



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Proposição de uma ferramenta computacional de Gerenciamento de Riscos da Fadiga Humana para Controladores de Tráfego Aéreo

Rodrigo Pereira Gomes

Dissertação apresentada como requisito parcial para conclusão do
Mestrado Profissional em Computação Aplicada

Orientador

Prof.a Dr.a Simone Borges Simão Monteiro

Coorientador

Prof.a Dr.a Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisic

Brasília
2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

PR696p Pereira Gomes, Rodrigo
Proposição de uma ferramenta computacional de Gerenciamento de Riscos da Fadiga Humana para Controladores de Tráfego Aéreo / Rodrigo Pereira Gomes; orientador Simone Borges Simão Monteiro; co-orientador Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisic. -- Brasília, 2023.
133 p.

Dissertação(Mestrado Profissional em Computação Aplicada)
- Universidade de Brasília, 2023.

1. Controle de Tráfego Aéreo. 2. Fadiga Humana. 3. Ferramenta computacional. 4. Gerenciamento de Risco à Fadiga. 5. PLS-SEM. I. Borges Simão Monteiro, Simone, orient. II. Vasconcellos Ferreira Grubisic, Viviane, co orient. III. Título.

Dedicatória

Primeiramente, dedico este trabalho a Deus; sem Ele eu não teria capacidade para desenvolver este trabalho. Dedico especialmente à minha mãe e irmã, pelo apoio irrestrito nos momentos difíceis. À minha orientadora e co-orientadora, Simone e Viviane, pelo apoio e incentivo.

Agradecimentos

Agradeço à Deus pela força e equilíbrio, necessários nessa fase da vida. À Universidade de Brasília por me acolher mais uma vez, à minha mãe Gisely e irmã Évelyn, pelo incentivo diário. Especialmente, agradeço aos meus avós Cleide e Edson *in memoriam*, que onde estiverem, estão torcendo por mim e vibrando a cada conquista.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo propor uma ferramenta computacional de Gerenciamento de Riscos relacionados à Fadiga Humana, a partir da abordagem *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS), aplicado ao Primeiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I), de forma a minimizar os riscos concernentes à fadiga. Para tal, realizou-se uma pesquisa exploratória, descritiva, de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa. Utilizou-se como técnica de coleta de dados documentos do Comando da Aeronáutica, legislações nacionais e internacionais, aplicação de questionário, *brainstorming* com especialistas das áreas de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos, e controle de tráfego aéreo. Como resultado deste estudo, foi coletada a percepção dos operadores que atuam em órgãos operacionais. Os profissionais responderam um questionário com 44 questões objetivas, embasadas na literatura, relacionadas diretamente com o tema Fadiga Humana (FH), que podem influenciar o Desempenho Operacional (DO). Para tabular os dados resultantes, aplicou-se a modelagem de equações estruturais de mínimos quadrados parciais (PLS-SEM), a qual revelou que conforme a resposta de 149 operadores, o modelo conceitual elaborado explica o desempenho operacional em 34,7%, as dimensões tempo de reação em 31,2% e estado de alerta em 29,9%. Na etapa de validação, foi apresentada a solução computacional aos especialistas e analistas, por meio de reuniões, objetivando uma validação do Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF), avaliando a viabilidade de utilização da ferramenta pela instituição. O estudo revelou que, para a melhoria do desempenho operacional dos controladores de tráfego aéreo, deve-se realizar ações quanto à qualidade do sono e ao tempo de reação. Por fim, apresentou-se um protótipo de ferramenta computacional desenvolvido, testado e validado por especialistas da Organização, denominado Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga Humana (SGRF), visando contemplar todas as etapas essenciais do processo de gerenciamento de riscos da fadiga para o *Air Traffic Control Officer* - Controlador de Tráfego Aéreo (ATCO), segundo a abordagem *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS).

Palavras-chave: Controle de Tráfego Aéreo; Fadiga Humana; Ferramenta computacional; Gerenciamento de Risco à Fadiga; PLS-SEM.

