

## **Estudo de Operação Específica (*Safety Case*) para eventual implementação de um Sistema de Gerenciamento do Risco da Fadiga na Total Linhas Aéreas**

Empresa Responsável: Safe and Optimized Standards Assessoria Técnica e Diagnósticos Ltda.

CNPJ: 36.547.178/0001-02

[www.safestandards.com.br](http://www.safestandards.com.br)

Representante: Dr. Tulio Eduardo Rodrigues

Contato: [tulio@safestandards.com.br](mailto:tulio@safestandards.com.br)

Data: 12.04.2021

## Resumo Executivo:

**Introdução:** Estudos técnicos e científicos visam promover a segurança de voo, motivar recomendações, identificar riscos potenciais e propor medidas mitigatórias para o desenvolvimento de um gerenciamento do risco da fadiga que seja adequado às eventuais peculiaridades e circunstâncias de operadores aéreos. Logo, têm um papel fundamental para orientar tomadas de decisão que sejam baseadas em princípios científicos, com vistas a uma eventual implementação de um Sistema de Gerenciamento do Risco da Fadiga (SGRF).

**Objetivo:** investigar indicadores de performance e desenvolver proposições de mitigações e recomendações de segurança sobre operações na terceira madrugada consecutiva para eventual implementação de um SGRF na Total Linhas Aéreas.

**Métodos:** Coleta e análise de dados subjetivos através de questionário web, diários de sono e índices de fadiga autorreferida na escala Samn-Perelli, assim como dados objetivos de actigrafia sobre a qualidade e quantidade de sono. Caracterização de importantes indicadores nas escalas de trabalho dos tripulantes, mediante análises estatísticas apropriadas.

**Resultados:** Os resultados do questionário web apontaram efeito de grupo relevante comparando-se a qualidade de sono entre os hotéis de pernoite ( $p = 0,030$ ), assim como entre os hotéis de POA (média =  $64 \pm 5\%$ ) e VIX (média =  $78 \pm 3\%$ ),  $p = 0,017$ . Os resultados dos diários de sono demonstraram uma melhora qualitativa para a qualidade de sono nos hotéis (de  $68,5 \pm 1,3\%$  para  $71,0 \pm 1,2\%$ ,  $p = 0,221$ ) e na sala de descanso (de  $54 \pm 4\%$  para  $61,1 \pm 2,7\%$ ,  $p = 0,082$ ) entre as fases 1 e 2, respectivamente. Já a quantidade reportada de sono em casa sofreu uma redução relevante (de  $7,44 \pm 0,09$  h para  $7,02 \pm 0,14$  h,  $p = 0,005$ ) entre as fases 1 e 2. Tal resultado está muito provavelmente relacionado à significativa variação sazonal no período, tanto na quantidade de horas de voo mensais (de  $16,5 \pm 0,8$  h para  $29,2 \pm 1,0$  h,  $p < 0,001$ ), quanto na quantidade de folgas mensais (de  $17,7 \pm 0,4$  para  $13,9 \pm 0,4$ ,  $p < 0,001$ ) e madrugadas mensais (de  $5,49 \pm 0,25$  para  $9,0 \pm 0,3$ ,  $p < 0,001$ ) entre as fases 1 e 2, respectivamente. Os escores de fadiga nas escalas Samn-Perelli não apresentaram efeito de grupo relevante ( $p = 0,125$ ) comparando-se os valores médios para os voos de segunda madrugada VIX-GRU ( $1,93 \pm 0,17$ ), FLN-CWB-GRU ( $1,93 \pm 0,09$ ), POA-GRU ( $1,65 \pm 0,12$ ) e a média obtida para os voos de terceira madrugada ( $2,06 \pm 0,17$ ). Foi observado efeito de grupo relevante ( $p = 0,003$ ) comparando-se o grupo consolidado dos voos de primeira e segunda madrugada nos trechos GRU-GIG-VIX, GRU-CWB-FLN e GRU-POA ( $2,63 \pm 0,04$ ) com o grupo dos voos de terceira madrugada ( $2,06 \pm 0,17$ ), demonstrando que os primeiros apresentam resultados mais fatigantes (cerca de 28% acima). Não houve efeito de grupo na comparação entre os voos ocorridos

nas fases 1 e 2, mesmo com um incremento muito considerável na carga de trabalho na fase 2. Os dados de actigrafia demonstram efeito de grupo relevante ( $p = 0,002$ ) na comparação da quantidade de sono nas 32 horas que antecederam as apresentações entre os voos de segunda madrugada nos trechos VIX-GRU ( $7,5 \pm 0,4$  h), FLN-CWB-GRU ( $9,4 \pm 0,6$  h) e POA-GRU ( $10,0 \pm 0,6$  h). Não foi observado efeito de grupo relevante ( $p = 0,205$ ) comparando-se os voos dos trechos VIX-GRU, FLN-CWB-GRU e POA-GRU de primeira ( $9,68 \pm 0,28$  h), segunda ( $8,9 \pm 0,3$  h) e terceira madrugada ( $9,3 \pm 0,8$  h). Os voos de primeira madrugada nos trechos GRU-GIG-VIX ( $8,8 \pm 0,3$  h), GRU-CWB-FLN ( $10,3 \pm 0,5$  h) e GRU-POA ( $10,8 \pm 0,4$  h) apresentaram um efeito de grupo relevante ( $p < 0,001$ ). Numa análise em pares, houve efeito de grupo entre os voos GRU-GIG-VIX e GRU-CWB-FLN ( $p = 0,007$ ) e GRU-GIG-VIX e GRU-POA ( $p < 0,001$ ). Para os voos de segunda madrugada nos trechos GRU-GIG-VIX ( $8,2 \pm 0,5$  h), GRU-CWB-FLN ( $8,2 \pm 0,6$  h) e GRU-POA ( $8,6 \pm 0,4$  h) não houve efeito de grupo relevante ( $p = 0,750$ ). Já na comparação entre os voos das etapas GRU-GIG-VIX, GRU-CWB-FLN e GRU-POA de primeira ( $9,90 \pm 0,24$  h) e segunda ( $8,39 \pm 0,28$  h) madrugada houve um efeito de grupo relevante ( $p < 0,001$ ). Também se constata um efeito de grupo relevante ( $p = 0,001$ ) na comparação dos trechos VIX-GRU, FLN-CWB-GRU e POA-GRU de primeira, segunda e terceira madrugada e os trechos GRU-GIG-VIX, GRU-CWB-FLN e GRU-POA de primeira e segunda madrugada. Porém, tal efeito não é observado retirando-se os voos dos trechos GRU-GIG-VIX, GRU-CWB-FLN e GRU-POA de segunda madrugada das análises ( $p = 0,093$ ). Na comparação das quantidades e qualidades de sono entre as fases 1 e 2 não foram observados efeitos de grupo relevantes, mesmo com o aumento significativo da carga de trabalho na fase 2. Os resultados consolidados apontam para uma média de horas de sono e respectiva incerteza de  $8,35 \pm 0,29$  h para as chaves GRU-GIG-VIX, GRU-CWB-FLN e GRU-POA no cenário sem mitigação de segunda madrugada. Considerando as mitigações propostas, esse valor aumenta para  $8,95 \pm 0,19$  h no valor médio para cada tripulante e  $9,15 \pm 0,19$  h no valor médio para cada piloto. Essas diferenças representam  $0,60 \pm 0,35$  h e  $0,80 \pm 0,34$  h, respectivamente.

**Conclusões:** O referido estudo demonstrou a viabilidade científica para a extrapolação da terceira madrugada, mediante a implementação de recomendações de segurança e mitigações gerenciais nas escalas de trabalho. Importante salientar que os resultados e conclusões oriundos do estudo não devem, sob qualquer hipótese, ser extrapolados para outros contextos operacionais, quer seja do mesmo operador ou de qualquer outro operador aéreo.

## 1. Introdução:

O advento do novo arcabouço regulatório brasileiro composto pela Lei 13.475/17 [1] e o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil 117 [2] trouxe a possibilidade de que Operadores Aéreos implementem um Gerenciamento do Risco da Fadiga (GRF), conforme critérios e requisitos da referida normativa infralegal, no intuito de possibilitar a utilização de limites prescritivos mais flexíveis. Por outro lado, em algumas operações específicas, há também a possibilidade de extrapolações dos referidos limites, desde que haja um estudo dedicado ao assunto (*safety case*), culminando com a implementação de um Sistema de Gerenciamento do Risco da Fadiga (SGRF) aos moldes do preconizado no RBAC 117 e na Instrução Suplementar 117-004.

Conforme consta do Anexo 6 da ICAO [3], “o Estado do operador deverá estabelecer regulamentos com o objetivo de gerenciar a fadiga. Estes regulamentos devem ser baseados em princípios e conhecimentos científicos com o objetivo de assegurar que membros da tripulação estejam atuando com um nível adequado de alerta”.

Os limites prescritivos atuam como importante barreira para prevenir uma probabilidade elevada de fadiga nas operações aéreas, porém não são, necessariamente, suficientes para garantir a mitigação dos riscos em determinadas circunstâncias. De fato, a Agência de Segurança de Voo Europeia (EASA) realizou recentemente um estudo muito interessante e com grande robustez [4] justamente para investigar a eficácia de alguns limites prescritivos utilizando dois dos principais modelos bio-matemáticos consolidados no setor aéreo, o *Boeing Alertness Model (BAM)* [5] e o *Sleep, Activity, Fatigue, and Task Effectiveness/Fatigue Avoidance Scheduling Tool (SAFTE-FAST)* [6]. Nesse estudo foi concluído que os limites prescritivos por si só não são capazes de mitigar o risco da fadiga em condições específicas, comprovando a importância de que aspectos gerenciais e organizacionais sejam levados em conta na confecção e na execução das escalas de voo, principalmente em operações noturnas. Por outro lado, a Total Linhas Aéreas implementou, mediante Acordo Coletivo de Trabalho (ACT) com o Sindicato Nacional dos Aeronautas, a utilização da terceira madrugada consecutiva (com respectivas mitigações constantes no ACT) pelo período de dois anos, não havendo, de acordo com informações do operador, qualquer evento relacionado a fadiga no período.

Portanto, o referido trabalho visa fornecer embasamento científico através da coleta de dados subjetivos e objetivos no intuito de identificar quais são as mitigações, recomendações

de segurança e propostas de melhoria relevantes para o caso específico de três operações consecutivas na madrugada. Entende-se que ao final desse processo haverá a possibilidade de um Método Alternativo de Cumprimento (MAC) eficaz para a flexibilização pretendida, mantendo-se os níveis de alerta dos aeronautas iguais ou superiores aos obtidos na esfera prescritiva (Lei 13.475/17 e RBAC 117, Apêndices B e C).

Cumpre salientar, contudo, que os resultados aqui apresentados não devem ser utilizados de maneira generalista ou extrapolados para outros contextos operacionais, tendo em vista que se referem a um conjunto de circunstâncias muito específicas.

## 2. Objetivos:

**2.1.Principal:** investigar indicadores de performance e desenvolver proposituras de mitigações e recomendações de segurança sobre operações na terceira madrugada consecutiva para eventual implementação de um Sistema de Gerenciamento do Risco da Fadiga na Total Linhas Aéreas.

**2.2.Secundários:** (1) Avaliar o impacto no risco da fadiga decorrente da utilização de terceira madrugada consecutiva com pouso final planejado para ocorrer antes das 01h30 em SBGR, (2) Avaliar eventual redução no risco da fadiga decorrente de mitigações implementadas nos voos das segundas madrugadas que partem de SBGR com decolagens tipicamente entre 02h00 e 04h40, e (3) Avaliar eventual redução no risco da fadiga após a implementação de melhorias na sala de descanso em SBGR.

### 3. Materiais e Métodos:

#### 3.1. Características gerais das operações da empresa:

As operações da empresa atendem à Rede Postal Noturna (RPN) dos Correios e são realizadas integralmente no período noturno. Tal característica requer um diagnóstico criterioso para a identificação dos perigos relativos à fadiga. A Tabela abaixo representa a malha típica da empresa no período de 01.05.2020 à 03.07.2020.

Tabela 1: Malha da Total Linhas Aéreas

Voo	Dep	Origem	Destino	Arr	Frequência
5678	23:20	POA	GRU	01:00	23456
5679	04:40	GRU	POA	06:20	3456S
5680	22:30	FLN	CWB	23:10	23456
5680	00:00	CWB	GRU	01:00	23456
5681	04:00	GRU	CWB	05:00	3456S
5681	05:40	CWB	FLN	06:20	3456S
5682	23:10	VIX	GRU	00:40	23456
5683	02:00	GRU	GIG	03:00	3456S
5683	04:20	GIG	VIX	05:30	3456S

Fonte: Total Linhas Aéreas

Para fins de simplificação na escala de voo, a empresa adota os códigos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Códigos utilizados pela empresa nas escalas de voo.

Código na escala	trecho
G2	GRU-GIG, GIG-VIX
H2	GRU-CWB, CWB-FLN
M2	GRU-POA
G1	VIX-GRU
H1	FLN-CWB, CWB-GRU
M1	POA-GRU
G = G2/G1	GRU-GIG, GIG-VIX, VIX-GRU
M=M2/M1	GRU-POA, POA-GRU
H=H2/H1	GRU-CWB, CWB-FLN, FLN-CWB, CWB-GRU

Fonte: Total Linhas Aéreas

No intuito de especificar cada etapa realizada na RPN optou-se pela introdução dos códigos apresentados na Tabela 3, que serão utilizados no decorrer do relatório.

Tabela 3: Códigos utilizados no presente estudo

Código no estudo	Trechos
G1	VIX-GRU
H11	FLN-CWB
H12	CWB-GRU
M1	POA-GRU
G21	GRU-GIG
G22	GIG-VIX
H21	GRU-CWB
H22	CWB-FLN
M2	GRU-POA

*Fonte: Tulio Rodrigues*

A empresa contava no início de agosto de 2020 com 25 aeronautas, sendo 10 comandantes, 6 copilotos e 9 mecânicos de voo. Os comandantes, copilotos e mecânicos de voo têm uma experiência em milhares de horas de voo no equipamento com valores médios e erros padrões de  $5,8 \pm 1,0$ ,  $2,8 \pm 1,1$  e  $5,3 \pm 1,0$ , respectivamente. Nos meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021 houve uma redução para 24 tripulantes, sendo 10 comandantes, 5 copilotos e 9 mecânicos de voo.

**3.2. Dados preliminares solicitados à empresa:** A empresa Safe and Optimized Standards (SOS) solicitou entre os dias 03.05.2020 e 18.06.2020 os seguintes dados para a Total Linhas Aéreas:

- 3.2.1. Quantidade de comandantes, copilotos e Mecânicos de Voo, com as respectivas idades e experiência profissional em horas de voo no B-727 na respectiva função;
- 3.2.2. Local de residência dos comandantes, copilotos e Mecânicos de Voo e meio de transporte utilizado para assumir programações e retornar para a residência;
- 3.2.3. Malha aérea;
- 3.2.4. Instalações da empresa: Informações de preferência com imagens sobre eventuais instalações para descanso dos tripulantes, com inclinação aproximada para o caso de poltronas, barreira para iluminação (blackout), controle de temperatura e controle de ruído (janelas antirruído, se for o caso);

- 3.2.5. Sistemas da empresa: informações mais detalhadas sobre o sistema de escala da empresa e se este contém alguma parametrização relacionada à fadiga;
- 3.2.6. Políticas para atrasos: informações sobre a política da empresa para o caso de atrasos de voos;
- 3.2.7. Reportes e eventos provavelmente relacionados à fadiga;
- 3.2.8. Extrapolações de jornada;
- 3.2.9. Escalas de voo publicadas e executadas (a partir de julho de 2019), com as seguintes informações:
1. Quantidade de madrugadas simples por mês e por tripulante com início em FLN, POA ou VIX entre 22h30 e 23h20<sup>1</sup> e término até 01h30;
  2. Quantidade de madrugadas simples por mês e por tripulante com início em GRU entre 02h00 e 04h40 e término em FLN, POA ou VIX;
  3. Quantidade de madrugadas simples por mês e por tripulante com início e término em FLN, POA ou VIX;
  4. Quantidade de madrugadas duplas por mês e por tripulante com início entre 02h00 e 05h40 em GRU e pouso final previsto antes das 01h30 em GRU;
  5. Quantidade de madrugadas duplas por mês e por tripulante com início entre 22h30 e 23h20 em FLN, VIX ou POA e pouso final previsto antes das 01h30 em GRU;
  6. Quantidade de madrugadas duplas por mês e por tripulante com início entre 22h30 e 23h20 em FLN, VIX ou POA e pouso final previsto após as 05h30 em VIX, FLN ou POA;
  7. Quantidade de madrugadas triplas por mês e por tripulante com início entre 02h00 e 05h40 em GRU e pouso final previsto antes das 01h30 em GRU;
  8. Quantidade de madrugadas triplas por mês e por tripulante com início entre 22h30 e 23h20 em FLN, VIX ou POA e pouso final previsto antes das 01h30 em GRU;
  9. Quantidade de folgas simples por mês e por tripulante;
  10. Quantidade de folgas totais por mês e por tripulante.

---

<sup>1</sup> Esses horários podem variar de mês a mês conforme a malha.

### 3.3. Aspectos Éticos:

Todos os tripulantes foram convidados a participar da pesquisa, sendo garantido total anonimato em relação aos dados pessoais coletados. Os tripulantes que se voluntariaram a participar assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, que expunha de forma clara quais eram os objetivos da pesquisa e quais dados seriam coletados. Os tripulantes também foram informados que poderiam deixar de participar da pesquisa a qualquer tempo, bastando para tal comunicar a SOS. Não foi requerido que todo participante também se dispusesse a utilizar os actígrafos, de maneira que alguns participantes contribuíram para a coleta de outros dados sem coletar os dados de actigrafia. A opção em utilizar ou não o actígrafo era dada no momento em que eram convidados a participar da pesquisa, apontando ou não que iriam também fazer uso do actígrafo no próprio Termo. É expressamente declarado e assegurado pela SOS que a empresa aérea Total não possui qualquer acesso aos dados individuais dos participantes, tampouco a quais participantes aderiram ao estudo.

### 3.4. Amostra:

Um total de 17 tripulantes se voluntariaram para participar do estudo, mediante a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Desse total, havia 7 comandantes, 5 copilotos e 5 mecânicos de voo. Dentre os 17 participantes que assinaram o Termo, 16 proporcionaram algum tipo de informação, conforme os itens apresentados abaixo:

- i) Informações e percepções gerais dos tripulantes através do preenchimento de um questionário disponibilizado na web (total de 16 participantes, sendo 6 comandantes, 5 copilotos e 5 mecânicos de voo);
- ii) Diário de sono preenchido via web (Anexo 1), com os horários estimados de início e término de sono, local do sono (casa, hotel ou sala de descanso em SBGR) e qualidade de sono (1- excelente, 2 - bom, 3 - regular e 4 - ruim). Um total de 14 participantes contribuiu com as informações nos diários de sono (6 comandantes, 4 copilotos e 4 mecânicos de voo) durante os três primeiros meses de coleta (agosto, setembro e outubro de 2020) e 10 participantes (6 comandantes, 3 copilotos e 1 mecânico de voo) nos meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021;

- iii) Índices autorreferidos da escala de fadiga Samn-Perelli [7] (Anexo 2), coletados nos pontos de descida de cada etapa de voo, desde que a condição operacional permitisse. Para esse indicador houve 14 participantes (6 comandantes, 5 copilotos e 3 mecânicos de voo) entre os meses de agosto, setembro e outubro de 2020 e 12 participantes (5 comandantes, 4 copilotos e 3 mecânicos de voo) nos meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021;
- iv) Dados objetivos de actigrafia para a avaliação da quantidade e qualidade de sono dos tripulantes. Para essa coleta participaram 14 tripulantes (5 comandantes, 5 copilotos e 4 mecânicos de voo) nos meses de agosto, setembro e outubro de 2020 e 13 tripulantes (6 comandantes, 4 copilotos e 3 mecânicos de voo) nos meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021;  
Para cada participante, foi gerado um código aleatório de 1 a 25 que foi utilizado como identificador do indivíduo com a finalidade de aglutinar todas as informações relativas às escalas de voo e aos dados coletados.

### **3.5. Equipamento para medição do sono:**

A empresa SOS optou pela utilização do equipamento ActTrust 2 da empresa Condor Instruments Ltda. O equipamento possui os mesmos sensores do seu antecessor ActTrust, cuja validação científica foi realizada em um estudo da Universidade de São Paulo de Ribeirão Preto [8]. Nessa investigação, os pesquisadores verificaram que o ActTrust demonstrou desempenho satisfatório, ótima sensibilidade, boa acurácia e baixa especificidade na avaliação de pacientes com distúrbios respiratórios do sono. Cumpre salientar que a SOS não investigou distúrbios individuais de sono, se limitando na estimativa da quantidade e qualidade do sono que antecedeu as respectivas programações de voo.

Além da validação citada acima, os equipamentos produzidos pela Condor Instruments têm sido utilizados em pesquisas recentes, conforme vasta literatura [9-13]. Detalhes técnicos dos equipamentos ActTrust e ActTrust 2 podem ser acessados em <https://www.dropbox.com/s/fhk2i06i6caa94r/Flyer%20paginas.pdf?dl=1>.

### **3.6. Cenários e fases da pesquisa:**

- 3.6.1. Cenário Controle, denominado fase 1: agosto, setembro e outubro de 2020: Nesse cenário as programações de voo ficaram limitadas a no máximo duas madrugadas consecutivas, conforme previsão da Lei 13.475/17 e RBAC 117. A sala de descanso em SBGR permaneceu sem melhorias até o dia 21.09.2020;
- 3.6.2. Cenário Experimento, denominado fase 2: dezembro de 2020 e janeiro de 2021: nesse cenário houve autorização da ANAC para a extensão do limite máximo de madrugadas consecutivas de duas para três, com pouso na terceira madrugada planejado para ocorrer antes da 01h30 em SBGR. Nessa fase foram implementadas mitigações em todos os voos do tipo G21, G22, H21, H22 e M2 com programação original de segunda madrugada. Para as chaves G21 e G22 dois tripulantes assumiram programação no trânsito em SBGR após um dia de folga ou uma noite local, substituindo os outros dois membros da tripulação original do voo. Para as chaves H21, H22 e M2, ao menos um piloto assumiu programação a partir do trânsito em SBGR, substituindo o primeiro piloto que foi originalmente designado para o início da chave. Nessa fase, as melhorias na sala de descanso já estavam implementadas, assim como melhorias gerenciais no hotel em POA, conforme descrito adiante.

