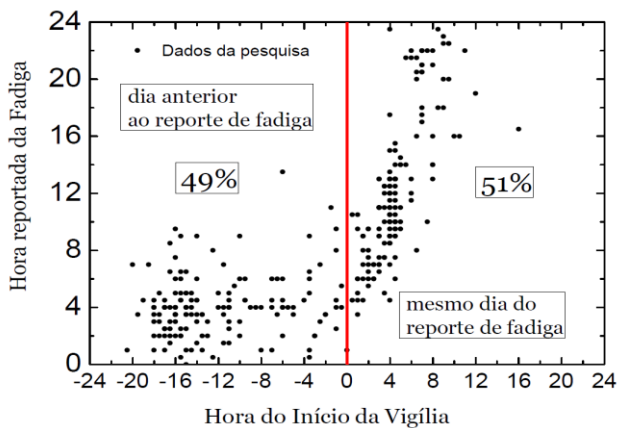


Figura 6: Hora reportada da fadiga [FT] versus hora do início da vigília [h].

No intuito de se estabelecer uma relação entre o horário de sensação de fadiga e o início da vigília, subdividiu-se a abscissa da Figura 6 em intervalos de duas (2) horas, calculando o valor médio da hora relatada da fadiga e respectivo desvio padrão. Os resultados são apresentados na Figura 7, juntamente com o ajuste exponencial (curva em vermelho). Para este último, utilizou-se a seguinte função:

$$FT(x) = \begin{cases} A \exp\left[\frac{(x-24)}{\tau_0}\right] + B, & \text{para o dia anterior ao relato} \\ A \exp\left[\frac{x}{\tau_0}\right] + B, & \text{para o mesmo dia do relato} \end{cases} \quad (3)$$

sendo $FT(x)$ a hora provável de fadiga em função da hora de início da vigília x com $\tau_0 = 6,511h$, $A = 3,77 \pm 0,43h$, $B = 2,57 \pm 0,42h$ e $\chi^2/n.g.l. = 0,54$. As linhas tracejadas em azul indicam os limites (superior e inferior) do ajuste propagando-se as incertezas estatísticas dos parâmetros A e B (Helene, 2013).

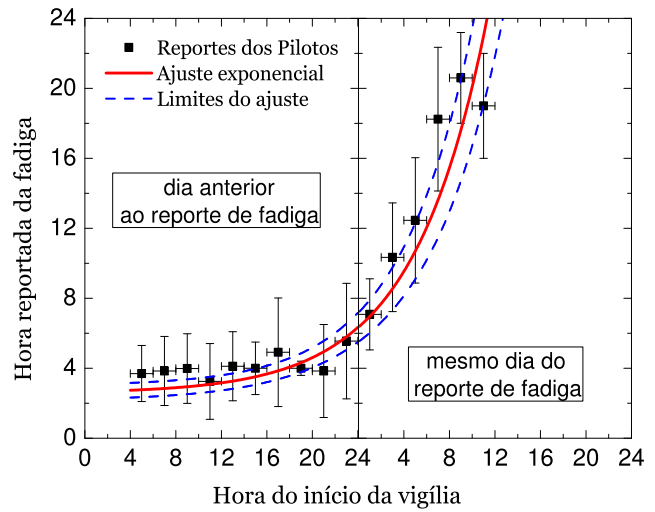


Figura 7: Hora reportada da fadiga [FT] versus hora do início da vigília [h]. A curva exponencial em vermelho foi ajustada aos dados com $\chi^2/n.g.l. = 7,03/13 = 0,54$.

A Tabela 1 apresenta a estimativa para $FT(x)$ em função da hora do início da vigília. As incertezas apresentadas foram obtidas propagando-se as incertezas nos parâmetros A e B , sendo que o período médio de vigília (última coluna da direita) foi calculado através da fórmula $\langle AT \rangle = FT(x) - x$. Cumpre observar que os valores de $\langle AT \rangle$ são surpreendentemente pequenos para os casos onde o piloto iniciou sua vigília no meio da madrugada. Isto significa dizer que, ao iniciar a vigília entre 00-02h, o piloto tem a maior probabilidade de manifestar fadiga no horário das $7,0 \pm 0,9h$ com um período médio de vigília de apenas $6,0 \pm 1,3h$. De fato, considerando-se os quatro primeiros resultados (intervalo 00-08h), verificou-se que o valor médio da vigília que antecedeu a sensação da fadiga foi, aproximadamente, de $5,9 \pm 0,8h$.