Abstract

This work aims to propose a computational tool for Risk Management related to Human Fatigue, based on the *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS) approach, applied to Primeiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I), in order to minimize the risks related to fatigue. To this end, exploratory, descriptive, applied research was carried out, with a qualitative and quantitative approach. Documents from the Air Force Command, national and international legislation, application of a questionnaire, *brainstorming* with specialists in the areas of investigation and prevention of aeronautical accidents, and air traffic control were used as a data collection technique. As a result of this study, the perception of operators who work in operational bodies was collected. The professionals answered a questionnaire with 44 objective questions, based on the literature, directly related to the Human Fatigue (FH) theme, which can influence Operational Performance (OD). To tabulate the resulting data, partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) was applied, which revealed that according to the response of 149 operators, the conceptual model elaborated explains the operational performance in 34.7%, the dimension reaction time in 31.2% and state of alert in 29.9%. In the validation stage, the computational solution was presented to specialists and analysts, through meetings, aiming at validating the Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF) and evaluating the feasibility of using the tool by the institution. The study revealed that, in order to improve the operational performance of air traffic controllers, actions should be taken regarding sleep quality and reaction time. Finally, a prototype of a computational tool developed, tested, and validated by the Organization's specialists, called the Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF), was presented, aiming to contemplate all the essential stages of the fatigue risk management process for the Air Traffic Controller (ATCO), according to the Fatigue Risk Management System (FRMS) approach.

Keywords: Air Traffic Control; Human Fatigue; Computational tool; Fatigue Risk Management; PLS-SEM.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Controle de Tráfego Aéreo (ATC)	1
1.2	Problematização	3
1.3	Objetivos	4
1.3.1	Objetivo Geral	4
1.3.2	Objetivos Específicos	4
1.4	Justificativa	5
1.5	Estrutura do Trabalho	6
2	Revisão do Estado da Arte	7
2.1	Revisão Sistemática sobre Fadiga Humana	7
2.2	Análises <i>Co-occurrence</i>	11
2.3	Análises de <i>co-citation</i>	13
2.4	Análises de <i>coupling</i>	14
2.5	Análise crítica do capítulo	15
3	Referencial Teórico	16
3.1	Fadiga Humana	16
3.2	Gerenciamento de Riscos da Fadiga Humana (FH) para Órgãos ATC	20
3.3	Fatores que influenciam a Fadiga Humana (FH)	26
3.4	Levantamento dos principais sistemas e ferramentas de Gerenciamento da Fadiga existentes	28
3.5	Exemplo de aplicação da Ferramenta FAST	33
3.6	Modelagem de Equações Estruturais	36
3.7	Análise crítica do capítulo	40
4	Método de Pesquisa	41
4.1	Classificação da Pesquisa	41
4.2	Estruturação da Pesquisa	44
4.2.1	Etapa 1 - Contextualização da Organização Militar	46

4.2.2	Etapa 2 - Coleta da percepção da fadiga	46
4.2.3	Etapa 3 - Proposição de um novo processo de gerenciamento de riscos	47
4.2.4	Etapa 4 - Proposição de uma interface computacional	47
4.2.5	Etapa 5 - Validação da Ferramenta Computacional	49
5	Resultados	51
5.1	Estabelecimento do contexto da Organização Militar	51
5.1.1	Contexto Externo	51
5.1.2	Contexto Interno	53
5.1.3	Modelagem do processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana no CINDACTA I (AS-IS)	53
5.2	Coleta da percepção da fadiga dos ATCOs	55
5.2.1	Modelo da pesquisa	55
5.2.2	Método de pesquisa	57
5.2.3	Confiabilidade e validade do modelo	57
5.2.4	Cálculo do Modelo e análise da significância dos indicadores	59
5.2.5	Cálculo do modelo Estrutural	60
5.3	Implicações Práticas que Impactam o Desempenho Operacional	61
5.3.1	<i>Importance Performance Map Analysis</i> - IPMA	61
5.4	Proposição de um novo processo de gerenciamento de riscos da fadiga hu- mana no CINDACTA I (TO-BE)	64
5.5	Proposição de uma interface computacional	67
5.5.1	Levantamento dos principais requisitos técnicos e operacionais para gerenciamento da fadiga	67
5.5.2	Elaboração de uma ferramenta computacional, contemplando o pro- cesso de gestão de riscos.	73
5.6	Validação da Ferramenta Computacional	87
5.6.1	Descrição dos Procedimentos de Testes de Aceitação (SAT) do Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF)	87
5.6.2	Descrição dos Testes	87
5.7	Considerações Finais do Capítulo	95
6	Considerações Finais	96
6.1	Proposta de trabalhos futuros e limitações	98
	Referências	99
	Apêndice	107

A Questionário Aplicado	108
Anexo	115
I Formulários do Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga	116