### **3.7. Cronologia de eventos relevantes:**

Durante a coleta de dados ocorreram eventos relevantes que merecem destaque. O principal foi decorrente da pandemia de COVID-19, que afetou sobremaneira a malha da RPN nos meses de agosto e setembro, e parcialmente outubro de 2020. Os demais eventos de relevância com suas respectivas datas são listados abaixo:

- 3.7.1. 01.08.2020: início da coleta da escala SP, dos dados de actigrafia, do diário de sono e do questionário web;
- 3.7.2. 21.09.2020: início da implementação de algumas melhorias na sala de descanso em GRU, tais como aprimoramento no isolamento acústico e divisórias entre as poltronas;
- 3.7.3. 12.11.2020: término da implementação de melhorias na sala de descanso em GRU, com a inclusão de seis camas, melhoria no isolamento acústico e isolamento da luminosidade.

3.7.4. Melhorias no Hotel de POA a partir de 01.12.2020 (conforme informações compartilhadas pela Total Linhas Aéreas):

1. Destinação dos apartamentos 1605, 1606, 1608, 1705, 1706 e 1708 para uso exclusivo das tripulações da Total;
2. Montagem de todos os apartamentos de uso exclusivo da TOTAL com camas de casal (1,78m de largura X 2,00m de comprimento);
3. Alocação de uma Camareira para o turno da noite para realizar a higienização e arrumação dos apartamentos de uso exclusivo das tripulações da Total durante a madrugada. Desta forma a tripulação que chega as 06h30 poderá fazer uso das mesmas habitações, desocupadas na noite anterior;
4. Bloqueio dos apartamentos 1701, 1702, 1703, 1704 e 1707. Desta forma o 17º andar passará a ser utilizado somente pelas tripulações da Total. Os apartamentos do 16º andar, os quais serão de uso exclusivo da Total, só serão ocupados pelos tripulantes em situações eventuais onde os apartamentos do 17º já estejam sendo utilizados;
5. Compromisso de que os demais apartamentos do 16º andar somente venham a ser utilizados pelo Hotel em casos extremos de alta ocupação. Ou seja, além de mantermos o cuidado para que os tripulantes utilizem somente o 17º andar, onde serão os únicos a ocuparem os apartamentos deste pavimento, em situações esporádicas onde se faça necessário a utilização dos referidos apartamentos do 16º andar, por parte da tripulação, os demais apartamentos do andar também deverão estar desocupados, a exemplo do 17º andar;
6. Quando os Tripulantes da Total estiverem utilizando o 16º andar, as camareiras só deverão realizar a limpeza dos demais apartamentos (quando eventualmente estiverem ocupados) no período da tarde;
7. Desenvolvimento e instalação de avisos de comunicação, no 16º e 17º andar solicitando a todos que mantenham silêncio enquanto circularem nos corredores em respeito aos hospedes que estão descansando;
8. Orientação e determinação a toda equipe, por meio da Gerência e da Governanta que durante o período das 06h00 às 13h00 nenhum colaborador circule nos corredores do 16º e 17º pavimentos. Quando precisarem realizar limpeza de algum apartamento destes andares, fazê-lo somente no período da tarde. E principalmente, quando as camareiras estiverem nestes andares, adotarem todos

- os cuidados possíveis para não gerarem barulho (baixarem o volume dos rádios de comunicação, não falarem alto, não baterem as portas, não conversarem nos corredores, etc);
9. Disponibilização nos apartamentos de uso exclusivo da Total, chaleiras elétricas, xícara e sachês de chá de camomila;
  10. Revisão das condições das venezianas e dos blackouts das unidades do 17º e 16º andar;
  11. Elaboração de informativo com as instruções necessárias para o desligamento do visor digital do Ar-Condicionado;
  12. Instalação de vedações nas portas de entrada dos apartamentos, visando um maior isolamento acústico.
- 3.7.5. Interrupção das operações do tipo H11, H12, H21 e H22 entre os dias 03.07.2020 e 23.09.2020;
- 3.7.6. Interrupção de todos os voos de sexta para sábado da RPN dos Correios entre os dias 10.07.2020 e 14.11.2020;
- 3.7.7. Operações específicas diurnas para o ENEM, nos dias 12, 13, 19 e 20 de dezembro de 2020 e 30 e 31 de janeiro de 2021. Esses voos extras não foram considerados pela análise da SOS, porém podem ter interferido nas oportunidades de sono ainda que de maneira pontual;
- 3.7.8. Operações específicas diurnas para o Banco Central nos dias 15 de outubro de 2020, 25 e 27 de novembro de 2020, 01, 02, 08, 09, 10 e 16 de dezembro de 2020 e 18, 19 e 28 de janeiro de 2021. Esses voos extras não foram considerados pela análise da SOS, porém podem ter interferido nas oportunidades de sono ainda que de maneira pontual.

### 3.8. Métodos e critérios para a estimativa da quantidade e qualidade do sono:

Para se estimar a quantidade e qualidade do sono foi utilizado algoritmo específico do software ActStudio versão 1.0.17 para Windows. Os resultados de cada tripulante foram baixados no banco de dados do software, que disponibiliza uma série de informações interessantes. Um exemplo típico de actograma com os dados brutos de actigrafia é apresentado na Figura 1.



Figura 1: Actograma contendo dados brutos de actigrafia disponibilizado no aplicativo ActStudio.

Nesse layout de pontuação do sono pode-se obter de forma gráfica os períodos de início e término do sono (representados pelas faixas azuis), assim como os períodos em que o tripulante estava descansando, porém acordado, representados pelas faixas verdes. Cada gráfico corresponde ao dia ( $d$ ), com a escala se iniciando ao meio dia e ao dia ( $d+1$ ), que se inicia à meia noite (ponto central dos gráficos). As linhas em vermelho e laranja indicam os valores da temperatura na parte externa e interna do actígrafo, respectivamente, sendo a temperatura externa sempre inferior a interna devido ao contato com o corpo humano. Caso o indivíduo retire o equipamento do pulso, ocorre uma queda brusca de ambas as temperaturas, com as duas linhas indicando o mesmo valor; conforme a faixa roxa indicada na sexta-feira dia 14.08.2020. Esses eventos, denominados pela sigla em inglês de *Off-Wrist* (OW), podem interferir nas análises, pois não é possível determinar se os indivíduos tiveram ou não eventos de sono nesse intervalo.

Adicionalmente aos actogramas, o aplicativo também fornece algumas estatísticas interessantes, que são apresentadas na Figura 2.

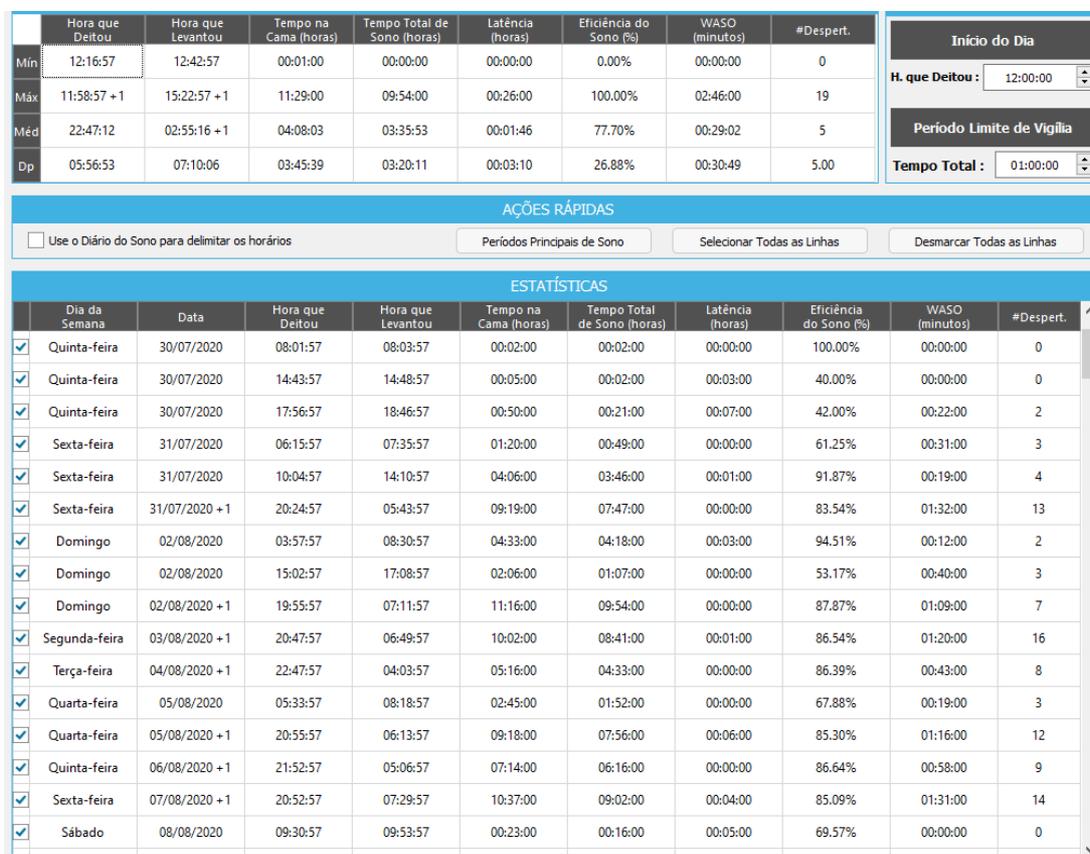


Figura 2: Estatísticas do sono para o indivíduo e período selecionados.

A tabela com as estatísticas do sono apresentada na Figura 2 pode ser exportada em formato csv, de maneira a permitir a extração de todos os dados de interesse. Para o estudo proposto, foram utilizadas as seguintes informações para cada evento de sono: (1) data correspondente ao início do evento de sono, (2) hora que deitou, (3) hora que levantou e (4) eficiência do sono. Como a eficiência do sono é definida pelo algoritmo da ActStudio como sendo a razão entre o tempo real de sono e o tempo na cama é possível calcular o tempo real de sono em cada evento de maneira trivial. Essa decisão de se captar os horários de início e término do período na cama foi tomada para que fosse viável realizar uma estimativa adequada para a eficiência do sono para o caso de haver mais de um evento de sono no período de interesse. Ou seja, suponhamos que haja dois eventos de sono, sendo o primeiro com os parâmetros  $t_1^i$ ,  $t_1^f$  e  $E_1$  e o segundo com os parâmetros  $t_2^i$ ,  $t_2^f$  e  $E_2$ , sendo  $t_1^i$  e  $t_2^i$  os horários em que o indivíduo se deitou,  $t_1^f$  e  $t_2^f$  os horários em

que se levantou e  $E_1$  e  $E_2$  as eficiências para os eventos de sono 1 e 2, respectivamente. Com isso pode-se calcular os dois períodos de sono fazendo:

$$S_1 = (t_1^f - t_1^i)E_1 \text{ e}$$

$$S_2 = (t_2^f - t_2^i)E_2.$$

Com essa abordagem é possível calcular uma média ponderada da eficiência do sono no período de análise, ou seja, a eficiência média considerando-se os dois eventos de sono fica:

$$\langle E \rangle_{1+2} = \frac{S_1 + S_2}{(t_1^f - t_1^i) + (t_2^f - t_2^i)},$$

sendo a referida equação válida para diversos eventos de sono em um mesmo intervalo.

Para validar os eventos de sono para os respectivos indivíduos foram considerados os seguintes critérios:

- A necessidade de dados válidos de actigrafia em um período de no mínimo dois dias antes dos eventos de voo a serem analisados. Esse critério foi implementado através de algoritmo desenvolvido em Fortran 90 pela SOS;
- Foram desconsiderados das análises eventos de sono inferiores a 30 minutos;
- Foram desconsiderados das análises todos os dados de actigrafia que apresentassem um período contínuo de mais de 60 minutos de *Off-Wrist* (OW) no intervalo de tempo de interesse. Por outro lado, períodos inferiores a 60 minutos, que devem estar relacionados ao banho ou a exercícios físicos, não impediram a inclusão do respectivo dado, pois estima-se que sua interferência no resultado seja pouco significativa. Cumpre salientar, contudo, que caso o tripulante tenha retirado o actígrafo por menos de 60 minutos e tenha dormido, o sistema não irá considerar evento de sono, uma vez que o equipamento não coleta dados estando fora do pulso. Por essa razão, as estimativas de sono para esses casos irão refletir um limite inferior, possuindo caráter conservador nas referidas análises. Os critérios de validação de eventos de sono mediante a análise de eventos OW foram implementados no algoritmo computacional desenvolvido pela SOS, incluindo as estatísticas de eventos OW disponibilizadas no aplicativo ActStudio de minuto em minuto para cada participante;

- Para a coleta do tempo total de sono foi considerado um período de 32 horas que antecedeu os horários típicos de apresentação para os voos. Ou seja, para os voos do tipo G1, H11 e M1, com decolagem tipicamente entre 22h30 e 23h20, foi considerado o sono durante todo o dia do voo e o sono entre 13h00 e meia noite do dia anterior ao voo. Para o voo do tipo G21 com decolagem por volta das 02h00 foi considerado o sono que antecedeu a apresentação no dia do voo, todos os eventos de sono do dia anterior e o os eventos desde as 17h00 dois dias antes do voo. Para os voos H21 e M2 com decolagem entre 04h00 e 04h40 da manhã foram incluídos os eventos de sono que antecederam as apresentações nos dias dos voos, todos os eventos de sono do dia anterior ao voo e os eventos de sono desde as 19h00 dois dias antes do voo. Esse padrão para o intervalo de análise dos eventos de sono foi adotado de maneira a incluir cochilos nos períodos da tarde e todos os eventos de sono no período de 32 horas que antecedia as respectivas apresentações. Para as segundas etapas H12, G22 e H22 foram consideradas as mesmas estimativas de sono obtidas para as primeiras etapas H11, G21 e H21, respectivamente.

### **3.9. Caracterização dos voos da RPN nas escalas dos tripulantes:**

Todos os voos da RPN dos Correios das escalas executadas dos tripulantes foram devidamente caracterizados pelo software desenvolvido pela SOS. O algoritmo verificava o tipo de voo realizado e a respectiva quantidade de madrugadas consecutivas.

Dessa forma, foram caracterizados cinco tipos de voos, subdivididos nas suas respectivas chaves:

- Voos do tipo G1, H11, H12 e M1 de primeira madrugada (Mad=1);
- Voos do tipo G1, H11, H12 e M1 de segunda madrugada (Mad=2);
- Voos do tipo G1, H11, H12 e M1 de terceira madrugada (Mad=3);
- Voos do tipo G21, G22, H21, H22 e M2 de primeira madrugada (Mad=1);
- Voos do tipo G21, G22, H21, H22 e M2 de segunda madrugada (Mad=2).

Tal critério visa estabelecer grupos de voos com determinadas características, a fim de verificar como se comportam os dados coletados em função das caracterizações efetuadas. Estima-se que os voos do tipo G21, G22, H21, H22 e M2 sejam mais fatigantes, uma vez que

transcorrem integralmente nos horários de baixa do ciclo circadiano, aumentando a probabilidade de fadiga aguda, independentemente do período de vigília. Por outro lado, estima-se que os voos G1, H11, H12 e M1 representem uma menor exposição ao risco da fadiga, uma vez que o pouso final em SBGR ocorre tipicamente entre 0h00 e 01h00.

### **3.10. Análises estatísticas:**

As análises estatísticas consideram um intervalo de confiança de 95% e foram efetuadas com o software IBM SPSS versão 25. O teste Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para os testes de normalidade das distribuições das variáveis. Para os testes paramétricos foram utilizados teste ANOVA de fator único e teste T para amostras emparelhadas, conforme cada caso. Para os testes não paramétricos foram utilizados teste de Kruskal-Wallis para três ou mais grupos e teste de Mann-Whitney para dois grupos. Para o caso específico de ajuste de parâmetro linear foi utilizado método dos mínimos quadrados.

## 4. Resultados:

### 4.1. Respostas do questionário web:

A SOS disponibilizou um questionário via web para que os tripulantes pudessem responder de maneira anônima e voluntária questões relacionadas ao sono, rotinas de trabalho, qualidade de sono nos hotéis disponibilizados pela empresa, qualidade de sono na sala de descanso em SBGR e pontos de melhoria na referida sala.

#### 4.1.1. Questões gerais sobre o sono:

Nenhum dos 16 respondentes relatou ter conhecimento sobre diagnóstico médico de apneia obstrutiva do sono. Sobre a quantidade de horas de sono necessária para se sentir plenamente revigorado, 6% (1/16) relataram necessitar entre 5h30 e 6h30, 25% (4/16) entre 6h30 e 7h30 e 69% (11/16) entre 07h30 e 08h30.

Com relação ao período de tempo necessário para se preparar para a apresentação para o voo, 19% (3/16) relataram necessitar de 30 a 90 minutos, 25% (4/16) entre 01h30 e 02h30, 12% (3/16) entre 03h30 e 04h30 (2/16) e 44% (7/16) acima de 04h30. Ou seja, cerca de 44% dos tripulantes necessita de menos de 02h30 de antecedência do seu horário de apresentação para se preparar para o voo, enquanto que para 56% dos respondentes esse período é superior a 03h30. **Tal resultado demonstra dois grupos bem distintos, com a maioria dos tripulantes necessitando de um longo período de antecedência para se preparar para o voo.**

#### 4.1.2. Questões sobre a qualidade de sono nos hotéis e sala de descanso:

Em relação à qualidade de sono nos hotéis de pernoite e na sala de descanso em SBGR, os tripulantes tinham quatro opções de resposta: 1-excelente, 2-boa, 3-regular e 4-ruim. Para fins de uma melhor clareza na apresentação dos resultados foi utilizada uma classificação de qualidade proporcional aos índices 1, 2, 3 e 4, de maneira que 1 fique equivalente a 100% e 4 corresponda a 25%. Essa transformação linear é irrelevante para as análises estatísticas, porém não deve ser interpretada como um fator absoluto de qualidade de sono. O gráfico 1 apresenta os resultados obtidos no questionário web ( $N=16$ ) referentes à percepção dos

tripulantes antes da implementação de melhorias. Conforme pode ser observado, a percepção da qualidade de sono na sala de descanso  $42,2 \pm 4,4\%$  é significativamente menor do que nos hotéis de pernoite, que possuem valores médios e erros padrões de  $73,4 \pm 2,8\%$ ,  $64,1 \pm 4,5\%$  e  $78,1 \pm 3,1\%$  para os hotéis de FLN, POA e VIX, respectivamente. Também pode-se observar que dentre os hotéis de pernoite, POA é o que apresenta o resultado menos favorável.

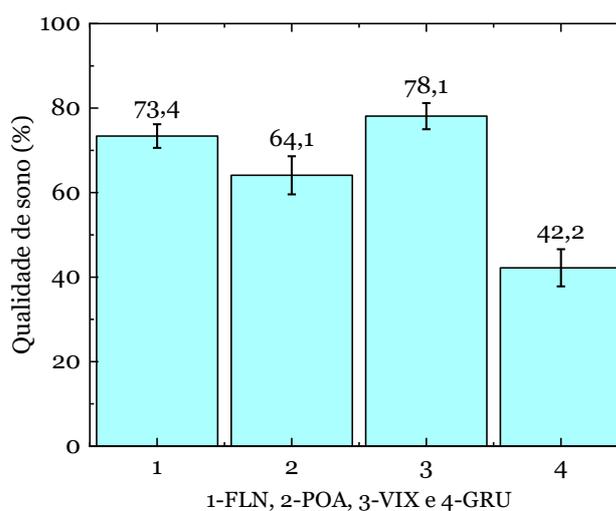


Gráfico 1: Qualidade de sono reportada pelos tripulantes no questionário web.

No intuito de compararmos os valores médios das qualidades subjetivas de sono de maneira quantitativa foram realizados testes estatísticos usando-se o software IBM SPSS versão 25. Inicialmente foi efetuado teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, sendo obtido um valor  $p < 0,002$  para as quatro distribuições. Com isso, foi efetuado teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ( $H = 29,355$ ,  $ngl = 3$ ,  $p < 0,001$ ), sendo  $H$  o valor do teste de Kruskal-Wallis e  $ngl$  o número de graus de liberdade. Portanto, há um efeito de grupo relevante ao compararmos a qualidade de sono reportada pelos tripulantes nos três hotéis de pernoite e na sala de descanso em SBGR.

No intuito de se comparar a qualidade de sono nos hotéis em geral e na sala de descanso em SBGR foi efetuado teste não paramétrico de Mann-Whitney, obtendo-se  $p < 0,001$ .

Ao compararmos os três hotéis de pernoite entre si, foi observado efeito de grupo relevante em teste de Kruskal-Wallis, com  $H = 7,028$ ,  $ngl = 2$  e  $p = 0,030$ . Numa comparação dois a dois entre os hotéis (teste Mann-Whitney) não houve efeito de grupo relevante ao compararmos FLN-VIX ( $p = 0,262$ ) e FLN-POA ( $p = 0,083$ ), porém houve efeito relevante na comparação

POA-VIX ( $p = 0,017$ ). Tal resultado motivou a **implementação de melhorias no hotel de POA**, conforme já descrito na seção 3.7.4.

#### 4.1.3. Questões sobre oportunidades de melhoria na sala de descanso em SBGR:

Para identificar oportunidades de melhoria na sala de descanso em SBGR a SOS realizou visitas técnicas para averiguar a qualidade das instalações, assim como uma consulta direta aos tripulantes mediante questionário web.

As referidas respostas são apresentadas no Gráfico 2, onde verifica-se que os principais pontos elencados pelos aeronautas foram relativos à melhoria nos equipamentos de descanso (88%, 14/16), melhoria no isolamento acústico (63%, 10/16) e um melhor isolamento dos odores externos (44%, 7/16). As melhorias implementadas pela empresa serão apresentadas no decorrer do relatório.