3.6 CICLO VIGÍLIA-SONO NAS 72 HORAS ANTERIORES AO RELATO DE FADIGA

A Figura 8 apresenta a distribuição das horas de sono dos pilotos nas últimas 24 horas que antecederam à sensação de fadiga (dados) e o ajuste de uma curva gaussiana com média 5,05h e desvio padrão 2,1h. A fração dos pilotos que relataram menos de sete horas de sono foi de 84%, enquanto que 67% relataram menos do que seis horas e 47% menos do que cinco horas.

Considerando-se que 78% dos respondentes manifestaram fadiga no quarto, quinto ou sexto dia de programação, constatou-se que este débito de sono foi muito provavelmente gerado pela rotina de trabalho com poucas oportunidades de sono entre os dias de programação.

Tabela 1: Hora provável da fadiga e duração média de vigília em função da hora do início da vigília

Hora do início da vigília	Hora provável da fadiga ¹	Hora provável da fadiga ²	Duração média de vigília (h)
00-02	7,0 ± 0,9	--	6,0 ± 1,3
02-04	8,5 ± 1,2	--	5,5 ± 1,6
04-06	10,7 ± 1,6	2,8 ± 0,4	5,7 ± 1,9 ⁽¹⁾ 21,8 ± 1,1 ⁽²⁾
06-08	13,6 ± 2,2	2,8 ± 0,4	6,6 ± 2,4 ⁽¹⁾ 19,8 ± 1,1 ⁽²⁾
08-10	17,6 ± 2,9	2,9 ± 0,4	8,6 ± 3,1 ⁽¹⁾ 17,9 ± 1,1 ⁽²⁾
10-12	23,0 ± 3,9	3,1 ± 0,4	12,0 ± 4,0 ⁽¹⁾ 16,1 ± 1,1 ⁽²⁾
12-14	--	3,3 ± 0,4	14,3 ± 1,1
14-16	--	3,5 ± 0,5	12,5 ± 1,1
16-18	--	3,9 ± 0,5	10,9 ± 1,1
18-20	--	4,3 ± 0,5	9,3 ± 1,1
20-22	--	5,0 ± 0,6	8,0 ± 1,2
22-00	--	5,8 ± 0,7	6,8 ± 1,2

Legenda: 1 – relato de fadiga no mesmo dia do início da vigília; 2 – relato de fadiga no dia seguinte ao início da vigília.

Outra variável importante para a análise se refere ao débito crônico de sono nas últimas 72 horas. Esse parâmetro foi extraído do FAST para os 301 respondentes combinando-se o histórico do ciclo vigília-sono das últimas 72 horas. Os resultados são apresentados na Figura 9, onde se verifica claramente um débito crônico de sono muito significativo de $7,41 \pm 0,22$ h.

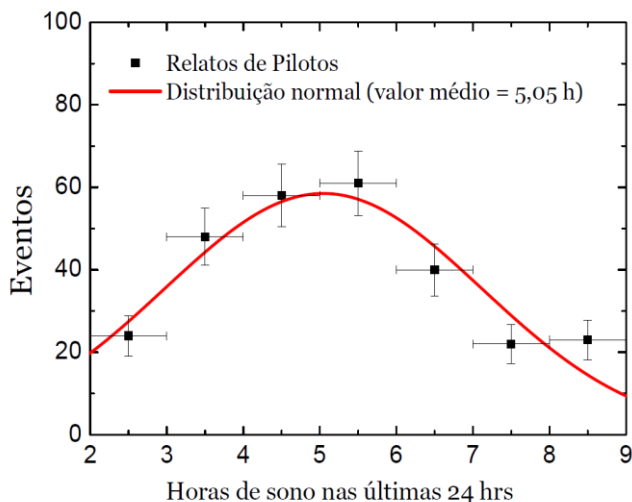


Figura 8: Distribuição das horas de sono nas últimas 24 horas [H24] segundo relato dos pilotos. A curva normal representada pela linha vermelha foi ajustada aos dados com $\chi^2/n.g.l. = 4,412/3 = 1,47$