Lista de Figuras

2.1	Processo de seleção dos artigos	8
2.2	Artigos mais relevantes	9
2.3	Rede Bibliométrica de termos mais recorrentes nos 15 artigos do resultado da pesquisa	12
2.4	Rede de <i>Co-citation</i>	13
2.5	Análise de <i>Coupling</i> de referências	14
3.1	Impacto da Fadiga no Desempenho operacional	18
3.2	Gerenciamento de Riscos à Fadiga	21
3.3	Matriz de Avaliação do Risco à Segurança Operacional	23
3.4	Ciclos circadianos	27
3.5	Condicionantes do Estado de Alerta	27
3.6	Comparativo entre Sistemas/ferramentas de Gerenciamento de Riscos à Fadiga e suas Funcionalidades	32
3.7	Processos Operacionais do FRMS	33
3.8	Diagrama SAFTE	34
3.9	Efetividade de uma pessoa que trabalha 9h por dia e dorme 8h	35
4.1	Classificação da Pesquisa	42
4.2	Entrevistados do CENIPA e do CINDACTA I	44
4.3	Estruturação da Pesquisa	45
4.4	Metodologia de Prototipação	48
5.1	Modelagem AS-IS do Processo de Gerenciamento de Riscos da Fadiga do CINDACTA I	54
5.2	Modelo Conceitual	56
5.3	Modelo Estrutural Calculado no <i>SmartPLS</i>	59
5.4	Análise do IPMA	62
5.5	Modelagem TO-BE contraído do Processo de Gerenciamento de Risco à Fadiga	64

5.6	Modelagem TO-BE expandido do Processo de Gerenciamento de Risco à Fadiga	66
5.7	Processo de Implementação do FRMS	73
5.8	Diagrama de Contexto	75
5.9	Tela de <i>login</i>	77
5.10	Tela de cadastro	78
5.11	Tela principal do Sistema - Painel de Controle	79
5.12	Modelo de Relatório de Análise de Fadiga	80
5.13	Avaliação e Mitigação de Fatores de Fadiga	83
5.14	Categorização para avaliação da soma dos fatores de fadiga (Passo 1) . . .	84
5.15	Categorização da tolerabilidade da soma dos fatores de fadiga após as ações mitigadoras (Passo 2)	84
5.16	Matriz de tolerabilidade de risco para fadiga acumulada (Passo 3)	85
5.17	Tela de <i>login</i> para o Módulo Escala do SGPO	85
5.18	Tela inicial do SIGCEA	86

Lista de Tabelas

2.1	Combinação dos termos de pesquisa utilizados no TEMAC	8
3.1	Influência de Contexto Operacional na Fadiga Humana	19
3.2	Influência de Contexto Organizacional na Fadiga Humana	20
3.3	Nível de Percepção da Fadiga - <i>Samn-Perelli</i>	24
3.4	Classificação da Probabilidade de Ocorrência de Fadiga	25
3.5	Modelos de medição formativos	39
5.1	Hipóteses da Pesquisa	56
5.2	Análise de Significância - Pesos	58
5.3	Análise de Significância - Cargas	58
5.4	Resultado da Análise de Significância	60
5.5	Efeitos Indiretos	61
5.6	Assertivas e sugestões referentes ao questionário aplicado	63
5.7	Levantamento de Requisitos	68
5.8	Manual dos Casos de Testes para Validação	89
A.1	Indicadores e Assertivas	110

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ACC *Area Control Center* - Centro de Controle de Área.

APP *Approach Control Center* - Centro de Controle de Aproximação.

ATC *Air Traffic Control* - Controle de Tráfego Aéreo.

ATCO *Air Traffic Controll Officer* - Controlador de Tráfego Aéreo.

ATS *Air Traffic Service* - Serviço de Tráfego Aéreo.

BPMN *Business Process Model and Notation* - Modelo e Notação de Processos de Negócios.

CANSO *Civil Air Navigation Services Organization* - Organização de Serviços de Navegação Aérea Civil.

CENIPA Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.

CINDACTA I Primeiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo.

CNFH Comissão Nacional de Fadiga Humana.

CNPAA Comitê Nacional de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.

DECEA Departamento de Controle do Espaço Aéreo.

FAST *Fatigue Avoidance Scheduling Tool*.

FRMS *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga.

GRF Gerenciamento do Risco à Fadiga.

ICAO *International Civil Aviation Organization* - Organização de Aviação Civil Internacional.

IFATCA *International Federation of Air Traffic Controller's Associations* - Federação Internacional de Associações de Controladores de Tráfego Aéreo.

NTSB *National Transportation Safety Board*.

OM Organizações Militares.