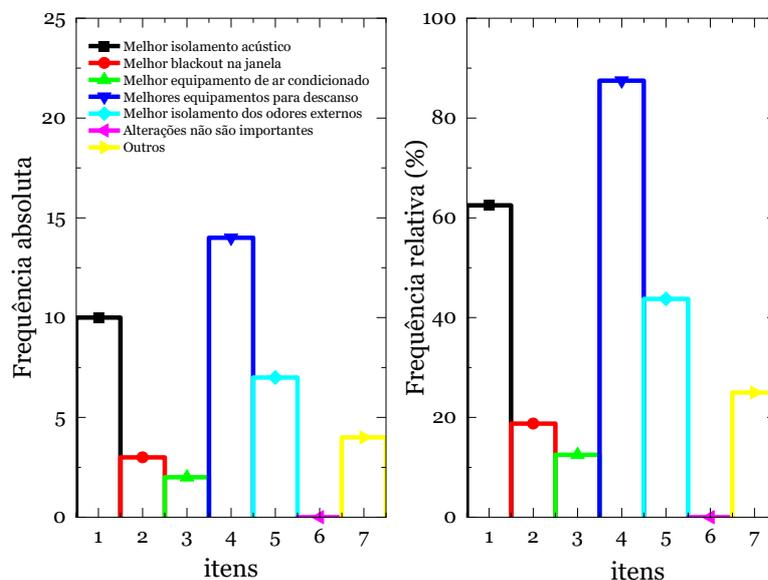


Gráfico 2: Pontos elencados pelos aeronautas no questionário web.

## 4.2. Resultados dos diários de sono:

### 4.2.1. Qualidade de sono reportada:

Diários de sono preenchidos via web pelos aeronautas foram implementados pela SOS no intuito de captar do ponto de vista qualitativo quais foram as percepções dos tripulantes em relação à qualidade e quantidade de sono no transcorrer da pesquisa.

Com relação à coleta dos diários de sono propriamente ditos, os tripulantes fizeram os devidos lançamentos na plataforma web, incluindo a data e hora em que se deitaram e levantaram, o local do sono (casa, hotel ou sala de descanso) e a qualidade do mesmo (1-excelente, 2-bom, 3-regular, 4-ruim). Para fins de uma melhor clareza, analogamente ao que foi realizado na seção 4.1.2, os intervalos de 1 a 4 foram transformados para o intervalo de 100 a 25%.

Para fins de comparação, foram definidos seis grupos para a análise:

- Grupo 1: Sono em casa na fase 1;
- Grupo 2: Sono nos hotéis na fase 1;
- Grupo 3: Sono na sala de descanso em SBGR na fase 1;
- Grupo 4: Sono em casa na fase 2;
- Grupo 5: Sono nos hotéis na fase 2;
- Grupo 6: Sono na sala de descanso em SBGR na fase 2.

Os participantes que só preencheram os diários de sono na fase 1 foram excluídos das análises, a fim de minimizarmos os efeitos de variabilidade individual, que podem inclusive enviesar as análises comparativas.

O gráfico 3 apresenta todos os resultados, com um total de 1518 relatos inseridos via web.

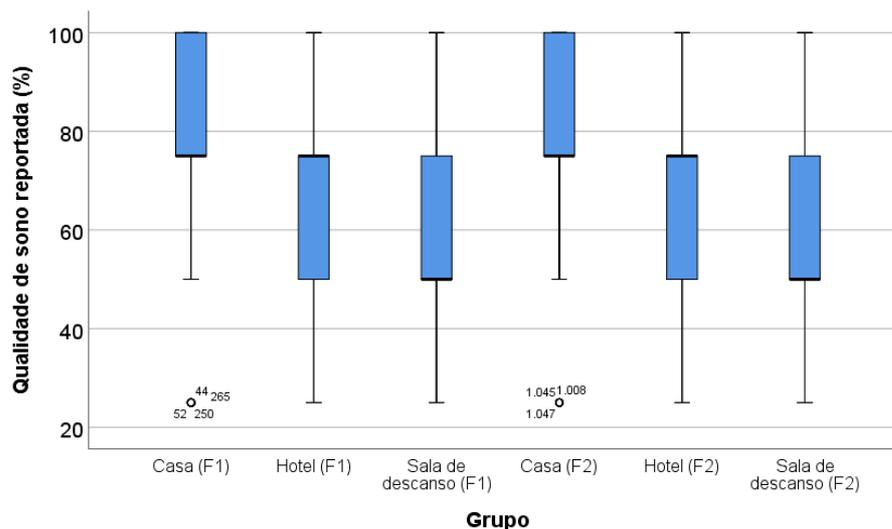


Gráfico 3: Qualidade de sono (numa escala de 0 a 100%) reportada pelos tripulantes nos diários de sono.

Considerando que em todos os 6 grupos as distribuições da variável qualidade de sono não apresentaram comportamento normal em teste Kolmogorov-Smirnov ( $p < 0,001$ ) foram realizados testes não-paramétricos para se avaliar efeitos de grupo. Analisando-se os seis grupos conjuntamente, verifica-se um efeito de grupo relevante em teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ( $H = 160,788$ ;  $ngl = 5$ ;  $p < 0,001$ ).

Os resultados dos valores médios e respectivos erros padrões dos dados de qualidade de sono para os seis grupos analisados são apresentados na Tabela 4, juntamente com testes não-paramétricos de Mann-Whitney.

Tabela 4: Valores médios e respectivos erros padrões da qualidade de sono reportada pelos tripulantes nos diários.

Grupos	<i>N</i>	Média (%)	Erro Padrão (%)	Teste de normalidade K-S	Teste de Mann-Whitney
Grupo 1	643	81,1	0,7	$p < 0,001$	
Grupo 4	337	80,3	1,1	$p < 0,001$	$p = 0,753$
Grupo 2	240	68,5	1,3	$p < 0,001$	
Grupo 5	224	71,0	1,2	$p < 0,001$	$p = 0,221$
Grupo 3	28	54	4	$p < 0,001$	
Grupo 6	36	61,1	2,7	$p < 0,001$	$p = 0,082$

Fonte: Tulio Rodrigues

Conforme pode ser observado na Tabela 4, não há efeito de grupo relevante comparando-se as fases 1 e 2 para nenhum dos três locais de descanso, com um aumento qualitativo na qualidade de descanso reportada para a sala em SBGR (aumento de pouco mais de 7 pontos percentuais). Especificamente sobre esse item, vale ressaltar que as melhorias na sala de descanso começaram a ser implementadas em 21.09.2020, fazendo com que parte dos dados coletados na fase 1 já estivesse refletindo uma condição mais favorável transitória para a qualidade de sono na sala.

Conforme esperado, também foi observado efeito de grupo relevante em teste não paramétrico de Mann-Whitney ( $p < 0,001$ ), comparando-se a qualidade de sono em casa ( $N = 980$ , média =  $80,8 \pm 0,6\%$ ) com a qualidade de sono nos hotéis ( $N = 464$ , média =  $69,7 \pm 0,9\%$ ), considerando os dados das fases 1 e 2 da coleta.

#### 4.2.2. Quantidade de sono reportada:

Os relatos de sono também servem como uma estimativa da quantidade de sono reportada pelos tripulantes nas fases 1 e 2 da pesquisa. Cumpre salientar, contudo, que os dados de actigrafia possuem uma objetividade maior para se estimar essa variável, uma vez que não dependem da subjetividade dos participantes.

O Gráfico 4 apresenta as quantidades de sono reportadas pelos tripulantes nas fases 1 e 2, considerando os mesmos grupos definidos na seção 4.2.1.

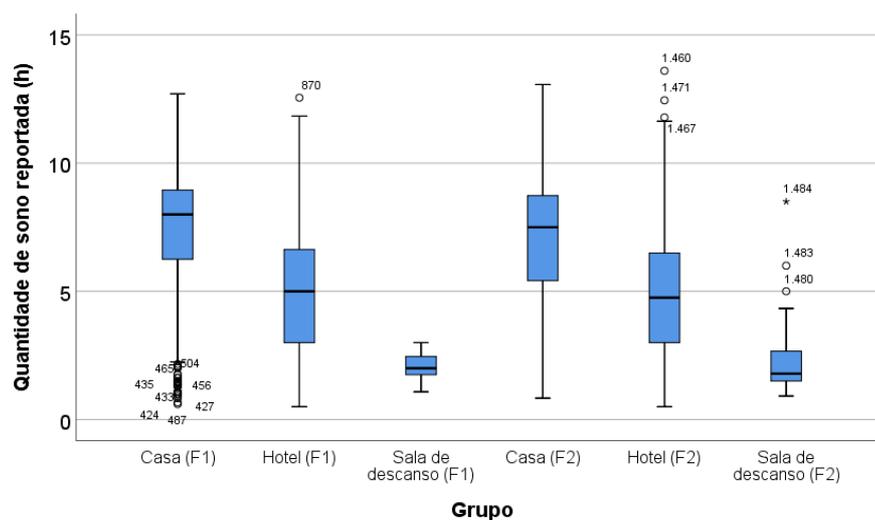


Gráfico 4: Quantidade de sono reportada pelos tripulantes nas fases 1 e 2.

Considerando que todas as distribuições da variável quantidade de sono nos grupos de 1 a 6 não apresentaram comportamento normal [teste Kolmogorov-Smirnov (K-S)] foi necessário realizar teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, que demonstrou um efeito de grupo relevante ( $H = 363,611$ ;  $n_{gl} = 5$  e  $p < 0,001$ ).

Numa comparação dois a dois usando teste de Mann-Whitney foi observado efeito de grupo relevante ao avaliarmos a quantidade de sono em casa reportada entre as fases 1 e 2 ( $p = 0,005$ ). Por outro lado, comparando-se as quantidades de sono nos hotéis e na sala de descanso entre as fases 1 e 2 não foi observado efeito de grupo relevante ( $p = 0,853$  e  $0,350$ , respectivamente).

Com relação ao sono em casa reportado pelos tripulantes há uma redução quantitativa entre as fases 1 e 2 da ordem de 25 minutos (0,42 h). Esse resultado já era esperado e está consistente com o aumento da carga de trabalho nos meses de dezembro e janeiro, conforme será abordado no decorrer do relatório. Cumpre salientar também que não há relação de causa e efeito entre essa redução do sono em casa e os voos de segundas e terceiras madrugadas, visto que estes últimos só dependem das quantidades de sono nos hotéis ou na sala de descanso. Uma hipótese plausível para essa redução está na queda drástica do número de folgas ao compararmos o cenário atípico dos meses de agosto, setembro e outubro de 2020 com os meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021 (ver seção 4.4).

Tabela 5: Valores médios e respectivos erros padrões da quantidade de sono reportada nos diários.

Grupos	<i>N</i>	Média (h)	Erro Padrão (h)	Teste de normalidade K-S	Teste de Mann-Whitney
Grupo 1	643	7,44	0,09	$p < 0,001$	
Grupo 4	337	7,02	0,14	$p < 0,001$	<b><math>p = 0,005</math></b>
Grupo 2	240	5,02	0,15	$p = 0,010$	
Grupo 5	224	5,04	0,17	$p < 0,001$	$p = 0,853$
Grupo 3	28	2,05	0,10	$p = 0,125$	
Grupo 6	36	2,39	0,27	$p < 0,001$	$p = 0,350$

Fonte: Tulio Rodrigues

### 4.3. Melhorias na sala de descanso em SBGR:

A sala de descanso em SBGR possui fundamental importância para o gerenciamento da fadiga nas operações da Total Linhas Aéreas, principalmente por propiciar oportunidades de sono em períodos de grande propensão ao sono devido à baixa do ritmo circadiano. Por tal razão, foi dada especial atenção por parte da SOS para que melhorias fossem implementadas na sala de descanso, cujo layout antes das modificações é apresentado nas Figuras 3 e 4 abaixo.



Figura 3: Foto tirada em diagonal, no canto esquerdo posterior da sala, tendo como referência a direção e o sentido das poltronas.



Figura 4: Foto tirada em diagonal, no canto direito posterior da sala, tendo como referência a direção e o sentido das poltronas.

Logo, tomando-se como base as respostas dos tripulantes ao questionário web (Gráfico 1), foram realizadas diversas modificações na sala, cujo layout atual é representado pelo croqui desenvolvido pela empresa aérea (Figura 5).

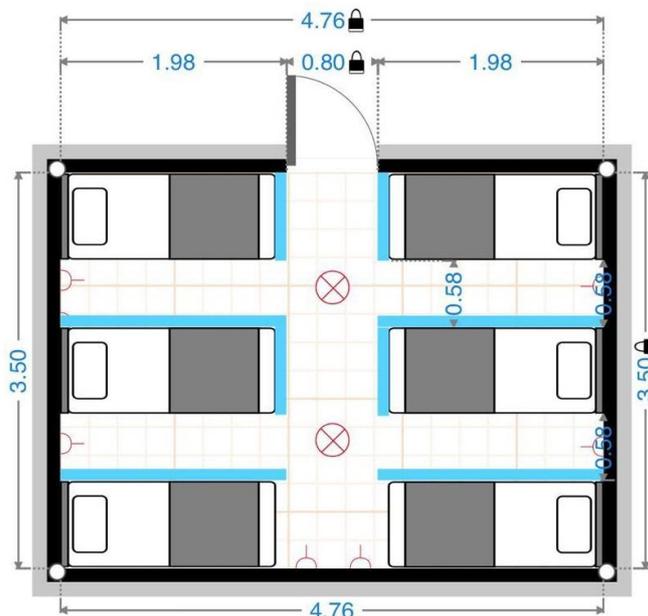


Figura 5: Croqui do novo layout da sala de descanso em SBGR (fornecido pela empresa).

Nesse novo desenho foram incluídas seis camas com travesseiros e divisórias entre as mesmas para endereçar aspectos de higiene e privacidade. O isolamento acústico foi aprimorado e a luminosidade do ambiente foi reduzida de maneira significativa. Por fim, os tripulantes foram orientados a ocupar primeiro as camas mais internas da sala, de maneira a minimizar eventuais interrupções quando da entrada subsequente de outros tripulantes na sala.

Consideremos para fins de orientação um eixo vertical que divide a sala (Figura 5) em duas partes (lado esquerdo e lado direito). Com isso, pode-se numerar as camas de 1 a 6, no sentido horário, com a cama de número 1 sendo a primeira do lado direito superior.

A Figura 6 apresenta uma foto tirada da porta de entrada da sala de descanso, enquanto que as Figuras 7 e 8 apresentam as camas 4, 1 e 5.



Figura 6: Foto da entrada da sala, com as divisórias entre as seis camas.

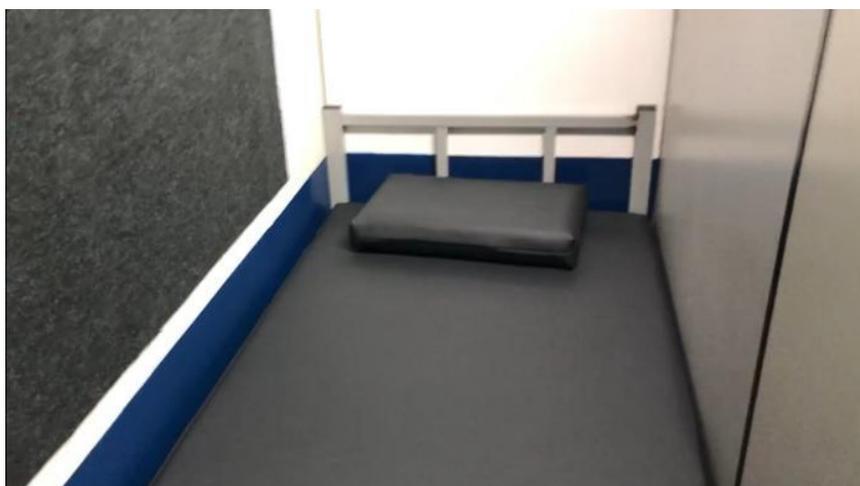


Figura 7: Foto da cama número 4, com um melhor isolamento de luminosidade na janela.



Figura 8: Fotos das camas 1 (lado esquerdo) e 5 (lado direito).

#### 4.4. Caracterização das escalas de voo executadas e verificação de efeitos de sazonalidade:

Com o intuito de verificar possíveis efeitos de sazonalidade em decorrência da queda brusca da demanda nos meses de agosto, setembro e outubro de 2020, foram avaliados parâmetros de relevância para o gerenciamento da fadiga. Os resultados refletem as escalas executadas dos tripulantes nos meses de agosto, setembro, outubro e dezembro de 2020 e janeiro de 2021.

##### 4.4.1. Horas de voo mensais:

As médias mensais de horas de voo de 24 tripulantes (excluindo um tripulante em quadro administrativo) foram compartilhadas pela empresa e são apresentadas no Gráfico 5 para os meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2020 e janeiro de 2021.

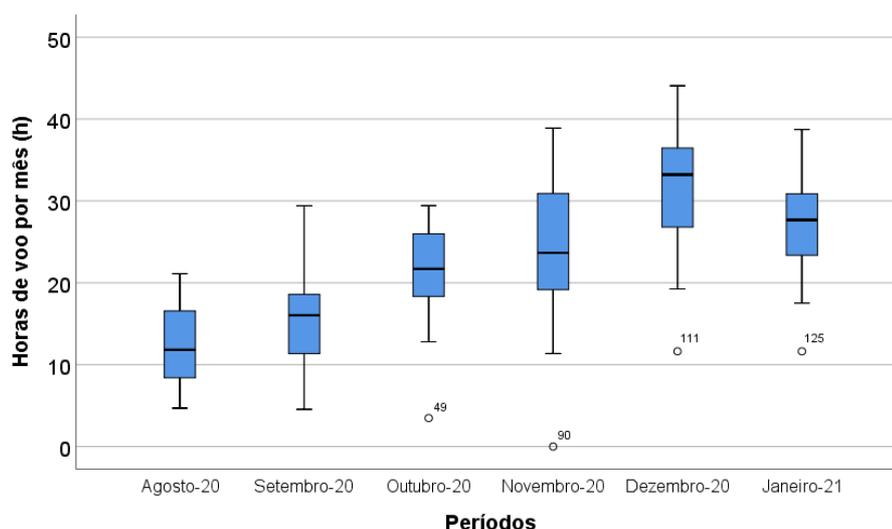


Gráfico 5: Variação da média de horas de voo entre agosto de 2020 e janeiro de 2021.

Como as distribuições para os seis meses analisados tiveram comportamento normal em teste Kolmogorov-Smirnov, foram realizados testes paramétricos do tipo ANOVA de fator único. Numa comparação entre os seis meses, verifica-se um efeito de grupo relevante ( $F_{5,138} = 26,588$ ,  $p < 0,001$ ). A Tabela 6 apresenta os resultados dos testes estatísticos para os meses dois a dois, onde fica bastante claro o efeito de sazonalidade

nesse parâmetro, com os meses de agosto e setembro apresentando valores médios muito inferiores aos demais, outubro e novembro representando períodos de transição e dezembro e janeiro um outro grupo de alta demanda.

Tabela 6: Horas de voo mensais por tripulante e testes ANOVA de fator único.

Grupos	Valor Médio (h)	Erro Padrão (h)	$F_{1,46}$	valor- $p$
Agosto-20	12,6	1,0	3,507	0,067
Setembro-20	15,5	1,1		
Setembro-20	15,5	1,1	11,775	<b>0,001</b>
Outubro-20	21,3	1,2		
Outubro-20	21,3	1,2	1,607	0,211
Novembro-20	24,0	1,8		
Novembro-20	24,0	1,8	9,143	<b>0,004</b>
Dezembro-20	31,2	1,6		
Dezembro-20	31,2	1,6	3,938	0,053
Janeiro-21	27,2	1,3		

Fonte: Tulio Rodrigues

Logo, separando-se entre fases 1 e 2, verifica-se um efeito de grupo significativo ( $F_{1,118} = 99,987$ ,  $p < 0,001$ ), com uma média de horas de voo entre dezembro de 2020 e janeiro de 2021 ( $29,2 \pm 1,0$  h) cerca de 77% acima do resultado médio combinando-se os meses de agosto, setembro e outubro de 2020 ( $16,5 \pm 0,8$  h).

#### 4.4.2. Quantidade de folgas mensais:

Outro aspecto importante consiste na avaliação da média de folgas mensais dos tripulantes durante o período de coleta dos dados. Os resultados são apresentados no Gráfico 6, sendo os valores abaixo de 10 folgas correspondentes aos tripulantes que estavam de férias em agosto (total de 7 tripulantes com férias em parte do mês de agosto) ou dispensa médica.

Novamente, verifica-se uma variação significativa ao compararmos os cinco meses de coleta entre si em teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $H = 46,658$ ;  $ngl = 4$ ;  $p < 0,001$ ).

As quantidades de folga entre as fases 1 e 2 ( $17,7 \pm 0,4$  e  $13,9 \pm 0,4$ , respectivamente) também apresentam um efeito de grupo relevante em teste de Mann-Whitney ( $p < 0,001$ ). Essa variação bem significativa, adicionada ao fato de que 7 tripulantes estiveram de férias no mês de agosto (total de 55 dias de férias, com uma média de 7,9

dias de férias por tripulante), certamente interferiu na variação da quantidade de sono em casa reportada pelos tripulantes nos diários de sono entre as fases 1 e 2 (Tabela 5). Com isso, há a necessidade de se utilizar os dados objetivos de actigrafia para se estimar a quantidade de sono que antecedeu as programações de voo, conforme metodologia descrita na seção 3.8, cujos resultados serão apresentados a seguir.

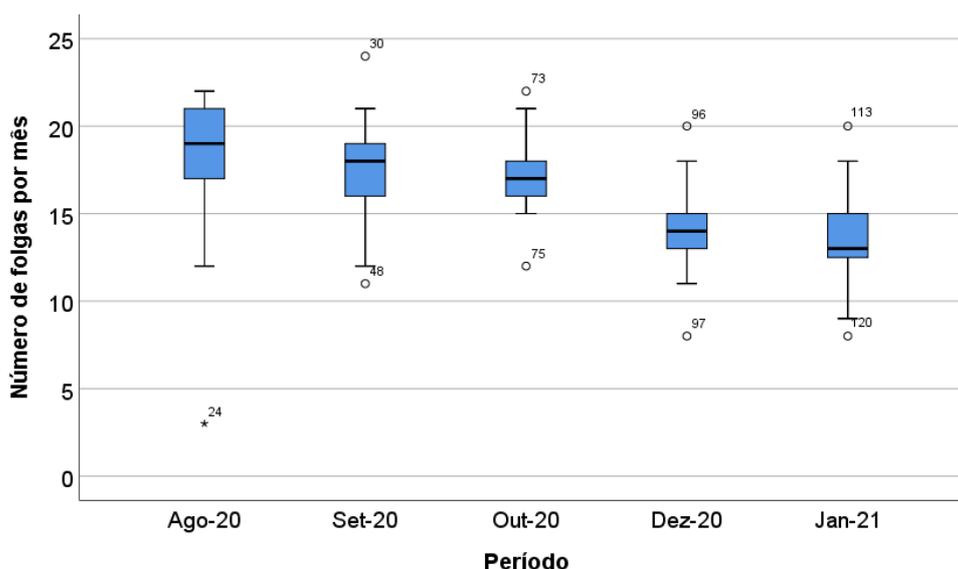


Gráfico 6: Quantidades de folgas mensais no período de coleta de dados.