3.7 ASPECTOS FISIOLÓGICOS E COGNITIVOS APRESENTADOS NOS RELATOS DE FADIGA

As fases de voo mais críticas para a fadiga incluíram o cruzeiro, descida e aproximação para pouso. A ‘fadiga acumulada’, o ‘descanso insuficiente’ entre ‘as jornadas com transição noite-dia’ foram os maiores problemas relatados como fatores contribuintes para a sensação de fadiga.

As respostas mais frequentes para os fatores fisiológicos foram o ‘bocejo’, a ‘dificuldade em manter os olhos abertos’ e a ‘vontade de esfregar os olhos’. Os principais sintomas cognitivos relatados foram a ‘atenção prejudicada’, ‘comunicação reduzida’ e o ‘prejuízo na consciência situacio-

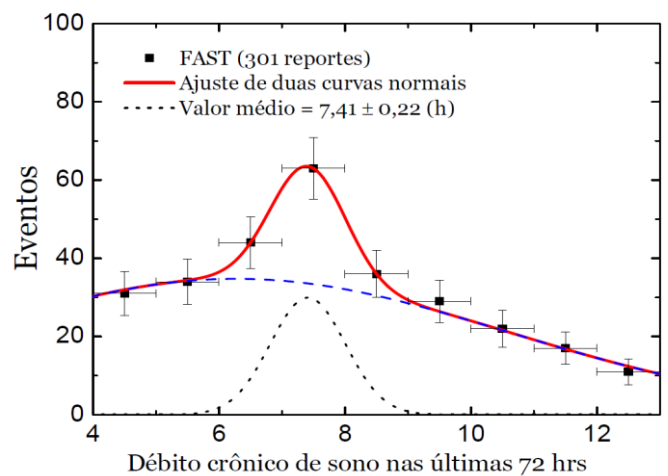


Figura 9: Distribuição do débito crônico de sono FAST nas últimas 72 horas. A curva normal (linha vermelha) foi ajustada aos dados com $\chi^2/n.g.l. = 0,451/2 = 0,23$

nal’. Na situação de fadiga as principais atitudes adotadas pelos pilotos foram ‘avisar o colega sobre o que estavam sentindo’ e/ou ‘ingerir bebida com cafeína’. A maioria dos pilotos relatou estar ‘mais ou menos alerta’ ou ‘sonolento, fazendo esforço para ficar acordado’.

4 DISCUSSÃO

A Figura 3 apresentou a distribuição de relatos de fadiga ao longo das horas do dia com dois picos bem definidos. O ‘primeiro’ deles, por volta das 03h, é proveniente da deterioração da Efetividade dos pilotos em função das oscilações do ritmo circadiano e o ‘segundo’, por volta das 10h, potencializa ou atenua o primeiro efeito com a quantidade de voos num dado intervalo do dia. Ou seja, o pico que aparece por volta das 10h possui grande relevância não exclusivamente por uma ‘alta’ probabilidade de fadiga para voos sequenciais matutinos, mas, principalmente, pela grande circulação aérea nessa fase do dia. De acordo com Mello *et al.* (2008), cerca de 35% dos voos de uma grande empresa aérea brasileira estão concentrados no período 06-11:59h, frente à apenas 7%, no intervalo 00-05:59h. Neste

sentido, considerando-se que um piloto tem uma probabilidade hipotética de fadiga 'p', por volta das 10h, e '2p' às 03h, ao aplicar a exposição decorrente da maior quantidade de movimentos aéreos de Mello *et al.* (2008), observa-se que o risco de eventos em consequência da fadiga às 10h é 250% maior que às 03h.