PSNA Prestador dos Serviços de Navegação Aérea.

PVT *Psychomotor Vigilance Test*.

RBAC Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil.

RELPREV Relatório de Prevenção.

RIF Reporte de Indício de Fadiga Pós-ocorrência de Tráfego Aéreo.

RVF Reporte Voluntário de Fadiga.

SGPO Sistema de Gerenciamento de Pessoal Operacional.

SGRF Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga.

SIGCEA Sistema de Informações Gerências do Subsistema de Segurança Operacional no Controle do Espaço Aéreo.

SIPACEA Seção de Investigação e Prevenção de Acidentes/Incidentes do Controle do Espaço Aéreo.

SIPAER Sistema de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.

SISCEAB Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro.

SMS *Safety Management System*.

SPI *Safety Performance Indicators* - Indicadores de Desempenho de Segurança.

TWR *Control Tower* - Torre de Controle.

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo são apresentados os tópicos contextualização do tema proposto, definição do problema, justificativa, objetivos geral e específicos, e a estruturação do trabalho.

1.1 Controle de Tráfego Aéreo (ATC)

As atividades de controle de tráfego aéreo são desempenhadas pelo *Air Traffic Controller* - Controlador de Tráfego Aéreo (ATCO) e têm papel de extrema importância na aviação, propiciando a manutenção do fluxo de tráfego aéreo seguro, ordenado e rápido [1]. Os ATCOs possuem tarefas complexas e exaustivas, trabalhando diuturnamente de forma ininterrupta em escalas de revezamento, com jornada de trabalho de 8 horas diárias e 156 horas mensais. Quando há incidência de acidentes ou incidentes aeronáuticos, as primeiras condutas avaliadas são as dos controladores de tráfego, visando verificar falhas sistêmicas de modo a evitar que futuras ocorrências aconteçam. Diversos fatores humanos podem estar associados a esses profissionais, entre eles, a fadiga humana [2].

De acordo com a Força Aérea Brasileira (FAB), atualmente 4,5 mil controladores de voo atuam em todo o Brasil, divididos por todas as regiões do país. Desse total, 77,7% são militares e o restante civis.

Para o desempenho de suas atividades, o ATCO necessita manter o processo decisório em equilíbrio emocional e os esforços atencionais focados, além de possuir expressiva califasia, capacidade de raciocínio rápido, percepção e visão espacial, e disponibilidade para a constante leitura e atualização das normas e procedimentos específicos vigentes, que estão constantemente passando por alterações [3].

Como dito anteriormente, os fatores estressantes durante os turnos de trabalho, como os conflitos de tráfego entre aeronaves, a pressão psicológica a partir do volume de tráfego e a fadiga, constituem fatores intrínsecos ao trabalho, que poderiam ocasionar sobrecarga física e mental aos ATCOs [4].

A fadiga é um fator potencial de risco para a falha humana. De acordo com pesquisas realizadas pelo governo americano por meio da *National Transportation Safety Board* (NTSB), 20% dos incidentes e acidentes aéreos são consequências da fadiga humana como fator contribuinte [5].

Para Santos [6], 27% dos erros operacionais cometidos pelos ATCOs ocorrem devido a algum tipo de esquecimento. Relata-se como falhas relacionadas ao fator humano, erros cometidos no cotejamento de mensagens, na ausência de correções necessárias para que conflitos aéreos possam ser evitados. Dentro desse contexto, um dos maiores desastres aeronáuticos já registrados ocorreu em 1977, em Tenerife, nas Ilhas Canárias (Espanha). A investigação apontou que, após a colisão de duas aeronaves *Boeing 747*, a morte de 583 pessoas foi em decorrência de fatores humanos como a fadiga e o *stress* dos ATCOs [6].

Com base nessas evidências, a *International Civil Aviation Organization* - Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) define dois tipos de abordagens para o gerenciamento do risco à fadiga: a Prescritiva e a FRMS (*Fatigue Risk Management System*), definida em 2016 [7].