#### 4.4.3. Quantidade de madrugadas mensais:

Um ponto central para verificar o impacto da fadiga nas rotinas dos aeronautas está na densidade de madrugadas nas escalas de trabalho. Como a malha da RPN da Total Linhas Aéreas ocorre integralmente em horários noturnos, é importante estabelecer métricas para o correto gerenciamento dos riscos da fadiga.

Como ponto inicial, a SOS desenvolveu algoritmo computacional para caracterizar todas as madrugadas executadas pelos aeronautas durante os cinco meses de coleta de dados.

Os resultados para as quantidades totais de madrugadas por tripulante (simples, duplas ou triplas) são apresentados no Gráfico 7, onde verifica-se o aumento progressivo desse indicador na medida em que a malha da RPN foi se estabilizando. Teste não paramétrico de Kruskal-Wallis apontou um efeito de grupo relevante entre os meses de análise ( $H = 60,015$ ,  $n_{gl} = 4$  e  $p < 0,001$ ).

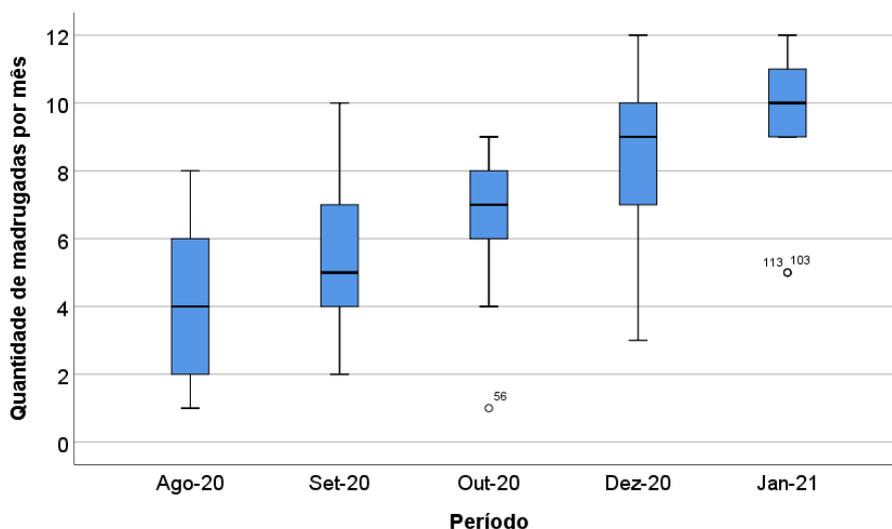


Gráfico 7: Quantidade de madrugadas por tripulante no período de coleta dos dados.

Verifica-se também um efeito de grupo relevante (teste Mann-Whitney,  $p < 0,001$ ) com um aumento de 64% na quantidade média de madrugadas entre as fases 1 ( $5,49 \pm 0,25$ ) e 2 ( $9,0 \pm 0,3$ ).

As quantidades de madrugadas separadas por função para os meses da fase 2 são apresentadas no Gráfico 8. Para esse caso não foi observado efeito de grupo relevante (teste de Kruskal-Wallis:  $H = 2,948$ ,  $n_{gl} = 2$  e  $p = 0,229$ ), porém um maior intervalo interquartil para o caso dos mecânicos de voo (IIQ = 4,25), em comparação com os resultados dos pilotos (IIQ = 2). Esse intervalo nos fornece importante informação referente à dispersão dos dados, demonstrando que as distribuições dos voos poderiam ser mais bem efetuadas para o grupo dos mecânicos de voo, sugerindo **uma oportunidade de melhoria para esse parâmetro**, de maneira a diminuir a dispersão entre os pares.

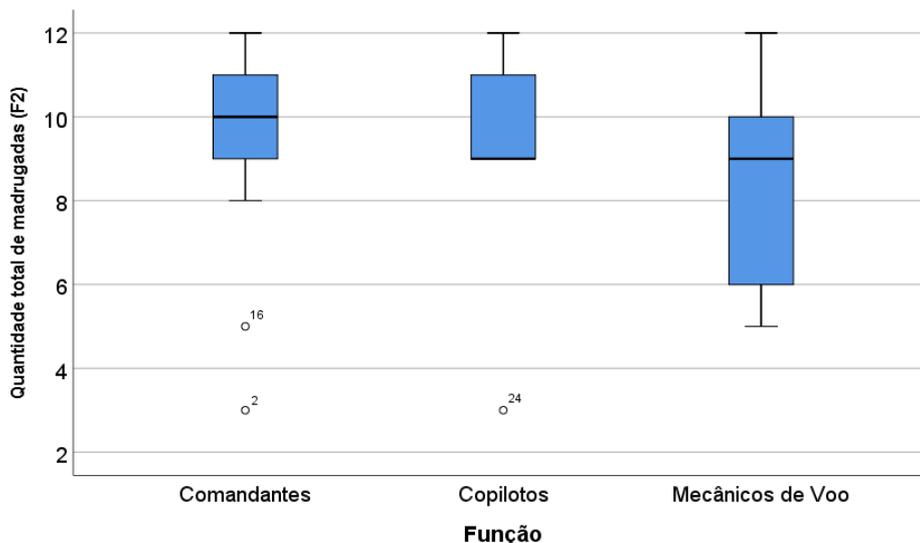


Gráfico 8: Quantidade de madrugadas nas escalas da fase 2 para as funções de comandante, copiloto e mecânico de voo.

No intuito de comparar as quantidades de madrugadas simples e duplas, para os diversos trechos operados pela empresa, foram realizados filtros na rotina computacional, alinhados aos critérios estabelecidos na seção 3.9.

Conforme previamente apontado, os voos do tipo G21, G22, H21, H22 e M2 acarretam uma maior exposição ao risco da fadiga, uma vez que são realizados integralmente no período de baixa do ritmo circadiano. Os resultados para esses voos nas fases 1 e 2 em primeira e segunda madrugadas são apresentados nos Gráficos 9 e 10, respectivamente.

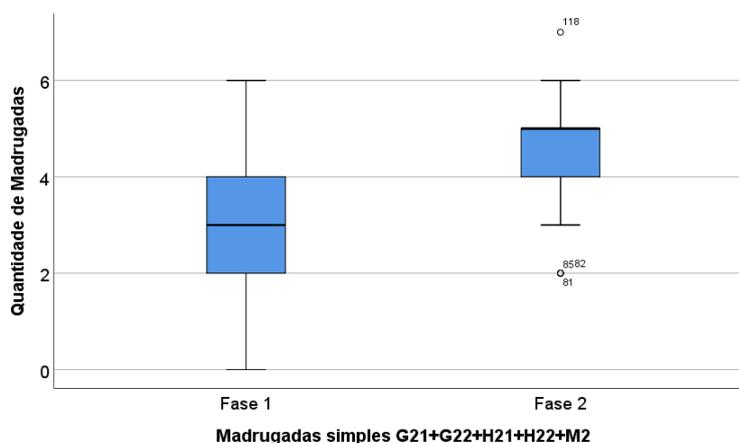


Gráfico 9: Voos de madrugada simples do tipo G21, G22, H21, H22 e M2.

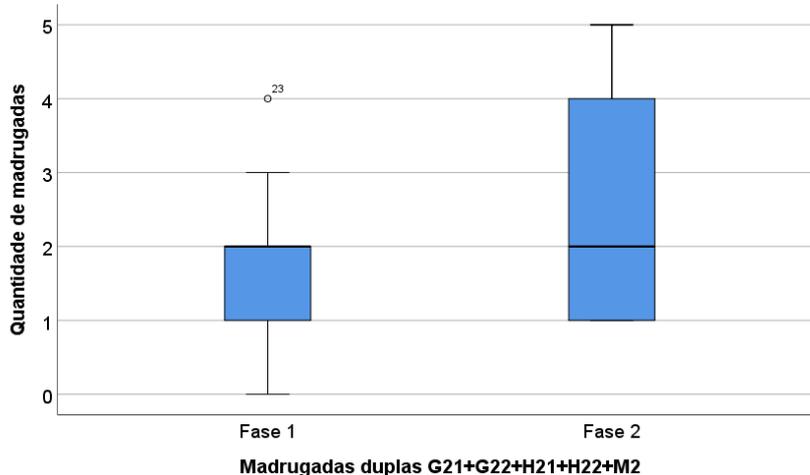


Gráfico 10: Voos de madrugada dupla do tipo G21, G22, H21, H22 e M2.

Os voos de madrugada simples do tipo G21, G22, H21, H22 e M2 tiveram um considerável aumento (42%) entre as fases 1 ( $3,28 \pm 0,16$ ) e 2 ( $4,65 \pm 0,16$ ) e um efeito de grupo relevante em teste de Mann-Whitney (M-W) ( $p < 0,001$ ). Para essa variável vale a pena também observar um outlier com 7 madrugadas simples e outros três outliers com 2 madrugadas na fase 2, **demonstrando mais uma oportunidade para uma menor dispersão entre os dados.**

Com relação aos voos de segunda madrugada (Gráfico 10) também se verifica um efeito de grupo relevante (M-W:  $p < 0,001$ ) entre as fases 1 e 2, com um aumento de 64% nas quantidades de madrugadas ( $1,51 \pm 0,12$  na fase 1 para  $2,48 \pm 0,18$  na fase 2). Novamente, observa-se um intervalo interquartil três vezes maior comparando-se as fases 1 e 2 e **uma oportunidade de melhoria para uma redução na dispersão desses dados.** Conforme previamente apontado pelo SOS, os voos de segunda madrugada do tipo G21, G22, H21, H22 e M2 devem ser o principal foco de atenção no gerenciamento da fadiga nas operações da empresa. Ou seja, **mesmo que os limites prescritivos permitam a execução das duas madrugadas sem qualquer mitigação, recomenda-se que estas sejam efetivadas para um melhor gerenciamento dos riscos.**

#### 4.4.4. Consolidando todos os indicadores de carga de trabalho nas escalas de voo:

A Tabela 7 apresenta os valores médios e erros padrões de todos os indicadores de carga de trabalho analisados pela SOS nas fases 1 e 2 da pesquisa.

Tabela 7: Valores médios, erros padrões e testes estatísticos de indicadores de carga de trabalho

Variáveis	Grupos	N	Média	Erro Padrão	Teste de normalidade K-S	Teste Estatístico
Horas de voo	Fase 1	72	16,5 h	0,8 h	$p > 0,200$	
	Fase 2	48	29,2 h	1,0 h	$p > 0,200$	<b><math>p &lt; 0,001</math></b> [1]
Folgas	Fase 1	75	17,7	0,4	$p < 0,001$	
	Fase 2	48	13,9	0,4	$p = 0,014$	<b><math>p &lt; 0,001</math></b> [2]
Madrugadas totais	Fase 1	75	5,49	0,25	$p = 0,011$	
	Fase 2	48	9,0	0,3	$p < 0,001$	<b><math>p &lt; 0,001</math></b> [2]
Madrugadas simples (G21, G22, H21, H22 e M2)	Fase 1	75	3,28	0,16	$p < 0,001$	
	Fase 2	48	4,65	0,16	$p < 0,001$	<b><math>p &lt; 0,001</math></b> [2]
Madrugadas duplas (G21, G22, H21, H22 e M2)	Fase 1	75	1,51	0,12	$p < 0,001$	
	Fase 2	48	2,48	0,18	$p < 0,001$	<b><math>p &lt; 0,001</math></b> [2]

[1] ANOVA, [2] Mann-Whitney

Fonte: Tulio Rodrigues

## 4.5. Índice de fadiga autorreferida na escala Samn-Perelli:

### 4.5.1. Avaliação da variabilidade interpessoal:

Os índices de fadiga autorreferida na escala Samn-Perelli [7] (Anexo 2) constituem dados subjetivos acerca da performance dos tripulantes no ponto ideal de descida nas operações analisadas durante os cinco meses de coleta.

Como ponto de partida, torna-se importante avaliar a variabilidade interpessoal dos dados, a fim de identificar possíveis vieses nas análises. Tais vieses podem ser originados de duas principais formas: (1) com uma participação muito assimétrica de um dado tripulante entre as fases 1 e 2 e (2) com escalas de voo muito distintas entre os tripulantes, gerando um número pequeno de voos com determinadas características para cada tripulante, inclusive com a possibilidade de uma grande variação desse número entre as fases 1 e 2. Essa questão será abordada em mais detalhe no decorrer do relatório.

Foram coletados um total de 984 dados de escala Samn-Perelli entre as fases 1 ( $N = 504$ ) e 2 ( $N = 480$ ). Esses escores - separados por códigos aleatórios (Ids) gerados randomicamente para representar cada participante - são apresentados no Gráfico 11.

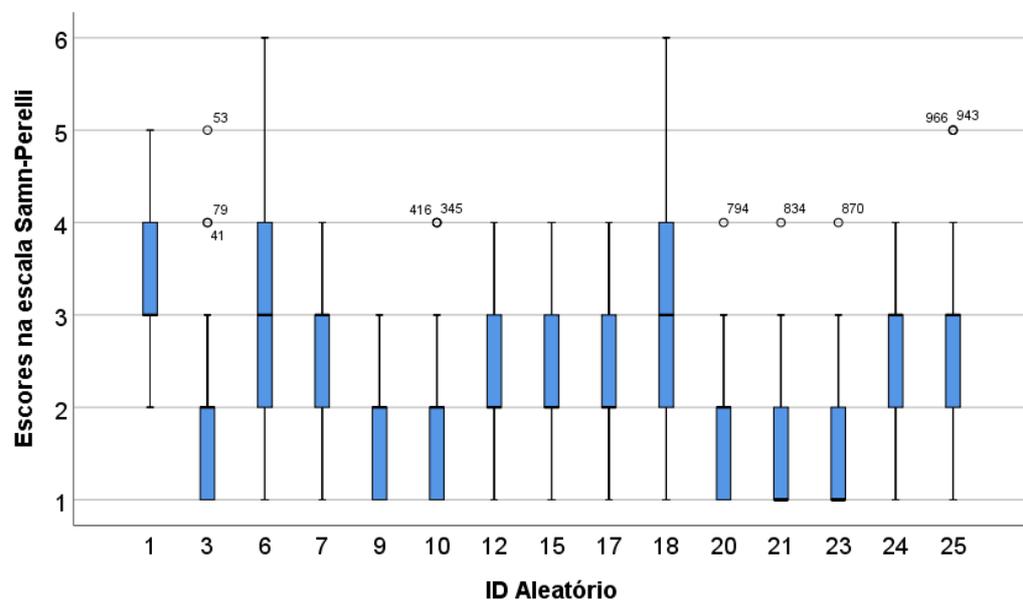


Gráfico 11: Escores na escala Samn-Perelli em função dos ids aleatórios gerados para cada tripulante.

Conforme observado no Gráfico 11, a grande maioria dos tripulantes reportou um valor máximo de 5 na escala Samn-Perelli, com apenas dois Ids superando essa marca. Conforme

antecipado, a variabilidade interpessoal fica evidenciada ao observar as relevantes diferenças nas percepções dos participantes. O teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis demonstrou um efeito de grupo significativo comparando-se os escores de todos os participantes entre si ( $H = 243,785$ ,  $n_{gl} = 14$  e  $p < 0,001$ ).

#### 4.5.2. Voos do tipo G1, H11, H12 e M1:

Os resultados relativos aos escores na escala Samn-Perelli foram atrelados às suas respectivas programações de voo das escalas executadas através do algoritmo desenvolvido pela SOS. Com isso foi possível avaliar quais foram as variações desse importante indicador de performance com as características específicas dos voos. O Gráfico 12 apresenta os resultados dos escores na escala Samn-Perelli para todos os voos de primeira madrugada do tipo G1, H11&H12 e M1 nos cinco meses de coleta, onde não se observou efeito de grupo relevante em teste de Kruskal-Wallis ( $H = 3,255$ ,  $n_{gl} = 2$ ,  $p = 0,196$ ).

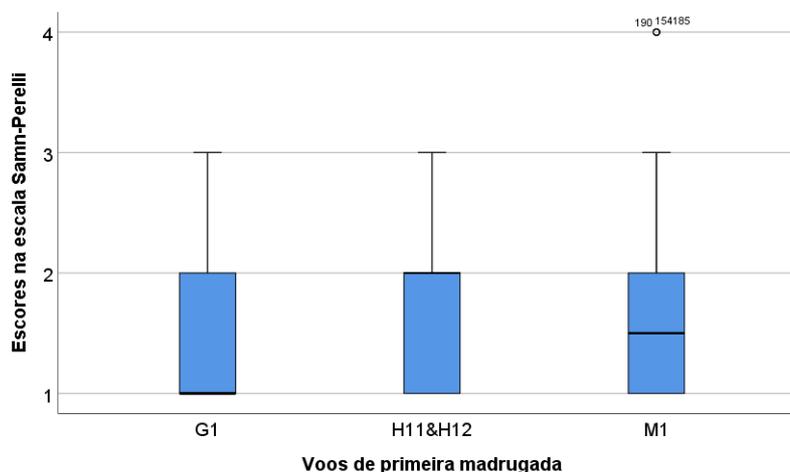


Gráfico 12: Escores na escala Samn-Perelli para todos os voos de primeira madrugada do tipo G1, H11&H12 e M1.

Comparando-se os voos de segunda madrugada do tipo G1, H11&H12 e M1 nos cinco meses de coleta, também não foi observado efeito de grupo relevante em teste de Kruskal-Wallis ( $H = 4,186$ ,  $n_{gl} = 2$  e  $p = 0,123$ ).

Diante da ausência de efeitos de grupo, tanto para os voos de primeira, quanto de segunda madrugada do tipo G1, H11&H12 e M1 e considerando que a amostra para os voos de terceira madrugada possuía uma quantidade modesta de dados ( $N = 32$ ), optou-se por

aglutinar todos os resultados de terceira madrugada no mesmo grupo, denominado G1H1M1 (Mad=3).

Logo, com a finalidade de se avaliar o impacto da fadiga nas terceiras madrugadas foi realizada uma comparação entre os voos de segunda madrugada (G1, H11&H12 e M1) e o grupo com os voos de terceira madrugada, que demonstrou ausência de efeito de grupo em teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $H = 5,738$ ,  $n_{gl} = 3$  e  $p = 0,125$ ). Os resultados são apresentados no Gráfico 13, onde verifica-se que os escores máximos obtidos ocorreram para os voos do tipo G1 de segunda madrugada (escore 5), sendo que para os demais voos, **incluindo os voos de terceira madrugada, o escore máximo ficou em 4.**

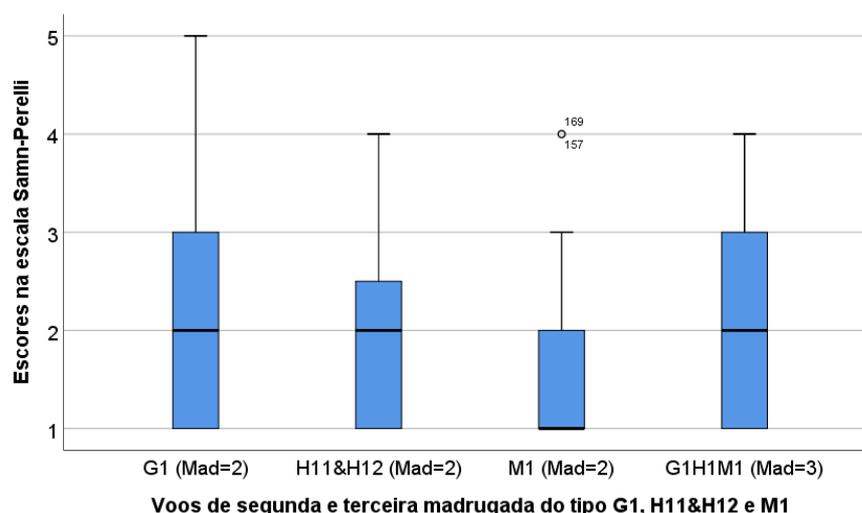


Gráfico 13: Escores na escala Samn-Perelli dos voos de segunda e terceira madrugada do tipo G1, H11&H12 e M1.

#### 4.5.3. Voos do tipo G21&G22, H21&H22 e M2:

O Gráfico 14 apresenta uma comparação entre os voos de primeira madrugada do tipo G21&G22, H21&H22 e M2, onde não foi observado efeito de grupo relevante em teste de Kruskal-Wallis ( $H = 1,150$ ,  $n_{gl} = 2$ ,  $p = 0,563$ ). Também vale a pena ressaltar a presença de alguns outliers com escores 5 e 6.

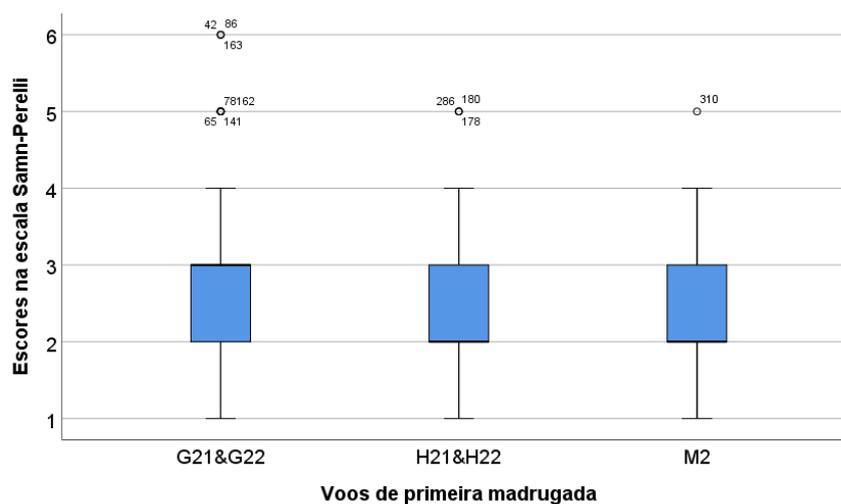


Gráfico 14: Escores na escala Samn-Perelli nos voos de primeira madrugada do tipo G21&G22, H21&H22 e M2.