De acordo com Mello *et al.* (2008), existe uma diferença significativa entre a quantidade de erros (normalizada) em função de diferentes intervalos do dia. No intervalo 06-11:59h, foram registrados 352 erros em um total de 54.364h de voo que correspondem a 6,48 erros a cada 1.000h. Vale ressaltar que os resultados obtidos no artigo de referência se referem à quantidade de erros a cada 1.000h de voo e não 100h, como reportado na Tabela 1 daquele artigo. Tal equívoco foi observado pelos autores do presente estudo, mas não interfere nas conclusões do trabalho de referência, uma vez que seus resultados foram posteriormente normalizados usando a quantidade de erros correspondente ao período da manhã (06-11:59h).

Se considerado que a flutuação estatística nos dados é proporcional a $N^{1/2}$, têm-se 352 ± 19 erros nas 54.364h de voo totais. A razão entre os números fica: $6,5 \pm 0,4$ erros a cada 1.000h de voo. Seguindo o mesmo raciocínio, no intervalo 00-05:59h tem-se o total de $9,5 \pm 0,9$ erros a cada 1.000h de voo. Fazendo a diferença entre os valores, é possível obter uma frequência de $3,0 \pm 1,0$ erros a cada 1.000h de voo a mais do que no intervalo 06-11:59h. Essa diferença fortalece a hipótese de que a fadiga contribui em cerca de 32% dos erros totais entre 00-05:59h.

O pico de relatos de fadiga, ocorrido por volta das 10h (Figura 3), corresponde a cerca de 50% dos eventos e foi, majoritariamente, associado aos respondentes com uma duração média de vigília de 07h (Figura 4), fato surpreendente levando-se em conta o balanço homeostático descrito por Hursh *et al.* (2004). De acordo com o modelo SAFTE, o 'reservatório' de sono sofre um decréscimo linear na medida em que o indivíduo permanece acordado, sendo reestabelecido após um período de sono adequado. Este mecanismo de recuperação depende da intensidade do sono, que por sua vez, depende da hora do dia que o indivíduo iniciou seu período de sono (componente circadiano) e do débito de sono acumulado.

A Figura 10 apresenta a variação do 'reservatório' de sono em função do tempo no modelo SAFTE (processo homeostático). As curvas foram obtidas através de um algoritmo computacional desenvolvido a partir das Equações 1, 2, 3, 4 e 6 do modelo biomatemático de Hursh *et al.* (2004, pp. 3-4). Os parâmetros utilizados no cálculo foram os mesmos adotados no artigo de referência. Verifica-se que a redução do 'reservatório' de sono durante as 16 horas de vigília é compensada após uma noite de sono reparador de cerca de 8 horas.

Verifica-se que há condições inadequadas de atenção

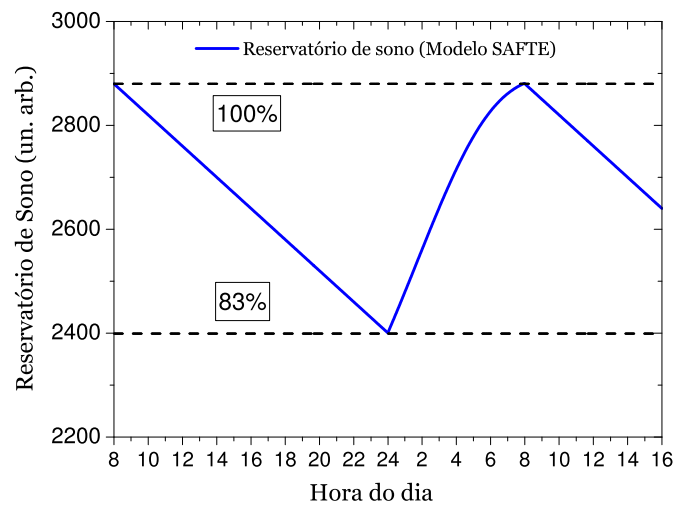


Figura 10: Balanço Homeostático do reservatório de sono [R] de acordo com algoritmo computacional baseado no modelo SAFTE (Hursh *et al.*, 2004)

em cerca de 50% da população de pilotos estudada, com média de apenas 7 horas de vigília. Este dado nos fornece uma evidência de fadiga acumulada, com débito crônico de sono. O histórico de sono dos respondentes fornece explicação para justificar a correlação entre a FT e a hora do início da vigília.