- Abordagem Prescritiva: o Provedor de Serviços de Tráfego Aéreo deve cumprir os limites prescritivos máximos e mínimos de horários de trabalho e de folga estabelecidos. Além disso, necessita-se gerenciar os riscos à fadiga por meio da estrutura do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional - SGSO ou SMS (*Safety Management System*), já utilizados pelos Órgãos Operacionais para gerenciar outros tipos de perigos; e
- Abordagem FRMS – o Provedor *Air Traffic Service* - Serviço de Tráfego Aéreo (ATS) deve desenvolver e implementar um *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS), que deverá ser aprovado pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

O conceito de Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF), segundo a abordagem FRMS, fornece orientações para a redução da fadiga de tripulantes de aeronaves. Consonante a essa legislação, a *Civil Air Navigation Services Organization* - Organização de Serviços de Navegação Aérea Civil (CANSO) com a *International Federation of Air Traffic Controller's Associations* - Federação Internacional de Associações de Controladores de Tráfego Aéreo (IFATCA), propuseram um Guia de Gerenciamento de fadiga para Prestadores de Serviços de Tráfego Aéreo, contemplando recomendações para os Controladores de Tráfego Aéreo [8].

Ressalta-se que enquanto a abordagem prescritiva tem caráter mandatório, a segunda é de cumprimento opcional pelo Prestador dos Serviços de Navegação Aérea (PSNA). A definição dos limites prescritivos e do gerenciamento da fadiga, seja por meio do SMS ou

do FRMS, deverá ser baseado em princípios científicos, na experiência e no conhecimento operacional, consonante com o preconizado pela ICAO [9].

1.2 Problematização

Compreende-se que a tarefa do controlador de tráfego aéreo tem baixa exigência física e forte exigência cognitiva [10], bem como habilidades de concentração e rapidez, em razão de precisar gerir diversas informações, memorizar diferentes códigos e números, realizar cálculos de distância de forma mental, além de possuir uma visão espacial entre os tráfegos presentes no momento. Trata-se, portanto, de um ambiente de trabalho dinâmico que exige agilidade intelectual e velocidade de raciocínio [11]. Por ser uma atividade de grande complexidade, faz necessário gerenciar os riscos de fadiga dos ATCOs em suas atividades laborais, de modo a propiciar um melhor controle das ações mitigadoras, bem como propor melhorias de maneira eficaz.

Conforme a pesquisa realizada por Mota, Cruz e Pimenta (2005) [12], foram expostas as principais consequências relacionadas à fadiga, caracterizando-as como sendo extremamente problemáticas para tripulantes, visto que podem comprometer a segurança operacional de voo. Entre elas, destacam-se: cansaço, exaustão, desgaste, alteração da capacidade funcional, falta de energia, letargia, sonolência, diminuição da motivação, atenção, concentração e mal-estar.

Com base nos dados extraídos do Painel Sistema de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER), o fator humano contribui com 32,95% dos motivos de acidentes de avião registrados. Estes fatores estão diretamente relacionados aos aspectos psicológicos, à capacitação e treinamento, e em maior proporção, ao processo decisório relacionado aos pilotos, sendo que 19,77%, é devido à falta de atitude (10,88%), e erro de percepção (8,89%). Esses erros de percepção culminam em acidentes aéreos, muitas vezes fatais. O Relatório n.º 022/CENIPA/2008, página 253, revelou as causas do acidente com grande repercussão nacional, envolvendo a aeronave da GOL e o *Legacy* americano, em 29 de setembro de 2006, nas proximidades da Serra do Cachimbo-PA. As investigações apontaram que o fator psicológico contribuiu para o acidente, pois *“a baixa consciência situacional dos pilotos (airmanship) se constituiu em um fator relevante para a ocorrência de acidente, tendo se originado durante a fase de preparação para a operação, a qual foi percebida como rotina”*. Além disso, foram constatadas falhas humanas dos controladores de tráfego aéreo, relacionadas ao descumprimento de procedimentos e à falta de comunicação imprescindível entre os controladores envolvidos durante a troca do turno de trabalho. Tais falhas, inicialmente sem razão plausível, podem ser consequência da fadiga humana que acomete pilotos, tripulação e controladores de tráfego aéreo.

Por esta razão, o foco desta pesquisa está concentrado no gerenciamento dos riscos concernentes aos fatores humanos (fadiga humana), em razão da atuação dos controladores de tráfego aéreo estarem diretamente relacionados à segurança operacional, considerados “a ponta da lança”, tendo como produto final, a prestação de serviços por meio de informações primordiais para que os pilotos possam conduzir as aeronaves com segurança.

Com base nessas informações, buscou-se entender o contexto relacionado ao processo do gerenciamento da fadiga humana em Órgãos ATC, especialmente no CINDACTA I. Deste modo, a seguinte questão de pesquisa foi elaborada de modo a direcionar a realização deste estudo:

- Como gerenciar os riscos relacionados à fadiga humana na abordagem FRMS, a fim de minimizá-los?