O Gráfico 15 apresenta os voos de segunda madrugada, onde foi constatada uma situação limítrofe para um eventual efeito de grupo em teste de Kruskal-Wallis ( $H = 5,939$ ,  $n_{gl} = 2$ ,  $p = 0,051$ ). Numa análise dois a dois com teste não paramétrico de Mann-Whitney foi observado efeito de grupo relevante ( $p = 0,014$ ) comparando-se os resultados para G21&G22 ( $2,83 \pm 0,10$ ) com H21&H22 ( $2,46 \pm 0,09$ ). Tal efeito não foi observado em teste de Mann-Whitney entre os grupos G21&G22 e M2 ( $p = 0,923$ ), tampouco H21H22 e M2 ( $p = 0,098$ ). Como os valores médios de G21&G22 ( $2,83 \pm 0,10$ ) e M2 ( $2,81 \pm 0,18$ ) ficaram bastante próximos, optou-se por agregar esses dados e comparar o resultado com os escores obtidos para os voos H21&H22, onde observou-se um efeito de grupo relevante ( $p = 0,015$ ).

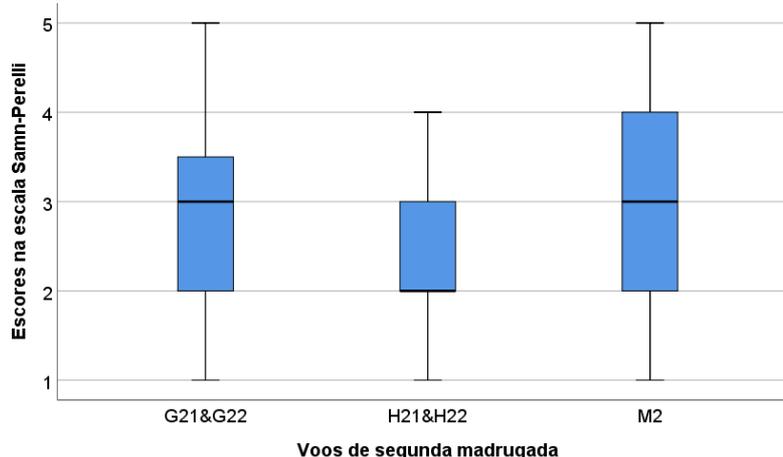


Gráfico 15: Escores na escala Samn-Perelli nos voos de segunda madrugada do tipo G21&G22, H21&H22 e M2.

#### 4.5.4. Consolidando os resultados de escores na escala Samn-Perelli para todos os voos:

Os dados disponíveis ( $N = 984$ ) foram separados em 5 grupos:

- Grupo 1: Todos os voos do tipo G1, H11&H12 e M1 de primeira madrugada;
- Grupo 2: Todos os voos do tipo G1, H11&H12 e M1 de segunda madrugada;
- Grupo 3: Todos os voos do tipo G1, H11&H12 e M1 de terceira madrugada;
- Grupo 4: Todos os voos do tipo G21&G22, H21&H22 e M2 de primeira madrugada e,
- Grupo 5: Todos os voos do tipo G21&G22, H21&H22 e M2 de segunda madrugada.

Os resultados são apresentados no Gráfico 16 e demonstram mais uma vez a importância de um bom gerenciamento em relação aos voos do tipo G21&G22, H21&H22 e M2. Teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis demonstrou efeito de grupo relevante ( $H = 188,122$ ,  $n_{gl} = 4$  e  $p < 0,001$ ).

Não foi observado efeito relevante na comparação entre os três primeiros grupos (teste Kruskal-Wallis:  $H = 5,054$ ,  $n_{gl} = 2$  e  $p = 0,080$ ), **demonstrando que os voos de terceira madrugada são estatisticamente compatíveis com os voos de primeira e segunda na configuração específica da malha da empresa.**

Também não houve efeito de grupo relevante ao compararmos os grupos 4 e 5 (Mann-Whitney,  $p = 0,145$ ). Por outro lado, comparando-se os resultados consolidados dos grupos

4 e 5 ( $2,63 \pm 0,04$ ) com os voos de terceira madrugada ( $2,06 \pm 0,17$ ) foi observado efeito de grupo relevante (Mann-Whitney,  $p = 0,003$ ). O valor médio para os voos do tipo G21&G22, H21&H22 e M2 ficou cerca de 28% acima daquele observado para os voos de terceira madrugada. Os resultados relevantes são consolidados na Tabela 8.

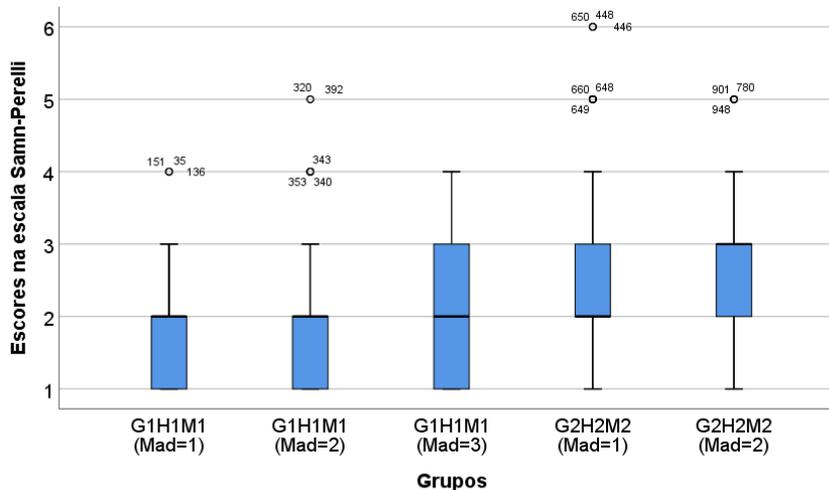


Gráfico 16: Escores na escala Samn-Perelli para todos os cinco grupos analisados.

Tabela 8: Escores na escala Samn-Perelli e Testes Estatísticos Não Paramétricos

Grupos	N	Média	Erro Padrão	Teste de normalidade K-S	Teste Estatístico
G1(Mad=1)	65	1,58	0,09	<0,001	
H1 (Mad=1)	72	1,76	0,07	<0,001	
M1(Mad=1)	82	1,71	0,09	<0,001	<i>p</i> = 0,196 (1)
G1(Mad=2)	41	1,93	0,17	<0,001	
H1(Mad=2)	80	1,93	0,09	<0,001	
M1(Mad=2)	52	1,65	0,12	<0,001	<i>p</i> = 0,123 (1)
G1(Mad=2)	41	1,93	0,17	<0,001	
H1(Mad=2)	80	1,93	0,09	<0,001	
M1(Mad=2)	52	1,65	0,12	<0,001	
G1H1M1 (Mad=3)	32	2,06	0,17	0,001	<i>p</i> = 0,125 (1)
G2(Mad=1)	172	2,65	0,09	<0,001	
H2(Mad=1)	122	2,51	0,08	<0,001	
M2(Mad=1)	89	2,61	0,10	<0,001	<i>p</i> = 0,563 (1)
G2(Mad=2)	80	2,83	0,10	<0,001	
H2(Mad=2)	54	2,46	0,09	<0,001	
M2(Mad=2)	43	2,81	0,18	0,004	<i>p</i> = 0,051 (1)
G2(Mad=2)	80	2,83	0,10	<0,001	
H2(Mad=2)	54	2,46	0,09	<0,001	<b><i>p</i> = 0,014 (2)</b>
H2(Mad=2)	54	2,46	0,09	<0,001	
M2(Mad=2)	43	2,81	0,18	0,004	<i>p</i> = 0,098 (2)
G2(Mad=2)	80	2,83	0,10	<0,001	
M2(Mad=2)	43	2,81	0,18	0,004	<i>p</i> = 0,923 (2)
G1H1M1 (Mad=1)	219	1,69	0,05	<0,001	
G1H1M1 (Mad=2)	173	1,84	0,07	<0,001	
G1H1M1 (Mad=3)	32	2,06	0,17	0,001	
G2H2M2 (Mad=1)	383	2,6	0,05	<0,001	
G2H2M2 (Mad=2)	177	2,71	0,07	<0,001	<b><i>p</i> &lt; 0,001 (1)</b>
G1H1M1 (Mad=1)	219	1,69	0,05	<0,001	
G1H1M1 (Mad=2)	173	1,84	0,07	<0,001	
G1H1M1 (Mad=3)	32	2,06	0,17	0,001	<i>p</i> = 0,080 (1)
G2H2M2 (Mad=1)	383	2,6	0,05	<0,001	
G2H2M2 (Mad=2)	177	2,71	0,07	<0,001	<i>p</i> = 0,145 (2)
G2H2M2 (Mad=1)+ G2H2M2 (Mad=2)	560	2,63	0,04	<0,001	
G1H1M1 (Mad=3)	32	2,06	0,17	0,001	<b><i>p</i> = 0,003 (2)</b>

(1) Kruskal-Wallis, (2) Mann-Whitney

Fonte: Tulio Rodrigues

#### 4.5.5. Comparando-se os escores na escala Samn-Perelli entre as fases 1 e 2:

Todos os voos com dados disponíveis de escala Samn-Perelli ( $N=984$ ) foram separados em subgrupos a fim de se avaliar eventuais variações nos escores entre as fases 1 e 2. Os referidos grupos foram definidos da forma:

- Grupo 1: todos os voos realizados na fase 1;
- Grupo 2: todos os voos realizados na fase 2, incluindo os voos de terceira madrugada;
- Grupo 3: todos os voos do tipo G1H1M1 de primeira madrugada realizados na fase 1;
- Grupo 4: todos os voos do tipo G1H1M1 de primeira madrugada realizados na fase 2;
- Grupo 5: todos os voos do tipo G1H1M1 de segunda madrugada realizados na fase 1;
- Grupo 6: todos os voos do tipo G1H1M1 de segunda madrugada realizados na fase 2;
- Grupo 7: todos os voos do tipo G2H2M2 de primeira madrugada realizados na fase 1;
- Grupo 8: todos os voos do tipo G2H2M2 de primeira madrugada realizados na fase 2;
- Grupo 9: todos os voos do tipo G2H2M2 de segunda madrugada realizados na fase 1;
- Grupo 10: todos os voos do tipo G2H2M2 de segunda madrugada realizados na fase 2;

Conforme previamente reportado (seção 4.5.1), a variabilidade interpessoal tem um grande potencial para introduzir vieses numa comparação entre as fases 1 e 2. O fato de haver uma amostra pequena (com 14 participantes na fase 1 e 12 na fase 2), aliado às flutuações interpessoais significativas (Gráfico 11), às assimetrias de engajamento de um mesmo indivíduo na pesquisa comparando-se as fases 1 e 2 e potenciais assimetrias nas escalas de voo de um mesmo indivíduo entre as fases 1 e 2, comprometem uma análise não enviesada para se avaliar eventuais variações nos dados.

Por essas razões, concomitantemente a uma análise que incluiu todos os dados, foi também realizado um procedimento de ajuste randômico das quantidades de dados para um mesmo Id nas duas fases da pesquisa.

Tal procedimento (denominado para fins de clareza “Ajuste  $N_1&N_2$ ”) foi implementado da seguinte maneira:

- i. Foi verificada a quantidade de dados nas fases 1 ( $N_1$ ) e 2 ( $N_2$ ) para cada participante nos grupos de 1 a 10 previamente definidos;
- ii. Posteriormente, foi realizado um sorteio aleatório dentre o conjunto de dados com maior  $N$  entre as fases 1 e 2, excluindo os dados com  $N$  maior de maneira randômica, a fim de manter uma participação simétrica do referido indivíduo entre as duas fases de coleta;

- iii. O sorteio aleatório do item ii) dependeu apenas das quantidades de dados de cada participante nos grupos de 1 a 10 em cada fase, tendo sido realizado de maneira independente dentro dos 10 grupos, sempre que  $N_1 \neq N_2$ ;
- iv. Para os indivíduos com  $N_1 = N_2$  foram mantidos todos os dados;
- v. Os dados dos indivíduos que participaram apenas de uma das duas fases da pesquisa foram excluídos nesse procedimento.

Os resultados incluindo todos os dados e aqueles provenientes do “Ajuste  $N_1 \& N_2$ ” são apresentados na Tabela 9, onde verifica-se que não houve efeito de grupo relevante (teste não paramétrico de Mann-Whitney) em nenhum dos casos analisados. Os resultados incluindo todos os dados devem ser analisados com cautela pela potencialidade de viés conforme já apontado.

O fato de não haver efeito de grupo entre as fases 1 e 2 considerando os dados do “Ajuste  $N_1 \& N_2$ ” é de certa forma pouco esperado, uma vez que a carga de trabalho variou significativamente no período (Tabela 7). Esse fato também deixa bastante claro que a **inclusão da terceira madrugada não acarretou em qualquer incremento quantitativo nos índices de fadiga reportados pelos tripulantes na escala Samn-Perelli.**

Tabela 9: Comparação dos escores na escala Sann-Perelli para os grupos de 1 a 10 entre as fases 1 e 2.

Grupos	Todos os dados					Ajuste $N_1$ & $N_2$				
	N	Média	Erro Padrão	Teste de normalidade K-S	Teste Mann-Whitney	N	Média	Erro Padrão	Teste de normalidade K-S	Teste Mann-Whitney
Grupo 1: todos (F1)	504	2,28	0,05	$p < 0,001$		377	2,19	0,05	$p < 0,001$	
Grupo 2: todos (F2)	480	2,25	0,04	$p < 0,001$	$p = 0,930$	377	2,24	0,05	$p < 0,001$	$p = 0,244$
Grupo 3: G1H1M1 (Mad=1, F1)	142	1,70	0,06	$p < 0,001$		68	1,62	0,08	$p < 0,001$	
Grupo 4: G1H1M1 (Mad=1, F2)	77	1,66	0,08	$p < 0,001$	$p = 0,756$	68	1,69	0,09	$p < 0,001$	$p = 0,589$
Grupo 5: G1H1M1 (Mad=2, F1)	73	1,79	0,11	$p < 0,001$		58	1,57	0,09	$p < 0,001$	
Grupo 6: G1H1M1 (Mad=2, F2)	100	1,88	0,09	$p < 0,001$	$p = 0,330$	58	1,84	0,11	$p < 0,001$	$p = 0,092$
Grupo 7: G2H2M2 (Mad=1, F1)	209	2,67	0,07	$p < 0,001$		145	2,61	0,09	$p < 0,001$	
Grupo 8: G2H2M2 (Mad=1, F2)	174	2,51	0,07	$p < 0,001$	$p = 0,109$	145	2,54	0,07	$p < 0,001$	$p = 0,462$
Grupo 9: G2H2M2 (Mad=2, F1)	80	2,73	0,12	$p < 0,001$		58	2,69	0,13	$p < 0,001$	
Grupo 10: G2H2M2 (Mad=2, F2)	97	2,70	0,09	$p < 0,001$	$p = 0,984$	58	2,74	0,10	$p < 0,001$	$p = 0,690$

Fonte: Tuijo Rodrigues

## 4.6. Quantidade e qualidade de sono (dados objetivos de actigrafia):

### 4.6.1. Variabilidade interpessoal

Analogamente ao que foi constatado na seção anterior para os escores na escala Samn-Perelli, variações significativas entre indivíduos podem ser relevantes na aferição de níveis médios de quantidade e qualidade do sono. Aspectos como tamanho reduzido da amostra, idade, hábitos de vida, prática de exercícios físicos e estratégias distintas de sono nas rotinas de trabalho têm grande potencialidade para gerar dispersões consideráveis nos resultados. Tal variabilidade, especificamente para a quantidade de sono nas 32 horas que antecederam as apresentações para o trabalho, é apresentada no Gráfico 17. Os resultados incluem 459 dados de 14 participantes nos cinco meses de coleta, demonstrando um efeito relevante de grupo em teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ( $H = 257,066$ ;  $ngl = 13$  e  $p < 0,001$ ).

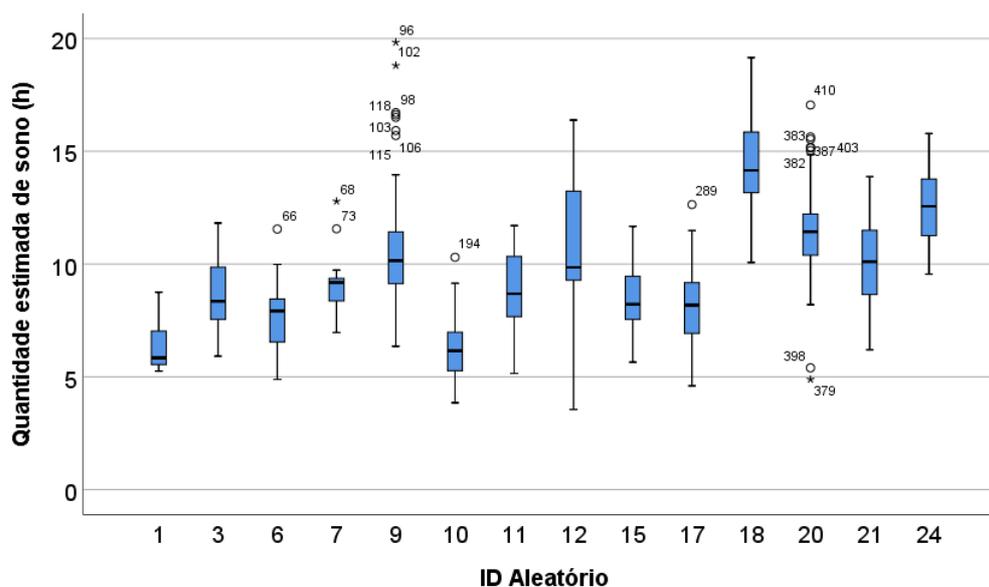


Gráfico 17: Quantidade estimada de sono nas 32 horas que antecederam as apresentações para os voos.

#### 4.6.2. Voos do tipo G1, H11&H12 e M1:

As quantidades de sono estimadas nos períodos de 32 horas que antecederam os horários de apresentação para os voos do tipo G1, H11&H12 e M1 de primeira madrugada são apresentadas no Gráfico 18. O resultado do teste de Kruskal-Wallis não indica efeito de grupo relevante entre esses voos ( $H = 0,332$ ;  $n_{gl} = 2$  e  $p = 0,847$ ).

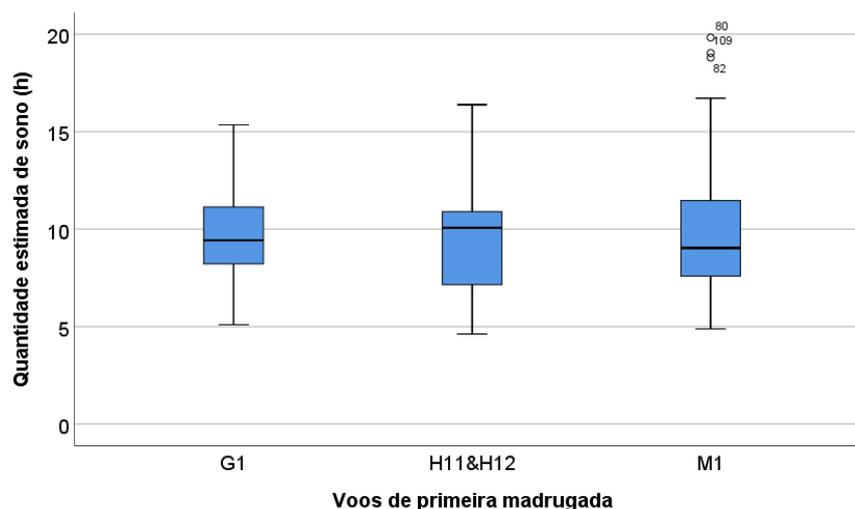


Gráfico 18: Quantidades estimadas de sono nas 32 horas que antecederam os horários de apresentação para os voos G1, H11&H12 e M1 de primeira madrugada.

O Gráfico 19 apresenta os resultados para os voos de segunda madrugada do tipo G1, H11&H12 e M1, onde constata-se um efeito de grupo relevante em teste do tipo ANOVA de fator único ( $F_{2,90} = 6,726$  e  $p = 0,002$ ). Analisando-se os voos dois a dois, foi constatado efeito de grupo relevante entre G1 e H11&H12 ( $F_{1,60} = 7,046$  e  $p = 0,010$ ) e entre G1 e M1 ( $F_{1,62} = 14,154$  e  $p < 0,001$ ), porém não houve efeito de grupo significativo entre H11&H12 e M1 ( $F_{1,58} = 0,679$  e  $p = 0,413$ ). Tais resultados comprovam que a quantidade de sono para os voos do tipo G1 de segunda madrugada é quantitativamente inferior àquelas observadas para os voos H11&H12 e M1. Esse fato é consistente com uma maior oportunidade de sono para os voos H11&H12 e M1 de segunda madrugada, uma vez que tais programações são precedidas pelas programações H21&H22 e M2 de primeira madrugada, respectivamente, enquanto que a programação G1 de segunda madrugada é precedida pela programação G21&G22. Como a decolagem da programação G21 ocorre de 02h00 a 02h40 antes das decolagens das programações H21 e M2, não há a mesma oportunidade para sono na sala

de descanso em GRU, gerando essa diferença nos voos do tipo G1 na madrugada subsequente. De fato, há a previsão de apenas duas tripulações no descanso na sala em GRU, uma vez que a tripulação escalada para o Voo G21 não dispõe de tempo hábil para usar a sala.

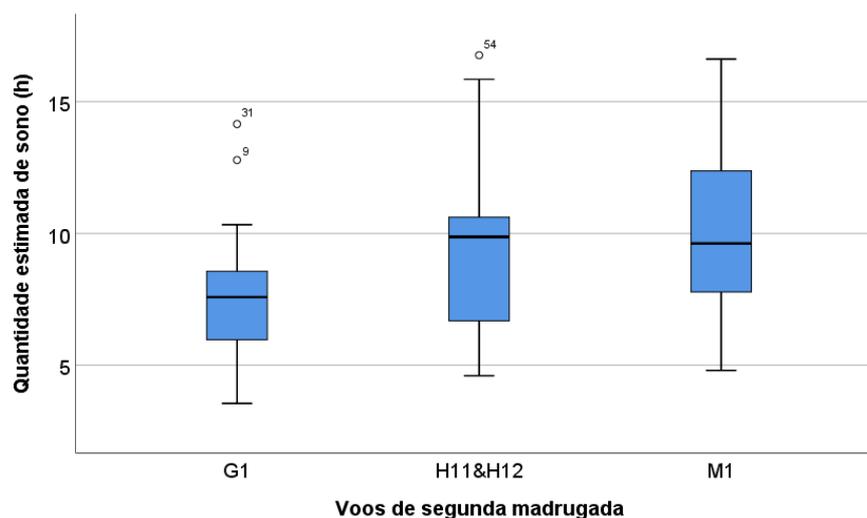


Gráfico 19: Quantidades estimadas de sono nas 32 horas que antecederam os horários de apresentação para os voos G1, H11&H12 e M1 de segunda madrugada.