Os dados obtidos neste estudo mostram que há necessidade de implantar mecanismos de mitigação do risco decorrente da fadiga, sendo importante corrigir as escalas de trabalho dos pilotos com base em FRMS, evitando programações sucessivas com início da vigília no intervalo 00-06h. Uma vez que 51% dos pilotos que manifestaram fadiga no mesmo dia do início da vigília, 77% iniciaram seu período de vigília 00-06h.

Adicionalmente, deve-se considerar as dificuldades atuais de mobilidade urbana nas cidades, particularmente nas grandes capitais brasileiras. Uma vez que este estudo também aponta para a necessidade de avaliar o impacto de programações de voos iniciados antes das 07h na Efetividade dos pilotos. Esse procedimento poderá indicar um parâmetro a partir do qual se possam mitigar os riscos nas operações de voo, assim como otimizar custos operacionais.

Seguindo as melhores práticas para o gerenciamento do risco de fadiga, contidas no *Doc 9966*, é recomendado que cada operador estabeleça parâmetros adequados, combinando estudos científicos e experiência operacional (ICAO, 2012).

5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A principal limitação deste estudo se refere ao procedimento de coleta dos dados, uma vez que não foi possível escolher aleatoriamente os respondentes da pesquisa. Deste modo, o conjunto de dados analisado reflete a percepção da parcela de pilotos com estado de alerta prejudicado, conforme comprovado quantitativamente por meio do FAST. Com tal limitação, deve-se ter cautela em

estabelecer a prevalência de fadiga na população geral dos pilotos, tampouco a probabilidade absoluta de fadiga para uma dada quantidade de horas de voo durante um intervalo específico das horas do dia.

Portanto, recomenda-se que futuros estudos levem em conta a distribuição dos voos ao longo do dia, coletando relatos de fadiga em tripulações escolhidas de maneira aleatória e cruzando os relatos com medidas objetivas em PVT. Os relatos devem incluir um grupo controle cujas escalas contemplem parâmetros ideais com $E > 90\%$.

6 CONCLUSÃO

A curva normal obtida para a distribuição da Efetividade dos pilotos, apresentada na Figura 2, demonstra que os dados analisados não são tendenciosos com um valor médio de $E=73,8 \pm 0,8\%$. Esse resultado propiciou a validação dos 301 relatos de fadiga por meio do programa FAST e a comprovação experimental que o algoritmo é adequado para avaliar a Efetividade de desempenho dos pilotos, em função do histórico das jornadas de trabalho e do ciclo vigília-sono das últimas 72 horas. A quantidade de relatos analisados com o uso do modelo biomatemático SAFTE, associado ao programa FAST, permitiu determinar a Efetividade média dos pilotos com incerteza estatística inferior a 1%.

A distribuição dos relatos de fadiga em função das horas do dia forneceu dados importantes para a propositura de procedimentos mitigatórios. Pois, enquanto 43% dos respondentes manifestaram fadiga por volta das 03h, outros 49% tiveram a sensação por volta das 10h. Esses resultados refletem, indiretamente, a maior densidade (35%) de voos regulares na aviação brasileira no período 06-12h (Mello *et al.* 2008). Por outro lado, a distribuição dos relatos de fadiga em função do horário apresenta um pico de eventos, cerca de 70% maior no período 02-04h, em relação ao período 08-10h.

A combinação dos relatos de fadiga em função das horas do dia com a hora do início da vigília permitiu estimar a hora mais provável da fadiga na população estudada, através do ajuste apresentado na Figura 7.