Para os voos de terceira madrugada, especificamente, foram validados 16 dados de actigrafia compreendendo os voos do tipo G1, H11&H12 e M1 efetuados na fase 2 da pesquisa. O tamanho reduzido da amostra, aliado às questões de variabilidade interpessoal, requer que seja feita uma análise consolidada para os três voos. Com isso, optou-se por aglutinar todos os voos do tipo G1, H11&H12 e M1 de primeira, segunda e terceira madrugada em três grupos distintos. Os resultados são apresentados no Gráfico 20, e demonstram que não houve um efeito de grupo significativo em teste paramétrico do tipo ANOVA de fator único ( $F_{2,222} = 1,594$  e  $p = 0,205$ ). Tal resultado reforça o entendimento de que **não há uma variação relevante nas quantidades de sono nas últimas 32 horas para os voos consolidados entre si do tipo G1, H11&H12 e M1, subdivididos em voos de primeira, segunda e terceira madrugada**. Uma nova estimativa para as quantidades de sono nos voos G1, H11&H12 e M1 de terceira madrugada (separadas para cada tipo de voo) será apresentada no decorrer do relatório.

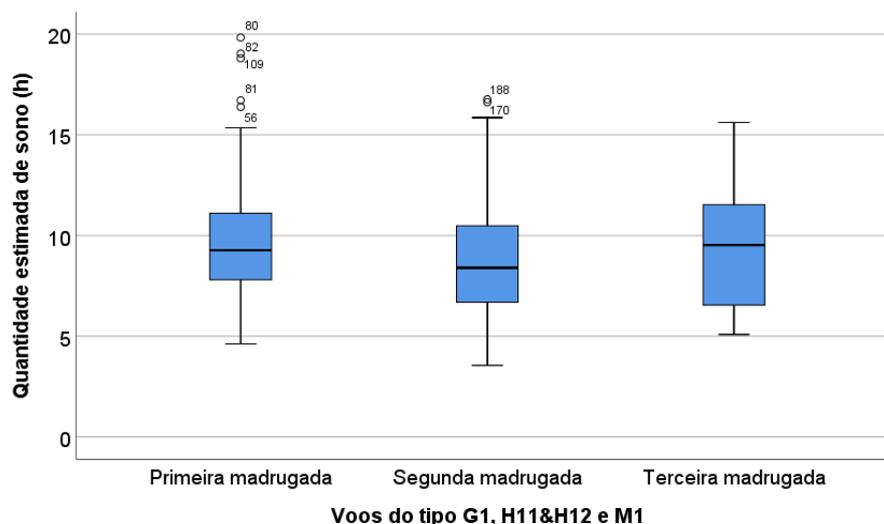


Gráfico 20: Quantidades estimadas de sono nos voos do tipo G1, H11&H12 e M1 de primeira, segunda e terceira madrugada.

#### 4.6.3. Voos do tipo G21&G22, H21&H22 e M2:

O Gráfico 21 apresenta as quantidades estimadas de sono nas 32 horas que antecederam os horários de apresentação para os voos do tipo G21&G22, H21&H22 e M2 de primeira madrugada. Conforme esperado, foi observado efeito de grupo relevante em teste ANOVA de fator único ( $F_{2,149} = 7,296$  e  $p < 0,001$ ), comparando-se a média obtida para G21&G22 ( $8,8 \pm 0,3h$ ) com as médias de H21&H22 ( $10,3 \pm 0,5h$ ) e M2 ( $10,8 \pm 0,4h$ ). Numa comparação dois a dois verifica-se efeito de grupo relevante entre G21&G22 e H21&H22 ( $F_{1,97} = 7,526$  e  $p = 0,007$ ) e G21&G22 e M2 ( $F_{1,107} = 14,860$  e  $p < 0,001$ ). Por outro lado, não houve diferença relevante entre H21&H22 e M2 ( $F_{1,94} = 0,550$  e  $p = 0,460$ ). Consolidando os resultados de H21&H22 e M2 obtém-se um valor médio de  $10,5 \pm 0,3h$  de sono, cuja diferença em relação ao voo G21&G22 fica em  $1,8 \pm 0,4$  h. **Ou seja, a diferença de 02h00 a 02h40 entre os horários de apresentação possibilita uma diferença de sono da ordem de 01h50.**

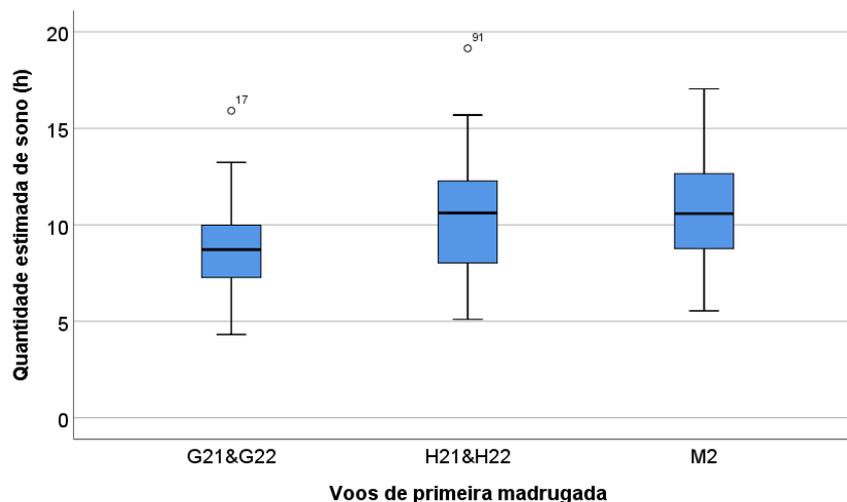


Gráfico 21: Quantidades estimadas de sono nas 32 horas que antecederam os horários de apresentação para os voos G21&G22, H21&H22 e M2 de primeira madrugada.

Os resultados para os voos G21&G22, H21&H22 e M2 de segunda madrugada são apresentados no Gráfico 22, onde não foi observado efeito de grupo relevante em teste ANOVA de fator único ( $F_{2,79} = 0,289$  e  $p = 0,750$ ).

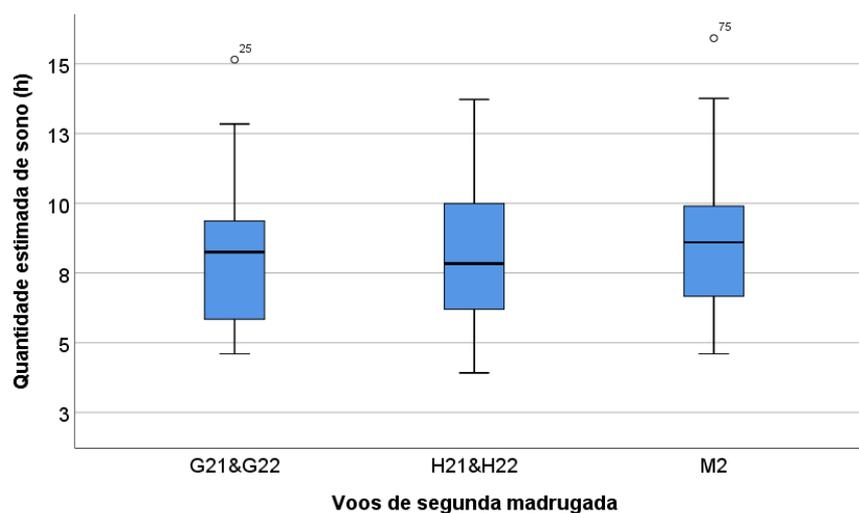


Gráfico 22: Quantidade estimada de sono nas 32 horas que antecederam os horários de apresentação para os voos G21&G22, H21&H22 e M2 de segunda madrugada.

O Gráfico 23 apresenta uma comparação dos resultados consolidados para os voos G21&G22, H21&H22 e M2 de primeira e segunda madrugada. Para esses grupos foi observado efeito relevante em teste ANOVA de fator único:  $F_{1,232} = 15,696$  e  $p < 0,001$ .

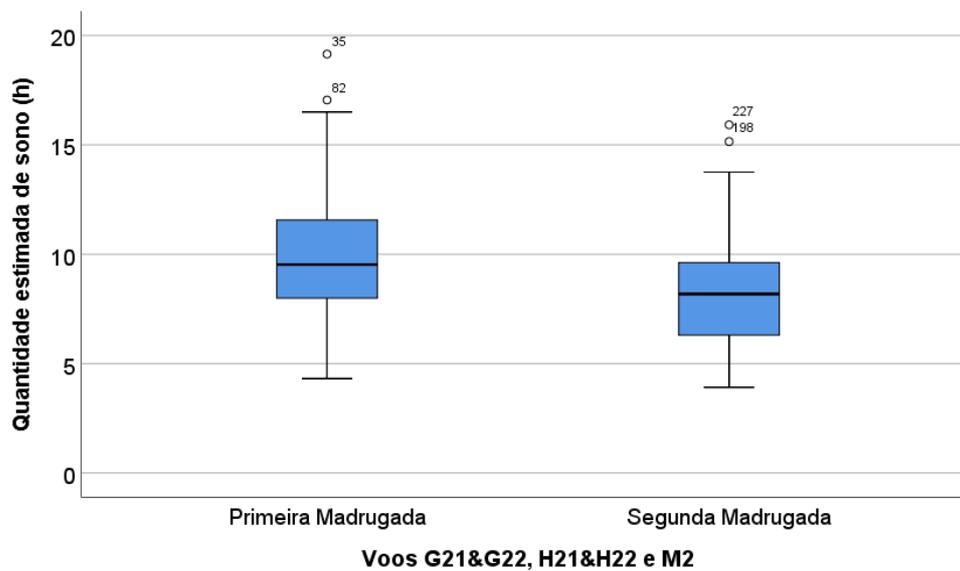


Gráfico 23: Quantidades estimadas de sono para os voos G21&G22, H21&H22 e M2 de primeira e segunda madrugada.

#### 4.6.4. Consolidando as estimativas para a quantidade de sono para todos os voos.

A Tabela 10 apresenta os resultados consolidados para as quantidades de sono nas 32 horas que antecederam as apresentações para todos os voos analisados ( $N = 459$ ). Comparando-se os grupos formados pelos voos G1+H11&H12+M1 de primeira, segunda e terceira madrugada e G21&G22+H21&H22+M2 de primeira e segunda madrugada, verifica-se um efeito relevante de grupo em teste ANOVA de fator único ( $F_{4,454} = 4,476$  e  $p = 0,001$ ). Por outro lado, não há efeito relevante ao retirar o grupo G21&G22+H21&H22+M2 de segunda madrugada da análise ( $F_{3,373} = 2,154$  e  $p = 0,093$ ), evidenciando que esses últimos possuem uma média de horas de sono significativamente menor do que os demais.

Conforme já apontado pela SOS, os voos de segunda madrugada do tipo G21&G22, H21H22 e M2 merecem uma atenção especial, uma vez que transcorrem integralmente durante a baixa do ciclo circadiano. A diferença em horas de sono entre as segunda e primeiras madrugadas para essas programações é de  $1,5 \pm 0,4$  h, ou seja, cerca de 01h30 com uma incerteza da ordem de 25 minutos.

Quanto aos voos de terceira madrugada não foram observados efeitos relevantes de grupo quando comparados com os voos de segunda e primeira madrugada, **de maneira que não existem evidências de um aumento de risco para essas extrapolações**. Por outro lado, verifica-se a **grande relevância nas mitigações nas operações de segunda madrugada** nas horas mais críticas para o alerta e a sonolência dos indivíduos (malhas G21&G22, H21&H22 e M2).

Tabela 10: Quantidades estimadas de horas de sono para todos os voos analisados.

Grupos	N	Média (h)	Erro Padrão (h)	Teste de normalidade K-S	Teste Estatístico
G1(Mad=1)	46	9,6	0,3	$p > 0,200$	
H11&H12 (Mad=1)	21	9,4	0,7	$p > 0,200$	
M1 (Mad=1)	49	9,9	0,5	$p = 0,005$	$p = 0,847$ [1]
G1(Mad=2)	33	7,5	0,4	$p > 0,200$	
H11&H12 (Mad=2)	29	9,4	0,6	$p > 0,200$	
M1 (Mad=2)	31	10,0	0,6	$p > 0,200$	$p = 0,002$ [2]
G1(Mad=2)	33	7,5	0,4	$p > 0,200$	
H11&H12 (Mad=2)	29	9,4	0,6	$p > 0,200$	$p = 0,010$ [2]
G1(Mad=2)	33	7,5	0,4	$p > 0,200$	
M1 (Mad=2)	31	10,0	0,6	$p > 0,200$	$p < 0,001$ [2]
H11&H12 (Mad=2)	29	9,4	0,6	$p > 0,200$	
M1 (Mad=2)	31	10,0	0,6	$p > 0,200$	$p = 0,413$ [2]
G1H1M1 (Mad=1)	116	9,68	0,28	$p = 0,052$	
G1H1M1 (Mad=2)	93	8,9	0,3	$p = 0,097$	
G1H1M1 (Mad=3)	16	9,3	0,8	$p > 0,200$	$p = 0,205$ [2]
G21&G22(Mad=1)	56	8,8	0,3	$p > 0,200$	
H21&H22(Mad=1)	43	10,3	0,5	$p > 0,200$	
M2 (Mad=1)	53	10,8	0,4	$p > 0,200$	$p < 0,001$ [2]
G21&G22(Mad=1)	56	8,8	0,3	$p > 0,200$	
H21&H22(Mad=1)	43	10,3	0,5	$p > 0,200$	$p = 0,007$ [2]
G21&G22(Mad=1)	56	8,8	0,3	$p > 0,200$	
M2 (Mad=1)	53	10,8	0,4	$p > 0,200$	$p < 0,001$ [2]
H21&H22(Mad=1)	43	10,3	0,5	$p > 0,200$	
M2 (Mad=1)	53	10,8	0,4	$p > 0,200$	$p = 0,460$ [2]
G21&G22 (Mad=2)	26	8,2	0,5	$p > 0,200$	
H21&H22 (Mad=2)	21	8,2	0,6	$p = 0,095$	
M2 (Mad=2)	35	8,6	0,4	$p > 0,200$	$p = 0,750$ [2]
G2H2M2 (Mad=1)	152	9,90	0,24	$p = 0,096$	
G2H2M2 (Mad=2)	82	8,39	0,28	$p > 0,200$	$p < 0,001$ [2]
G1H1M1 (Mad=1)	116	9,68	0,28	$p = 0,052$	
G1H1M1 (Mad=2)	93	8,9	0,3	$p = 0,097$	
G1H1M1 (Mad=3)	16	9,3	0,8	$p > 0,200$	
G2H2M2 (Mad=1)	152	9,90	0,24	$p = 0,096$	
G2H2M2 (Mad=2)	82	8,39	0,28	$p > 0,200$	$p = 0,001$ [2]
G1H1M1 (Mad=1)	116	9,68	0,28	$p = 0,052$	
G1H1M1 (Mad=2)	93	8,9	0,3	$p = 0,097$	
G1H1M1 (Mad=3)	16	9,3	0,8	$p > 0,200$	
G2H2M2 (Mad=1)	152	9,90	0,24	$p = 0,096$	
G2H2M2 (Mad=2)	82	8,39	0,28	$p > 0,200$	$p = 0,093$ [2]

[1] - Kruskal-Wallis; [2] - ANOVA

Fonte: Tulio Rodrigues

#### 4.6.5. Comparando-se as quantidades e qualidades de sono entre as fases 1 e 2:

Para analisar de forma consistente eventuais variações nas quantidades estimadas de sono entre as fases 1 e 2 faz-se necessário minimizar os efeitos da variabilidade interpessoal apresentada no Gráfico 17. Os seres humanos têm necessidades diferentes e estratégias diferentes para lidar com o trabalho em turno e gerenciar suas oportunidades de sono. Adicionalmente a essa variabilidade natural dos indivíduos, alguns outros efeitos devem ser considerados nas análises: (1) engajamento assimétrico de um mesmo tripulante entre as fases 1 e 2, (2) escalas de voo com eventuais assimetrias nas distribuições dos voos e, (3) incidência de eventos Off-Wrist (OW) durante a coleta de dados, porém principalmente durante a fase 2 da pesquisa. Sobre esse último item em específico, foi observado que diversos participantes retiraram o actígrafo com maior frequência na fase 2. Esse fato pode estar relacionado à uma queda natural no engajamento, em virtude do período prolongado de coleta. Por essas razões, foi adotado para a avaliação das quantidades de sono entre as fases 1 e 2, um procedimento análogo ao que foi relatado na seção 4.5.5. Os grupos escolhidos para a análise foram:

- Grupo 1: todos os voos realizados na fase 1 (quantidade de sono);
- Grupo 2: todos os voos realizados na fase 2, incluindo os voos de terceira madrugada (quantidade de sono);
- Grupo 3: todos os voos realizados na fase 1 (qualidade de sono);
- Grupo 4: todos os voos realizados na fase 2, incluindo os voos de terceira madrugada (qualidade de sono);
- Grupo 5: todos os voos do tipo G1H1M1 de primeira madrugada realizados na fase 1;
- Grupo 6: todos os voos do tipo G1H1M1 de primeira madrugada realizados na fase 2;
- Grupo 7: todos os voos do tipo G1H1M1 de segunda madrugada realizados na fase 1;
- Grupo 8: todos os voos do tipo G1H1M1 de segunda madrugada realizados na fase 2;
- Grupo 9: todos os voos do tipo G2H2M2 de primeira madrugada realizados na fase 1;
- Grupo 10: todos os voos do tipo G2H2M2 de primeira madrugada realizados na fase 2;
- Grupo 11: todos os voos do tipo G2H2M2 de segunda madrugada realizados na fase 1;
- Grupo 12: todos os voos do tipo G2H2M2 de segunda madrugada realizados na fase 2;

Os resultados, considerando todos os dados disponíveis ( $N = 459$ ) e considerando um ajuste da quantidade de dados de um mesmo participante nas fases 1 e 2 “Ajuste  $N_1 \& N_2$ ” (ver seção 4.5.5) são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Quantidade e qualidade do sono entre as fases 1 e 2 da pesquisa

Grupos	Todos os dados				Ajuste $N_1$ & $N_2$			
	N	Média	Erro Padrão	Teste de normalidade K-S	N	Média	Erro Padrão	Teste de normalidade K-S
Grupo 1: todos (quantidade de sono, F1)	257	9,11 h	0,17 h	$p = 0,046$	168	9,25 h	0,21 h	$p > 0,200$
Grupo 2: todos (quantidade de sono, F2)	202	9,67 h	0,22 h	$p = 0,030$	168	9,62 h	0,26 h	$p = 0,010$
Grupo 3: todos (qualidade de sono, F1)	257	81,90%	0,50%	$p = 0,033$	168	81,70%	0,60%	$p > 0,200$
Grupo 4: todos (qualidade de sono, F2)	202	81,80%	0,50%	$p = 0,003$	168	81,20%	0,50%	$p = 0,019$
Grupo 5: G1H1M1 (Mad=1, F1)	78	9,2 h	0,3 h	$p > 0,200$	35	9,4 h	0,5 h	$p > 0,200$
Grupo 6: G1H1M1 (Mad=1, F2)	38	10,7 h	0,6 h	$p = 0,025$	35	10,6 h	0,6 h	$p = 0,035$
Grupo 7: G1H1M1 (Mad=2, F1)	50	8,9 h	0,4 h	$p = 0,099$	29	9,3 h	0,6 h	$p > 0,200$
Grupo 8: G1H1M1 (Mad=2, F2)	43	9,0 h	0,5 h	$p > 0,200$	29	8,8 h	0,6 h	$p = 0,169$
Grupo 9: G2H2M2 (Mad=1, F1)	89	9,55 h	0,29 h	$p > 0,200$	53	9,3 h	0,4 h	$p > 0,200$
Grupo 10: G2H2M2 (Mad=1, F2)	63	10,4 h	0,4 h	$p > 0,200$	53	10,1 h	0,4 h	$p > 0,200$
Grupo 11: G2H2M2 (Mad=2, F1)	40	8,3 h	0,4 h	$p > 0,200$	28	8,5 h	0,5 h	$p > 0,200$
Grupo 12: G2H2M2 (Mad=2, F2)	42	8,4 h	0,4 h	$p > 0,200$	28	8,6 h	0,5 h	$p > 0,200$

[1] - Mann-Whitney, [2] - ANOVA

Fonte: Tullio Rodrigues

#### 4.7. Caracterização das quantidades de sono para todos os voos da empresa e averiguação dos efeitos das mitigações propostas na confecção das escalas:

Na Tabela 10 foram apresentados todos os resultados de sono ( $N = 459$ ) para todas as operações da empresa, com o resultado médio esperado para os voos G1, H11&H12 e M1 de terceira madrugada, consolidados entre si. Nessa seção, serão apresentadas estimativas para os voos de terceira madrugada individualizados para as chaves G1, H11&H12 e M1, assim como análises comparativas que quantifiquem os efeitos das mitigações propostas levando-se em conta um cenário 100% aderente aos requisitos legais (Lei 13.475/17 e RBAC-117) e outro cenário de flexibilizações nas terceiras madrugadas, com mitigações gerenciais nas escalas de trabalho nas segundas madrugadas.

Para que possamos estimar as quantidades de sono nas 32 horas que antecederam as apresentações para os voos G1, H11&H12 e M1 de terceira madrugada, separadamente, iremos partir da premissa de que as razões entre as quantidades de sono  $S_{G1}:S_{H1}:S_{M1}$  para os voos de terceira madrugada são aproximadamente iguais às razões obtidas para os voos de segunda madrugada, ou seja  $S_{G1}:S_{H1}:S_{M1}(\text{Mad}=3) \approx S_{G1}:S_{H1}:S_{M1}(\text{Mad}=2)$ , sendo a notação H11&H12 abreviada para H1 para fins de maior concisão, e  $S$  as referidas quantidades de sono para cada chave.

Logo, considerando essa aproximação, as quantidades médias de sono para os voos G1, H11&H12 e M1 de terceira madrugada serão proporcionais aos resultados obtidos em segunda madrugada para cada chave de voo, ou seja:

$$S_{G1}^{(3)} = kS_{G1}^{(2)}, S_{H1}^{(3)} = kS_{H1}^{(2)} \text{ e } S_{M1}^{(3)} = kS_{M1}^{(2)},$$

sendo  $k$  uma constante multiplicativa. Adicionalmente às três equações acima, também é sabido o valor médio para as três chaves de voo de terceira madrugada, denominado para fins de clareza de  $S_{G1H1M1} = 9,3 \pm 0,8$  h (ver Tabela 10). Com isso, pode-se escrever a seguinte equação:

$$\frac{S_{G1}^{(3)} + S_{H1}^{(3)} + S_{M1}^{(3)}}{3} = \frac{k}{3} (S_{G1}^{(2)} + S_{H1}^{(2)} + S_{M1}^{(2)}) = S_{G1H1M1}.$$

Ou seja, existem quatro dados experimentais  $S_{G1}^{(2)}, S_{H1}^{(2)}, S_{M1}^{(2)}$  e  $S_{G1H1M1}$  e um parâmetro desconhecido  $k$ . Para fins de uma melhor clareza, vamos chamar os 4 dados de  $y_1 = 7,5 \pm 0,4$  h,  $y_2 = 9,4 \pm 0,6$  h,  $y_3 = 10,0 \pm 0,6$  h e  $y_4 = 9,3 \pm 0,8$  (ver Tabela 10).

Logo, para solucionar esse problema pode-se utilizar o Método dos Mínimos Quadrados, ajustando o valor de  $k$  de maneira a minimizar o  $\chi^2$ . Escrevendo em formato matricial, fica:

$$Xk = Y,$$

onde:

$$X = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \frac{y_1+y_2+y_3}{3} \end{pmatrix} \text{ e } Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{pmatrix}.$$

A matriz de variâncias é diagonal, uma vez que não existem covariâncias entre  $y_1, y_2, y_3$  e  $y_4$ , ou seja:  $V_{0,0} = \sigma_{y1}^2$ ,  $V_{1,1} = \sigma_{y2}^2$ ,  $V_{2,2} = \sigma_{y3}^2$ ,  $V_{3,3} = \sigma_{y4}^2$  e  $V_{ij} = 0$  para  $i \neq j$ , sendo  $\sigma_{y1}$ ,  $\sigma_{y2}$ ,  $\sigma_{y3}$  e  $\sigma_{y4}$  as respectivas incertezas dos dados  $y_1, y_2, y_3$  e  $y_4$ . Como resultado do ajuste no Método dos Mínimos Quadrados obtém-se  $k = 1,004 \pm 0,031$  com  $\chi^2 = 0,140$ ;  $n_{gl} = 4$  e  $p = 0,987$ .

Logo, propagando-se as incertezas, as respectivas quantidades de sono para os voos de terceira madrugada ficam:

$$S_{G1}^{(3)} = 7,5 \pm 0,5 \text{ h}; S_{H1}^{(3)} = 9,4 \pm 0,7 \text{ h} \text{ e } S_{M1}^{(3)} = 10,1 \pm 0,6 \text{ h}.$$

A Tabela 12 apresenta todos os dados consolidados e respectivas incertezas.

Tabela 12: Quantidade estimada de sono nas 32 horas que antecederam as apresentações para os voos.

Voo	Quantidade de sono e respectivas incertezas (h)		
	Primeira madrugada	Segunda madrugada	Terceira madrugada
G1	9,6 ± 0,3	7,5 ± 0,4	7,5 ± 0,5
H11&H12	9,4 ± 0,7	9,4 ± 0,6	9,4 ± 0,7
M1	9,9 ± 0,5	10,0 ± 0,6	10,1 ± 0,6
G21&G22	8,8 ± 0,3	8,2 ± 0,5	
H21&H22	10,3 ± 0,5	8,2 ± 0,6	N/A
M2	10,8 ± 0,4	8,6 ± 0,4	

Fonte: Tulio Rodrigues

A ligeira variação observada para os voos M1 ao comparar as segundas (10,0 h) e as terceiras madrugadas (10,1 h) deve-se ao arredondamento dos resultados, considerando-se um algarismo significativo para as incertezas com os algarismos maiores ou iguais a 3 no primeiro algarismo significativo e dois algarismos significativos para incertezas com algarismos 1 e 2 no primeiro algarismo significativo.

Por fim, para se avaliar quais são os efeitos das mitigações propostas na confecção das escalas de voo, é preciso calcular as quantidades médias de sono, combinando-se os dados dos três tripulantes de cada chave, para a composição da média da tripulação, assim como os resultados dos dois pilotos, para a avaliação da média entre os pilotos. Cumpre salientar que tal procedimento não faz distinção entre as funções para computar os valores médios de sono obtidos nas coletas efetuadas.

Os resultados das médias considerando os três tripulantes são apresentados na tabela 13, cuja primeira coluna se refere aos voos G21&G22, H21&H22 e M2 realizados com todos os tripulantes numa configuração de segunda madrugada, enquanto que a coluna 2 representa os resultados consolidados considerando: (i) 2/3 dos tripulantes na configuração de primeira madrugada (advindos de uma folga ou noite local) e um terço na configuração de segunda para os voos G21&G22 e (ii) 1/3 dos tripulantes (um piloto) na configuração de primeira madrugada e 2/3 na configuração de segunda para os voos H21&H22 e M2.

Tabela 13: Comparação entre as quantidades médias de sono por tripulante considerando ou não a mitigação para cada chave de voo.

Voos	Quantidade de horas de sono (h)					
	Segunda madrugada para todos os tripulantes		Primeiras e segundas madrugadas (mitigações)		Diferença	
	Média	Incerteza	Média	Incerteza	Média	Incerteza
G21&G22	8,19	0,50	8,59	0,27	0,40	0,57
H21&H22	8,22	0,55	8,91	0,40	0,69	0,68
M2	8,64	0,44	9,34	0,32	0,71	0,55
Média geral	8,35	0,29	8,95	0,19	0,60	0,35

Fonte: Tulio Rodrigues

A Tabela 14 apresenta os resultados dos valores médios entre os dois pilotos, cujo cenário de mitigação requer um dos pilotos advindo de uma noite local ou folga para assumir as chaves G21&G22, H21&H22 e M2.

Tabela 14: Comparação entre as médias das quantidades de sono por piloto considerando ou não as mitigações para cada chave de voo.

Voos	Quantidade de horas de sono (h)				Diferença	
	Segunda madrugada para ambos os pilotos		Segunda madrugada para um dos pilotos			
	Média	Incerteza	Média	Incerteza	Média	Incerteza
G2	8,19	0,50	8,49	0,29	0,30	0,58
H2	8,22	0,55	9,25	0,36	1,04	0,66
M2	8,64	0,44	9,70	0,30	1,06	0,53
Média geral	8,35	0,29	9,15	0,19	0,80	0,34

Fonte: Tulio Rodrigues

A média geral para a condição onde todos os tripulantes estão em segunda madrugada ( $8,35 \pm 0,29$  h) nas Tabelas 13 e 14 difere ligeiramente do resultado consolidado para todos os voos G2H2M2 ( $8,39 \pm 0,28$  h), uma vez que este último reflete uma média ponderada entre as respectivas chaves de voo nos 82 dados de coleta. Como as proporções de cada voo não foram exatamente 1/3, com G21&G22, H21&H22 e M2 representando, respectivamente, 31,7% ( $N = 26$ ), 25,6% ( $N = 21$ ) e 42,7% ( $N = 35$ ) do total, a média ponderada não coincide com a média aritmética apresentada nas Tabelas 13 e 14. Ou seja, para um conjunto maior de observações a média ponderada irá convergir para a média aritmética, uma vez que a malha possui a mesma quantidade para cada tipo de chave de voo. Logo, os resultados consolidados na Tabela 13 e 14 têm uma maior acurácia para os valores esperados nas quantidades de sono em cada configuração, assumindo que não há diferença entre as funções exercidas a bordo.

O Gráfico 24 demonstra as diferenças nas quantidades de sono, considerando a média entre três tripulantes (painel inferior) e a média entre dois pilotos (painel superior).

As incertezas das diferenças foram obtidas usando técnicas convencionais de propagação de erros e demonstram uma magnitude considerável (incerteza da ordem de 58% para a diferença na média entre os tripulantes e 43% entre os pilotos). **Para o caso dos tripulantes foi possível determinar uma diferença da ordem de 35 minutos (0,6 h) na**

quantidade média de sono, sendo que para os pilotos a diferença ficou ao redor de 50 min (0,8h).

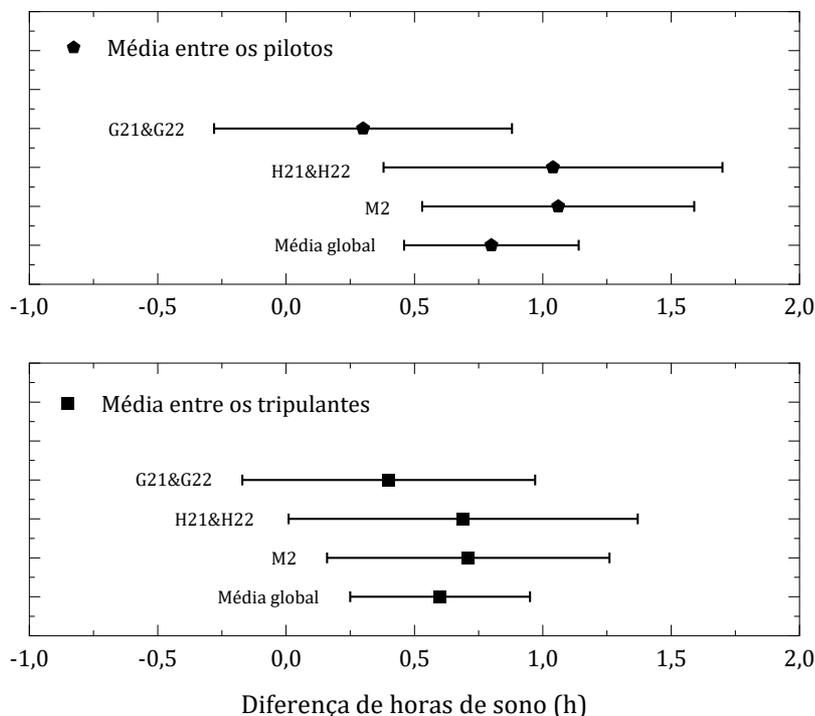


Gráfico 24: Diferença de horas de sono para os voos G21&G22, H21&H22 e M2 em decorrência das mitigações propostas.

Para fins de uma comparação entre os resultados apresentados na Tabela 14, a SOS também implementou algoritmo para segregar os dados de actigrafia de **ambos os pilotos para um mesmo voo** do tipo G21&G22, H21&H22 e M2, subdividindo essa informação em dois grupos: um conjunto de dados onde ambos os pilotos estavam em segunda madrugada e outro conjunto em que apenas um piloto estava em segunda madrugada. A quantidade média de sono nos voos em que ambos os pilotos estavam na segunda madrugada ( $N = 10$ , média =  $8,2 \pm 0,8$  h) ficou significativamente abaixo daquela onde apenas um dos pilotos estava em segunda madrugada ( $N = 22$ , média =  $9,5 \pm 0,8$  h), porém não houve efeito de grupo relevante ( $F_{1,30} = 0,963$  e  $p = 0,334$ ), provavelmente em decorrência do tamanho reduzido da amostra (total de 32 dados oriundos de 16 voos).

Outro método para avaliar eventuais diferenças entre as médias de horas de sono comparando-se dois tripulantes em segunda madrugada com um tripulante em primeira e outro em segunda madrugada pode ser implementado considerando os dados para primeira ( $N_1 = 152$ ) e segunda madrugada ( $N_2 = 82$ ) nos voos G21&G22, H21H22 e M2.

O procedimento pode ser realizado fazendo-se um sorteio aleatório de 82 dados no grupo de primeira madrugada ( $N_1 = 152$ ), de maneira que esse grupo fique com  $N'_1 = 82$ . Posteriormente agregam-se todos os dados sobreviventes desse grupo ao grupo de segunda madrugada ( $N = 82$ ), a fim de se obter um grupo que represente a média entre uma e duas madrugadas ( $N_{12} = 162$ ). Por fim, faz-se um novo sorteio aleatório de 82 dados entre os 162 desse novo grupo, formando um grupo com  $N'_{12} = 82$  dados que representa uma média entre os grupos de primeira e segunda madrugada. Como tanto o grupo  $N_2$  (média =  $8,39 \pm 0,28$  h) como o grupo  $N'_{12}$  (média =  $9,12 \pm 0,30$  h) apresentaram comportamento normal em teste Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0,200$  para ambos os casos), foi possível realizar um teste T para amostras pareadas, resultando em  $t = 1,803$ ,  $ngl = 81$  e  $p = 0,075$ . Novamente, não foi possível observar um efeito de grupo relevante, provavelmente em decorrência do tamanho reduzido da amostra.

O Gráfico 25 apresenta os resultados obtidos para as condições de ambos os pilotos em segunda madrugada e apenas um em segunda madrugada, considerando os valores consolidados na Tabela 14 (método 1: média aritmética), os valores obtidos por dados simultâneos de actigrafia de ambos os pilotos (método 2) e os valores estimados com o sorteio aleatório descrito acima (assumindo que não há diferença com relação à função a bordo) para comparar os grupos (método 3).

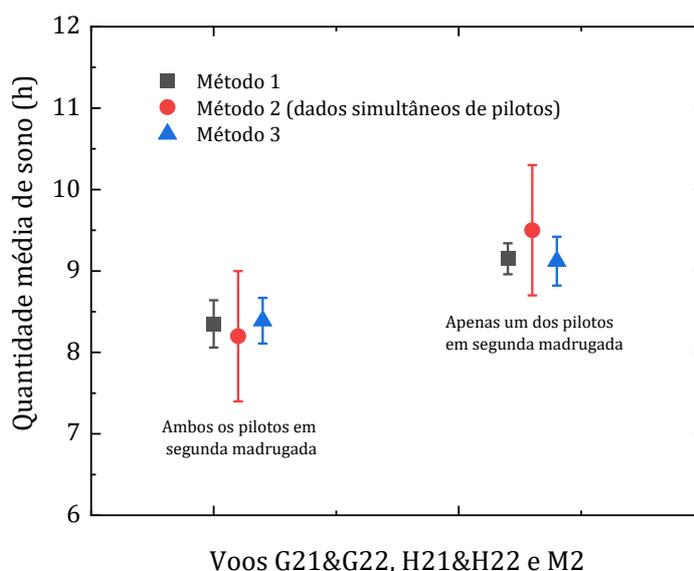


Gráfico 25: Quantidade média de sono para os voos G21&G22, H21&H22 e M2 com ambos ou apenas um dos pilotos em segunda madrugada.

## 5. Discussão dos resultados:

Com relação aos resultados do questionário web ficou evidenciado efeito de grupo relevante comparando-se as qualidades de sono entre nos hotéis de FLN, POA e VIX e na sala de descanso em GRU [teste Kruskal-Wallis (K-W),  $p < 0,001$ ]. Numa análise entre os hotéis também foi verificado efeito de grupo relevante entre os hotéis de POA e VIX [teste Mann-Whitney (M-W),  $p = 0,017$ ], não sendo observado efeito relevante entre FLN-VIX (teste M-W,  $p = 0,262$ ) e FLN-POA (teste M-W,  $p = 0,083$ ). Tais resultados, que já haviam sido identificados em análises preliminares, motivaram iniciativas da empresa para a obtenção de melhorias no hotel em POA.

Ainda com relação ao questionário web, foram identificados os principais pontos desfavoráveis na sala de descanso em GRU (Gráfico 2), cujo processo de melhoria foi iniciado no dia 21.09.2020, com o aprimoramento no isolamento acústico e a implementação de divisórias entre as poltronas. As demais melhorias foram concluídas em 12.11.2020.

Considerando os dados dos diários de sono, foi possível realizar uma análise qualitativa sobre a quantidade e a qualidade de sono em casa, nos hotéis de pernoite e na sala de descanso em GRU (total de 1518 relatos dos participantes que aderiram as fases 1 e 2 concomitantemente).

Conforme esperado, foi observado efeito de grupo relevante comparando-se a qualidade de sono em casa, nos hotéis e na de descanso em GRU nas fases 1 e 2 da pesquisa (teste K-W,  $p < 0,001$ ). Comparando-se os grupos dois a dois não foram observados efeitos relevantes entre as fases 1 e 2 para o sono em casa (teste M-W:  $p = 0,753$ ), nos hotéis (teste M-W:  $p = 0,221$ ) ou sala de descanso em GRU (teste M-W:  $p = 0,082$ ).

Por outro lado, verificou-se um efeito de grupo relevante (teste M-W,  $p < 0,001$ ) na comparação entre a qualidade reportada de sono em casa ( $80,8 \pm 0,6\%$ ) e nos hotéis ( $69,7 \pm 0,9\%$ ), considerando os dados das fases 1 e 2 consolidados. Esse resultado demonstrou que a qualidade de sono nos hotéis é cerca de 86% daquela reportada para o sono em casa, evidenciando fragilidade na premissa de se equiparar essas métricas de forma generalizada.

Com relação à quantidade de sono reportada nos diários, verificou-se um efeito de grupo relevante (teste M-W:  $p = 0,005$ ) comparando-se o sono em casa entre as fases 1 ( $7,44 \pm 0,09$  h) e 2 ( $7,02 \pm 0,14$  h), não tendo sido observado efeito relevante para o sono nos hotéis [ $5,02 \pm 0,15$  h (fase 1) e  $5,04 \pm 0,17$  (fase 2)], assim como na sala de descanso em GRU [ $2,05 \pm 0,10$  h (fase 1) e  $2,39 \pm 0,27$  (fase 2)] em testes Mann-Whitney ( $p = 0,853$  e  $0,350$ , respectivamente).

A redução observada na quantidade relatada de sono em casa comparando-se as fases 1 e 2 é consistente com a significativa variação sazonal observada entre os meses de coleta. Conforme descrito na seção 4.4, importantes indicadores de carga de trabalho, tais como quantidade de horas de voo, folgas e madrugadas, sofreram uma variação muito relevante comprando-se as fases 1 e 2. Como a quantidade de sono em casa está intimamente ligada aos dias de folga ou às programações de primeira madrugada, essa redução observada fica explicada pela queda drástica nas operações da empresa, principalmente nos meses de agosto e setembro.

Especificamente sobre a sazonalidade da carga de trabalho, verificou-se efeito relevante de grupo (Tabela 7) na quantidade de horas de voo ( $16,5 \pm 0,8$  h e  $29,2 \pm 1,0$  h), folgas ( $17,7 \pm 0,4$  e  $13,9 \pm 0,4$ ) e madrugadas ( $5,49 \pm 0,25$  e  $9,0 \pm 0,3$ ) entre as fases 1 e 2, respectivamente.

Os resultados referentes aos escores de fadiga autorreferida na escala Samn-Perelli indicaram uma variabilidade interpessoal significativa (teste K-W:  $p < 0,001$ ). Tal parâmetro qualitativo de performance está relacionado à sensação de fadiga do tripulante no momento da coleta e fornece indicativos relevantes para comparar cenários distintos.

Os voos do tipo G1, H11&H12 e M1 não apresentaram efeito de grupo relevante, tanto para o regime de primeira (teste K-W:  $p = 0,196$ ), quanto para o de segunda madrugada (teste K-W:  $p = 0,123$ ).

A comparação entre os voos do tipo G1, H11&H12 e M1 de segunda madrugada com o grupo consolidado dos voos G1+H11&H12+M1 de terceira madrugada (denominado grupo G1H1M1) também não demonstrou efeito de grupo relevante (teste K-W:  $p = 0,125$ ), evidenciando que os escores na escala Samn-Perelli são estatisticamente consistentes entre as segundas e as terceiras madrugadas para essas chaves de voo (Tabela 8).

Para os voos do tipo G21&G22, H21&H22 e M2 de primeira madrugada não foi observado efeito de grupo relevante (teste K-W:  $p = 0,563$ ). Por outro lado, verifica-se um resultado limítrofe ao comparar essas mesmas chaves de voo no regime de segunda madrugada (teste K-W:  $p = 0,051$ ). Numa análise dois a dois, foi observado efeito de grupo relevante

comparando-se as chaves G21&G22 com H21&H22 (teste M-W:  $p = 0,014$ ), em contraste com as comparações entre G21&G22 e M2 (teste M-W:  $p = 0,923$ ) e H21&H22 e M2 (teste M-W:  $p = 0,098$ ), que não apresentaram efeito de grupo.

Para se avaliar eventuais diferenças nos escores da escala Samn-Perelli entre chaves de voo com determinadas características foi realizado teste estatístico (K-W) considerando 5 grupos de resultados: (1) voos G1H1M1 de primeira madrugada, (2) voos G1H1M1 de segunda madrugada, (3) voos G1H1M1 de terceira madrugada, (4) voos G21&G22+H21&H22+M2 (nomenclatura G2H2M2) de primeira madrugada e (5) voos G2H2M2 de segunda madrugada. Conforme esperado, o resultado do teste apontou efeito de grupo relevante ( $p < 0,001$ ), principalmente porque os voos do tipo G21&G22, H21&H22 e M2 possuem uma criticidade maior em relação à fadiga pelo fato de transcorrerem integralmente no período de baixa do ritmo circadiano.

Na comparação entre os voos G1H1M1 de primeira, segunda e terceira madrugada não foi observado efeito de grupo relevante (teste K-W:  $p = 0,080$ ), assim como na comparação entre os voos G2H2M2 de primeira e segunda madrugada (teste M-W:  $p = 0,145$ ).

Por outro lado, comprando-se o grupo formado pelos voos G2H2M2 de primeira e segunda madrugada com o grupo G1H1M1 de terceira madrugada foi observado efeito relevante (teste M-W:  $p = 0,003$ ). Ou seja, o escore médio na escala Samn-Perelli para o primeiro grupo ( $2,63 \pm 0,04$ ) é significativamente superior (+28%) ao valor médio obtido para o regime de terceira madrugada ( $2,06 \pm 0,17$ ).