Por fim, verificou-se a necessidade de implantar, sistemática e progressivamente, sistemas de gerenciamento de fadiga que sejam adequados à cada organização a fim de mitigar os riscos às operações aéreas regulares. As circunstâncias operacionais atualmente encontradas no modal aéreo brasileiro, que foram evidenciadas nesta pesquisa, indicam para a utilização de critérios prescritivos que evitem a segunda programação consecutiva, sempre que esta possa interferir no sono reparador, até que os operadores tenham implantado seus respectivos FRMS.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Associação Brasileira de Pilotos de Aviação Civil [ABRAPAC] pela iniciativa, suporte financeiro e apoio técnico, que possibilitaram a realização

desta pesquisa. Também agradecemos ao Instituto de Física [TER], à Faculdade de Saúde Pública [DW e FMF] e à Escola de Artes, Ciências e Humanidades [LMB] da Universidade de São Paulo pelo apoio científico para este estudo, bem como à Associação dos Aeronautas da Gol Linhas Aéreas [ASAGOL] e à Azul Linhas Aéreas pela divulgação e incentivo. Ressaltamos, adicionalmente, as participações do Comitê Nacional de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos [CNPAA] e, em especial, da Comissão Nacional de Fadiga Humana [CNFH] que contribuíram sobremaneira para a finalização deste trabalho. Por fim, agradecemos a todos os pilotos de linha aérea que participaram desta pesquisa e assim contribuíram para a obtenção de um panorama abrangente da fadiga humana na aviação civil brasileira.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caldwell, JA; Mallis, MM; Caldwell, JL; Paul, MA; Miller, JC; Neri, DF. (2009) *Fatigue Countermeasures in Aviation*, *Aviat Space Environ Med.*, Vol. 1, No. 80, pp. 29-59.
- Federal Aviation Administration [FAA]. (2010) *Basics of Aviation Fatigue*, *FAA Advisor Circular AC 120-100*, [Online], Available at: http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%20120-100.pdf [05 Feb 2015].
- Fischer, FM; Rotemberg, L; de Castro Moreno, CR. (2004) *Equity and working time: A challenge to achieve*, *Chronobiol Int.*, Vol. 6, No. 21, pp. 831-844.
- Haugli, L; Skogstad, A; Hellesoy, OH. (1994) *Health, sleep and mood perceptions reported by airline crews flying short and long hauls*, *Aviat Space Environ Med.*, Vol. 1 No. 65, pp. 27 – 34.
- Helene, O. (2013) *Método dos Mínimos Quadrados com Formalismo Matricial*, 2ª Edição, Ed. Livraria da Física.
- Hursh, SR; Redmond, DP; Johnson, ML; Thorne, DR; Belenky, G; Balkin, TJ; Storm, WF; Miller, JC; Eddy, DR. (2004) *Fatigue Models for Applied Research in Warfighting*, *Aviat Space Environ Med.*, No. 75, (3 Suppl), pp. A44–53.
- International Air Transport Association [IATA], International Civil Aviation Organization [ICAO], International Federation of Air Line Pilots Association [IFALPA] (2011) *Fatigue Risk Management Systems: Implementation Guide for Operators*, 1st Edition, [Online], Available at: <http://www.icao.int/safety/fatigue-management/FRMS%20Tools/FRMS%20Implementation%20Guide%20for%20Operators%20July%202011.pdf> [18 Sep 2014].
- International Civil Aviation Organization [ICAO]. (2012) *Fatigue Risk Management System – Manual for Regulators*, Doc 9966, 1st Edition, Montreal, Quebec, Canada.
- ICAO. (2013) *Safety Management Manual [SMM]*, Doc 9859-AN474, 3rd Edition, Montreal, Quebec, Canada.
- Licati, PR; Brito, L; Costa, F; Silva, E; Araújo, M. (2010) *Ferramenta de apoio ao gerenciamento de risco da fadiga*

- para pilotos da aviação comercial brasileira, *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 1, No 2, pp. 112-126.
- Mello, MT de; Esteves, AM; Pires, MLN; Santos, DC; Bittencourt, LRA; Silva, RS; Tufik, S. (2008) Relationship between Brazilian airline pilot errors and time of day, *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, Vol. 12, No. 41, pp. 1129-1131.
- Quito, S. (2012) Operators Round Table, *FRMS Seminar ICAO, IFALPA, IATA*, [Online], Available at: <http://www.icao.int/SAM/Documents/2012/FRMS11/Sergio%20Quito%20FRM%20GoI%20Lima%20Seminar.pdf> [18 Sep 2014].
- Stewart, S. (2009) *Aviation Week Fatigue Management Forum 2009*, [Online], Available at: <http://events.aviationweek.com/html/crew09/Day1Keynote.SuccessfulOperationa&TrainingStrategies.Stewart.pdf> [18 Sep 2014].