Análises robustas foram implementadas para avaliar eventuais diferenças nos escores da escala Samn-Perelli entre as fases 1 e 2 (seção 4.5.5), considerando a totalidade dos dados coletados, assim como um procedimento de sorteio aleatório para balancear as contribuições relativas de cada participante nas respectivas fases de coleta. Os resultados dessa abordagem estão consolidados na Tabela 9, e demonstram que não houve efeito de grupo relevante entre as fases 1 e 2 para todos os conjuntos de voos analisados. Cumpre salientar que os resultados baseados na totalidade dos dados podem apresentar vieses na comparação entre fase 1 e fase 2, uma vez que a participação de cada indivíduo não foi necessariamente equiparável em ambas as fases. Esse potencial viés na comparação pode ocorrer devido aos seguintes fatores: (1) variabilidade individual significativa entre os participantes da pesquisa (Gráfico 11), (2) participações assimétricas dos participantes comparando-se a quantidade de dados coletados nas fases 1 e 2 e (3) assimetrias potenciais nas escalas de trabalho de um dado indivíduo comparando-se as fases 1 e 2.

Adicionalmente aos fatores mencionados, existe também um fator de sazonalidade nas escalas de trabalho que, em primeira aproximação, afeta de maneira uniforme os participantes da pesquisa. Dessa forma, é até certo ponto inesperado que não tenham sido observados efeitos de grupo relevantes entre as fases 1 e 2, corroborando para a hipótese de que os participantes tenham se adaptado de maneira satisfatória ao regime de maior carga de trabalho.

Em relação aos dados objetivos de actigrafia ( $N = 459$ ) também se verifica uma grande variabilidade interpessoal (Gráfico 17) na quantidade de sono nas últimas 32 horas que antecederam os horários de apresentação para o trabalho, com um efeito de grupo relevante entre os resultados de cada um dos 14 participantes (teste K-W:  $p < 0,001$ ).

Essa métrica de 32 horas para avaliação da quantidade de sono foi escolhida em virtude da peculiaridade das operações da empresa. Caso fosse escolhido um parâmetro mais usual de 24 horas, por exemplo, não seria possível captar de forma consistente a quantidade integral de sono nos períodos da tarde do dia anterior ao dia de apresentação para os voos G1, H11&H12 e M1, tampouco outros períodos de sono dois dias antes do dia da apresentação para os voos G21&G22, H21&H22 e M2. Especificamente para estes últimos, caso fosse adotado um período de 24 de antecedência para averiguar a quantidade de sono, haveria um corte entre 01h00 e 03h00 da manhã do período de sono na madrugada anterior ao voo. Com relação aos voos G1, H11&H12 e M1 de primeira madrugada não foi observado efeito de grupo relevante (teste K-W:  $p = 0,847$ ). Por outro lado, essas chaves de voo apresentaram diferenças significativas em regime de segunda madrugada (teste ANOVA:  $p = 0,002$ ), devido à redução na quantidade de sono para o voo G1 de segunda madrugada ( $7,5 \pm 0,4$  h), em comparação com os resultados de H11&H12 ( $9,4 \pm 0,6$  h) e M1 ( $10,0 \pm 0,6$  h), também em segunda madrugada. Tal resultado está consistente com uma maior oportunidade de sono para os voos H11&H12 e M1 de segunda madrugada, visto que estas programações são precedidas pelas chaves H21&H22 e M2 de primeira madrugada, respectivamente. Como a chave G1 de segunda madrugada é precedida pela programação G21&G22, e esta ocorre de 02h00 a 02h40 antes das chaves H21&H22 e M2, não há a mesma oportunidade para sono na sala de descanso em GRU, gerando essa diferença nos voos do tipo G1 na madrugada subsequente. Numa comparação dois a dois nos voos de segunda madrugada foi observado efeito de grupo relevante entre as chaves G1 e H11&H12 (teste ANOVA:  $p = 0,010$ ) e entre G1 e M1 (teste ANOVA:  $p < 0,001$ ), porém não houve efeito relevante entre H11&H12 e M1 (teste ANOVA:  $p = 0,413$ ).

Numa comparação entre as chaves consolidadas G1H1M1 de primeira, segunda e terceira madrugada não foi observado efeito de grupo relevante (teste ANOVA:  $p = 0,205$ ), demonstrando que as quantidades de sono entre os três conjuntos de dados são estatisticamente consistentes.

Foi verificado efeito de grupo relevante (teste ANOVA:  $p < 0,001$ ) comparando-se os voos G21&G22, H21&H22 e M2 de primeira madrugada. Analisando-se os grupos dois a dois constata-se efeito de grupo relevante entre G21&G22 e H21&H22 (teste ANOVA:  $p = 0,007$ ), assim como entre G21&G22 e M2 (teste ANOVA:  $p < 0,001$ ), porém não há efeito de grupo entre H21&H22 e M2 (teste ANOVA:  $p = 0,460$ ). Tal resultado evidencia uma diferença relevante para a média de sono obtida na chave G21&G22 de primeira madrugada ( $8,8 \pm 0,3$  h), em comparação com H21&H22 ( $10,3 \pm 0,5$  h) e M2 ( $10,8 \pm 0,4$  h). Considerando a média consolidada entre H21&H22 e M2 ( $10,5 \pm 0,3$  h), verifica-se uma diferença média de  $1,8 \pm 0,4$  h de sono em relação a chave G21&G22, ou seja, uma diferença na oportunidade de sono entre 02h00 e 02h40 acarreta em um aumento de sono da ordem de 01h50 (1,8 h).

Para os voos G21&G22, H21&H22 e M2 de segunda madrugada não foi observado efeito de grupo relevante (teste ANOVA:  $p = 0,750$ ). Por outro lado, comparando-se as chaves consolidadas G2H2M2 entre primeira (média =  $9,90 \pm 0,24$  h) e segunda (média =  $8,39 \pm 0,28$  h) madrugada verifica-se um efeito de grupo relevante (teste ANOVA:  $p < 0,001$ ).

As chaves consolidadas G1H1M1 (primeira, segunda e terceira madrugada) e G2H2M2 (primeira e segunda madrugada) também apresentam um efeito de grupo relevante (teste ANOVA:  $p = 0,001$ ). No entanto, retirando-se das análises as chaves G2H2M2 de segunda madrugada não se observa efeito relevante de grupo (teste ANOVA:  $p = 0,093$ ), evidenciando que estas últimas têm uma média de sono significativamente maior do que as demais.

Logo, conforme previamente apontado pela SOS, as chaves de voo G21&G22, H21&H22 e M2 de segunda madrugada têm uma média de horas de sono significativamente menor do que os demais grupos analisados, representando, portanto, o ponto de maior relevância para um eventual SGRF na Total Linhas Aéreas.

No intuito de comparar os resultados de actigrafia entre as fases 1 e 2 foi novamente adotado procedimento para sortear aleatoriamente os dados com  $N$  maior de um mesmo tripulante com participações assimétricas entre as fases 1 e 2.

A quantidade total de sono para a condição “Ajuste  $N_1$  &  $N_2$ ” entre as fases 1 e 2 apresenta um aumento qualitativo (de  $9,25 \pm 0,21$  h para  $9,62 \pm 0,26$  h), porém sem efeito relevante de

grupo (teste M-W:  $p = 0,560$ ). Esse resultado demonstra que os efeitos de sazonalidade não tiveram uma repercussão relevante na quantidade total de sono entre os participantes.

A eficiência do sono para a condição “Ajuste $N_1$ & $N_2$ ” entre as fases 1 ( $81,70 \pm 0,60\%$ ) e 2 ( $81,20 \pm 0,50\%$ ) também não apresentou efeito de grupo relevante (teste M-W:  $p = 0,405$ ).

Em resumo, todas as análises efetuadas na condição “Ajuste $N_1$ & $N_2$ ” (Tabela 11) não apresentaram efeito de grupo significativo entre as fases 1 e 2, demonstrando que mesmo em um cenário de maior carga de trabalho na fase 2, não houve degradação relevante para essa variável.

As quantidades médias de sono para as chaves G1H1M1 de primeira madrugada nas fases 1 ( $9,4 \pm 0,5$  h) e 2 ( $10,6 \pm 0,6$  h), assim como os valores obtidos para as chaves G2H2M2 de primeira (fase 1:  $9,3 \pm 0,4$  h e fase 2:  $10,1 \pm 0,4$  h) e segunda (fase 1:  $8,5 \pm 0,5$  h e fase 2:  $8,6 \pm 0,5$  h) madrugada tiveram um aumento qualitativo entre as fases 1 e 2. Já para as chaves G1H1M1 de segunda madrugada ocorreu uma redução também qualitativa entre as fases 1 ( $9,3 \pm 0,6$  h) e 2 ( $8,8 \pm 0,6$  h).

Um ajuste no Método dos Mínimos Quadrados foi utilizado para se estimar as quantidades médias de sono para os voos do tipo G1, H11&H12 e M1, separadamente, levando-se em conta o resultado consolidado das chaves G1H1M1 de terceira madrugada e as proporções relativas  $S_{G1}:S_{H1}:S_{M1}$  obtidas para os resultados em segunda madrugada. Tal procedimento foi implementado tendo em vista que não foi possível obter esses resultados segregados para cada chave diretamente das coletas em terceira madrugada devido ao tamanho reduzido da amostra ( $N = 16$ ).

A caracterização de todos os voos da RPN no tocante à quantidade estimada de sono nas últimas 32 horas que antecederam as apresentações viabilizou a análise do efeito das mitigações de cunho gerencial propostas para a confecção das escalas.

Considerando os três membros da tripulação (Tabela 13), a média aritmética de sono nas programações G21&G22, H21&H22 e M2 calculada no cenário de mitigação foi de  $8,95 \pm 0,19$  h, ou seja,  $0,60 \pm 0,35$  h maior do que a média aritmética sem mitigação na configuração dos três tripulantes em segunda madrugada ( $8,35 \pm 0,29$  h).

Para o caso específico dos pilotos, a média aritmética de sono no cenário de mitigação ficou em  $9,15 \pm 0,19$  h, ou seja,  $0,80 \pm 0,34$  h acima da média aritmética para o caso de ambos os pilotos em segunda madrugada ( $8,35 \pm 0,29$  h).

No tocante aos valores médios de sono para os pilotos no cenário de mitigação outros dois métodos foram também utilizados. O primeiro se baseou nos dados coletados de actigrafia

para ambos os pilotos numa mesma programação de voo. Através dessa análise foi obtido um valor médio de  $9,5 \pm 0,8$  h ( $N = 22$ ) no cenário de mitigação (um piloto em primeira e outro em segunda madrugada) e  $8,2 \pm 0,8$  h ( $N = 10$ ) no cenário de segunda madrugada para ambos os pilotos. Devido ao tamanho reduzido da amostra não foi possível observar efeito de grupo relevante ( $F_{1,30} = 0,963$ ,  $p = 0,334$ ).

Um segundo método para estimar o efeito da mitigação proposta consistiu em consolidar uma amostra que representasse uma média entre os voos de primeira e segunda madrugada do tipo G2H2M2 (média =  $9,12 \pm 0,30$  h) para posteriormente comparar esse grupo com os dados relativos aos voos de segunda madrugada (média =  $8,39 \pm 0,28$  h). Nesse caso, por se tratar de duas amostras relacionadas e com comportamento normal, foi realizado teste T para amostras pareadas, obtendo-se  $t = 1,803$ , com  $n_{gl} = 81$  e  $p = 0,075$ . Novamente, não foi possível observar um efeito de grupo relevante, provavelmente em decorrência do tamanho reduzido das amostras ( $N = 82$ ).

## 6. Limitações do estudo:

O estudo realizado possui algumas limitações relacionadas às análises comparativas entre as fases 1 e 2 da pesquisa. Tais limitações decorrem de potenciais variações entre as fases 1 e 2 nos aspectos de: (1) sazonalidade nas escalas de trabalho, (2) variabilidade individual, (3) engajamento não uniforme de um mesmo tripulante entre as duas fases, (4) estratégias e necessidades de sono distintas entre os tripulantes e, (5) eventuais assimetrias nas escalas de trabalho de um mesmo tripulante entre as fases 1 e 2.

Com isso, há que se ter cautela na interpretação dos resultados comparativos entre as fases 1 e 2 da pesquisa. Cumpre salientar, contudo, que tais limitações não afetam os cálculos dos valores médios e incertezas para as devidas caracterizações dos voos, assim como as análises dos efeitos das mitigações propostas.

## **7. Recomendações de Segurança:**

- 7.1.** Fomentar uma cultura de segurança operacional voltada à prevenção e reforçar junto ao grupo de voo a necessidade de que os tripulantes reportem à Gerência de Safety toda e qualquer circunstância que julguem relevante no tocante ao gerenciamento da fadiga;
- 7.2.** Reiterar ao grupo de voo a garantia no anonimato de todos os reportes;
- 7.3.** Assegurar que todos os reportes relacionados à fadiga sejam anonimizados e levados ao conhecimento do GAGEF nas suas reuniões periódicas;
- 7.4.** Disponibilizar, no mínimo, um tripulante técnico a nível de comando e um mecânico de voo para escala de sobreaviso, a fim de garantir a cobertura da malha e a manutenção das folgas publicadas em escala. As regras para os sobreavisos poderão ser definidas pelo GAGEF;
- 7.5.** Implementar as mitigações nos voos de segunda madrugada do tipo G21&G22, H21&H22 e M2 de maneira que haja a substituição de um dos pilotos para os voos H21&H22 e M2 e de um piloto e do mecânico de voo para os voos G21&G22 durante o trânsito em SBGR;
- 7.6.** O(s) tripulante(s) que forem assumir a programação na condição 7.5 acima deverão ter preferencialmente uma folga ao menos uma noite local antes de serem escalados para o voo;
- 7.7.** Garantir que os voos de terceira madrugada estejam limitados para pouso final previsto em SBGR até 01h30.
- 7.8.** Disponibilizar no mínimo uma folga dupla para os tripulantes que tiverem realizado um voo de segunda madrugada do tipo G21&G22, H21&H22 ou M2, caso as referidas programações de escala se encerrem nessas chaves de voo;
- 7.9.** Disponibilizar no mínimo uma folga dupla para os tripulantes que tiverem realizado um voo de terceira madrugada do tipo G1, H11&H12 ou M1;
- 7.10.** Envidar esforços para reduzir a dispersão nas quantidades de madrugadas simples e duplas do tipo G21G22, H21H22 e M2 nas escalas dos tripulantes, fazendo uma melhor distribuição dos voos;
- 7.11.** Realizar avaliações periódicas sobre as condições dos hotéis de pernoite, verificando o cumprimento dos itens pactuados em contrato entre as partes;
- 7.12.** Realizar avaliações periódicas sobre as condições da sala de descanso em SBGR;
- 7.13.** Aferir a eficácia do SGRF (caso aprovado pela ANAC) em uma periodicidade mínima de dois anos. Os métodos de aferição poderão ser estabelecidos pelo GAGEF.

## 8. Conclusões:

O estudo permitiu um diagnóstico robusto e preciso de importantes variáveis relacionadas ao risco da fadiga nas operações da RPN da Total Linhas Aéreas, cumprindo integralmente o seu objetivo principal e parcialmente seus objetivos secundários.

Os resultados do questionário web e dos diários de sono motivaram importantes melhorias já implementadas no hotel em Porto Alegre e na sala de descanso em SBGR. Não foi possível demonstrar um efeito quantitativo das melhorias na sala de descanso em SBGR, quer seja na qualidade ou na quantidade de sono dos diários.

Os escores de fadiga nas escalas Samn-Perelli não apresentaram efeito de grupo relevante na comparação entre os voos de primeira, segunda ou terceira madrugada do tipo G1H1M1, demonstrando que essas operações são estatisticamente compatíveis para essa variável. Numa comparação de todos os escores entre as fases 1 e 2 também não foi observado efeito de grupo relevante, indicando que a inclusão dos voos de terceira madrugada - cujo escore máximo na escala Samn-Perelli ficou em 4 - não degradou as percepções dos tripulantes, mesmo em um cenário de grande carga de trabalho.

Os dados de actigrafia referentes às quantidades de sono nas 32 horas que antecederam as apresentações demonstram que os voos G1H1M1 de primeira, segunda e terceira madrugada são estatisticamente compatíveis entre si, corroborando para uma eventual extensão que permita operações na terceira madrugada mediante um SGRF. Por outro lado, foi verificado que os voos do tipo G21&G22 de primeira madrugada possuem quantidade de sono significativamente menor (da ordem de 01h50) do que aquelas aferidas para os voos H21&H22 e M2.

Os dados consolidados de actigrafia possibilitaram estimar uma diferença de aproximadamente 35 minutos na média aritmética de sono dos tripulantes comparando-se os voos G21&G22, H21&H22 e M2 no cenário puramente prescritivo de duas madrugadas e num cenário de mitigações. Para o caso dos pilotos, os cálculos apontam uma diferença da ordem de 50 minutos na quantidade de sono entre o cenário atual e o cenário com mitigações.

Portanto, mesmo com algumas limitações apontadas, fica evidenciado que a inclusão da terceira madrugada com as respectivas mitigações leva a uma condição com exposição à fadiga menor ou igual àquela decorrente de um regime sem flexibilizações, mas ao mesmo tempo sem mitigações. Cumpre salientar, contudo, que os resultados e conclusões advindos desse estudo

não devem, sob qualquer hipótese, ser extrapolados para outros contextos operacionais, quer seja pelo mesmo operador ou por qualquer outro operador.

## 9. Referências:

[1] Lei Nº 13.475, de 28 de Agosto de 2017 [acessado em 12 abr. 2021]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/L13475.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13475.htm)

[2] Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC 117): Requisitos para gerenciamento de risco de fadiga humana. Brasília: ANAC; 2019 [acessado em 12 abr. 2021]. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-117-emd-00>

[3] International Air Transport Association, International Civil Aviation Organization, International Federation of Air Line Pilots Association. Fatigue Risk Management Systems: Implementation Guide for Operators, 1st Edition [internet]. Montreal: IATA, ICAO & IFALPA; 2011 [acessado em 12 abr. 2021]. Disponível em: <http://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/FRMS%20Implementation%20Guide%20for%20Operators%20July%202011.pdf>

[4] European Union Aviation Safety Agency. Effectiveness of Flight Time Limitation (FTL) [Internet]. EASA; 2019 [acessado em 12 abr. 2021]. Disponível em: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Report%20on%20effectiveness%20of%20FTL\\_final.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Report%20on%20effectiveness%20of%20FTL_final.pdf)

[5] Ingre M, Van Leeuwen W, Klemets T, Ullvetter C, Hough S, et al. (2014) Validating and Extending the Three Process Model of Alertness in Airline Operations. PLoS ONE 9(10): e108679. doi:10.1371/journal.pone.0108679.

[6] Hursh SR, Redmond DP, Johnson ML, Thorne DR, Belenky G, Balkin TJ, Storm WF, Miller JC and Eddy DR. Fatigue Models for Applied Research in Warfighting. Aviat Space Environ Med 2004; 75 (3 Suppl): A44–53.

- [7] Cassiano, SK. (2017) A Fadiga em Foco na Aviação: Adaptação Brasileira da Samn Perelli Scale. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 8, No. 3, pp. 19-28.
- [8] Rodrigues, J., & Eckeli, A. L. (2018). Validação de um actígrafo nacional. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- [9] Bellone, G. J., Plano, S. A., Cardinali, D. P., Chada, D. P., Vigo, D. E., & Golombek, D. A. (2016). Comparative analysis of actigraphy performance in healthy young subjects. *Sleep Science*, 9(4), 272-279.
- [10] Rosa, D. E., Marot, L. P., de Mello, M. T., Narciso, F. V., Gonçalves, B. D. S. B., Marqueze, E. C., & Crispim, C. A. (2019). Shift rotation, circadian misalignment and excessive body weight influence psychomotor performance: a prospective and observational study under real life conditions. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.
- [11] Forner-Cordero, A., Umemura, G. S., Furtado, F., & Gonçalves, B. D. S. B. (2018). Comparison of sleep quality assessed by actigraphy and questionnaires to healthy subjects. *Sleep Science*, 11(3), 141.
- [12] Albu, S., Umemura, G., & Forner-Cordero, A. (2019). Actigraphy-based evaluation of sleep quality and physical activity in individuals with spinal cord injury. *Spinal cord series and cases*, 5(1), 1-9.
- [13] Umemura, G. S., Pinho, J. P., Furtado, F., Gonçalves, B. S. B., & Fomer-Cordero, A. (2017, November). Comparison of sleep parameters assessed by actigraphy of healthy young adults from a small town and a megalopolis in an emerging country. In *2017 IEEE Healthcare Innovations and Point of Care Technologies (HI-POCT)* (pp. 200-203). IEEE.

## Anexo I: Diário de Sono:

A SOS disponibilizou tabelas impressas dos diários de sono (Figura abaixo) com o intuito de facilitar os lançamentos que foram efetuados pelos tripulantes na web. Assim, os participantes poderiam anotar as informações sobre cada evento de sono e posteriormente lança-las usando a interface web.

Diário de sono – Fase I – Agosto e Setembro de 2020 (1 de 8) Código ANAC:					
Evento	Data do início do sono	Hora que se deitou	Hora que levantou	Local do sono	Qualidade do sono
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					

Local do sono: 1-casa, 2-hotel ou 3-sala de descanso em GRU Qualidade do sono: 1-excelente, 2-bom, 3-regular ou 4-ruim					
Evento	Data do início do sono	Hora que se deitou	Hora que levantou	Local do sono	Qualidade do sono
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

Figura 9: Modelo de Diário de sono disponibilizado de forma impressa pela SOS.

## Anexo II: Formulário para a Escala Samn-Perelli:

Agosto de 2020 Dia	Favor inserir o valor da escala Samn-Perelli no início da descida no dia correspondente. As etapas nas madrugadas deverão ser lançadas no dia efetivo, ou seja normalmente no dia seguinte ao dia da apresentação (não incluir voos de PAX, apenas como titular).											Escala Samn-Perelli (traduzida para o Português*)	
	G2		H2		M2	G1	H1		M1	outros voos quaisquer			Indique na escala de 1 a 7 abaixo como você está se sentindo agora
	GRU-GIG	GIG-VIX	GRU-CWB	CWB-FLN	GRU-POA	VIX-GRU	FLN-CWB	CWB-GRU	POA-GRU	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	
01													
02													
03													
04													
05													
06													
07													
08													
09													
10													
11													
12													
13													
14													
15													

(\*) Cassiano, SK. (2017) A Fadiga em Foco na Aviação: Adaptação Brasileira da Samn Perelli Scale. Revista Conexão Sipaer, Vol. 8, No. 3, pp. 19-28.

Figura 10: Formulário para os lançamentos dos escores de escala Samn-Perelli.