ANEXO I

Questionário sobre Fadiga

- 1) Controle interno da pesquisa
- 2) Classificação de sua empresa
- 3) Tipo de aeronave
- 4) Função
- 5) Idade
- 6) Tipo de tripulação
- 7) Quantos dias de programação?
- 8) Informe em qual dia de programação ocorreu a sensação de fadiga
- 9) Hora de início da jornada?
- 10) Hora de término da jornada?
- 11) Informe o horário aproximado que ocorreu a sensação de fadiga
- 12) Quantas etapas tem essa jornada?
- 13) Informe em qual etapa do voo que você teve a sensação de fadiga
- 14) Onde você estava quando ocorreu a sensação de fadiga? (mais de uma opção pode ser escolhida)
 - Durante a locomoção para o aeroporto
 - Aguardando a aeronave ser entregue
 - Pré-voos
 - Táxi para decolagem
 - Subida
 - Cruzeiro
 - Descida
 - Aproximação para o pouso
 - Táxi após o pouso
 - Aguardando transporte para o hotel
 - Durante a locomoção para casa
 - Outro
- 15) Fatores contribuintes: assinale um ou mais
 - Hotel/descanso
 - Casa/descanso
 - Descanso insuficiente entre jornadas
 - Jornada interrompida
 - Transição da jornada dia/noite
 - Transição da jornada noite/dia
 - Jornada longa
 - Atraso (s)
 - Transporte
 - Saúde
 - Fadiga acumulada
 - Problemas pessoais
 - Outro
- 16) Assinale todos os sintomas físicos de fadiga que você sentiu (mais de uma opção pode ser escolhida)
 - Nenhum sinal físico foi percebido
 - Inquietação na cadeira
 - Vontade de esfregar os olhos
 - Bocejo
 - Piscadas frequentes dos olhos
 - Olhar fixo
 - Piscadas longas dos olhos
 - Dificuldade de manter os olhos abertos
 - Cabeça balançando ou caindo
 - Outro

17) Assinale todos os sintomas cognitivos que você sentiu (mais de uma opção pode ser escolhida)

- Nenhum sinal cognitivo foi sentido
- Atenção prejudicada
- Memória prejudicada
- Mau humor
- Comunicação reduzida
- Resolução de problemas prejudicada
- Tomada de decisão prejudicada
- Consciência situacional prejudicada
- Outro

18) Você utilizou contramedida (s) para reduzir a sensação de fadiga? (mais de uma opção pode ser escolhida)

- Não utilizei nenhuma contramedida
- Avisei o colega sobre o risco de minha fadiga
- Coordenei a carga de trabalho
- Aumentei a comunicação
- Ingeri cafeína – comida ou bebida
- Tirei uma soneca em voo de até quarenta minutos
- Dormi em voo mais que quarenta minutos
- Outro

19) Assinale como estava seu nível de alerta durante o voo (escolha somente uma opção)

- Extremamente alerta
- Muito alerta
- Alerta
- Mais ou menos alerta
- Nem alerta nem sonolento
- Alguns sinais de sonolência
- Sonolento, mas consigo ficar acordado
- Sonolento, fazendo esforço para ficar acordado
- Muito sonolento, brigando com o sono, muito esforço para ficar acordado

20) Histórico do sono antes dessa sensação de fadiga. Precisamos saber os horários que você dormiu e acordou nas três últimas principais oportunidades que você teve. (hora local de sua base)

21) Último sono

- a) Informe o dia da semana
- b) Informe a que horas você dormiu
- c) Informe a que horas você acordou
- d) Qual foi a qualidade do seu sono?

26) Penúltima oportunidade de sono

- a) Informe o dia da semana
- b) Informe a que horas você dormiu
- c) Informe a que horas você acordou
- d) Qual foi a qualidade do seu sono?

31) Antepenúltima oportunidade de sono

- a) Informe o dia da semana
- b) Informe a que horas você dormiu
- c) Informe a que horas você acordou
- d) Qual foi a qualidade do seu sono?