A resposta para esta pergunta busca auxiliar as autoridades do setor aéreo na adoção de contramedidas visando a implantação de um sistema de gerenciamento de riscos relacionados à fadiga (FRMS) nos órgãos de controle de tráfego aéreo brasileiro sob responsabilidade da Força Aérea Brasileira (FAB).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor uma ferramenta computacional de Gerenciamento de Riscos relacionados à Fadiga Humana, a partir da abordagem FRMS, aplicada ao CINDACTA I, de forma a minimizar os riscos concernentes à fadiga.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Descrever o processo de gerenciamento da fadiga humana do *Air Traffic Control Officer* - Controlador de Tráfego Aéreo (ATCO) no CINDACTA I, a partir da abordagem prescritiva;
- Avaliar a percepção dos ATCOs quanto a fadiga humana;
- Estruturar um novo processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana alinhado às boas práticas e percepção dos ATCOs, baseado na abordagem FRMS;

- Desenvolver uma ferramenta computacional para o processo de gerenciamento de riscos relacionados à fadiga humana; e
- Validar a ferramenta computacional proposta.

1.4 Justificativa

A partir do elevado aumento no transporte aéreo, de passageiros e cargas, desde o fim da Segunda Guerra Mundial, surgiram problemas relacionados ao gerenciamento de inúmeras atividades no espaço aéreo, como a combinação de procedimentos, a definição de parâmetros operacionais de voo, como a separação entre as aeronaves, dentre outros, o que exigiu rápidas ações objetivando responder à pressão imediata de órgãos internacionais relacionados à aviação [13].

No âmbito do Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA), lei n.º 7.565, de 19 de dezembro de 1986 [14], em substituição à Convenção de Chicago, é estabelecido, dentre muitos assuntos, a estrutura básica e as atribuições dos elementos constitutivos do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER), que busca identificar os fatores preponderantes relacionados aos acidentes ou incidentes aéreos, e a partir deste ponto, emitir Recomendações de Segurança, de modo a cessar os perigos latentes ou mitigar os riscos na atividade aérea [15].

Neste contexto, o ATCO tem uma função extremamente importante na aviação. Seu papel principal é manter o fluxo de tráfego seguro, ordenado e rápido [16]. Esses profissionais trabalham ininterruptamente em escalas de revezamento. Quando ocorrem acidentes ou incidentes aeronáuticos, as primeiras condutas avaliadas são as dos controladores de tráfego, visando retificar falhas sistêmicas a fim de prevenir que outras ocorrências aconteçam. Diversos fatores humanos podem ser relacionados a esses profissionais, entre eles, a fadiga humana.

Atualmente, ainda não foi implantado no Brasil um programa de gerenciamento de fadiga segundo a abordagem FRMS. De acordo com a ICAO, a partir do ano de 2023, as Organizações e Entidades Provedoras dos Serviços de Navegação Aérea, caso entendam pertinente, poderão, oportunamente, pleitear a transição da abordagem Prescritiva para a FRMS.

Por este motivo, esta pesquisa busca contribuir no desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de riscos relacionados à fadiga humana, segundo a abordagem FRMS, com foco na prevenção de acidentes aéreos e na percepção técnica da segurança do voo, a fim de contribuir com a preservação dos recursos humanos e materiais.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em 7 capítulos, além deste, consistindo em:

- **Capítulo 2:** *Levantamento do Estado da Arte.* Apresenta os conceitos teóricos necessários por meio da adaptação do TEMAC (Teoria do Enfoque Metaanalítico Consolidado), a fim de fornecer uma relação dos autores que não podem ser deixados de citar quanto ao tema pesquisado.
- **Capítulo 3:** *Referencial Teórico.* Discorre sobre a revisão da literatura, detalhando os aspectos relacionados à fadiga humana no âmbito do controle de tráfego aéreo;
- **Capítulo 4:** *Método de Pesquisa.* Descreve a classificação da pesquisa e a forma como ela foi estruturada. Demonstra também, elaboração de um modelo conceitual para que o método de pesquisa pudesse ser elaborado, de modo a mensurar a percepção da fadiga dos ATCOs.
- **Capítulo 5:** *Resultados Preliminares.* Apresenta os principais resultados alcançados após a coleta da percepção dos Operadores que trabalham em Órgão ATC e ATS quanto à fadiga humana.
- **Capítulo 6:** *Considerações Finais.* Apresenta a conclusão deste trabalho, bem como os trabalhos futuros que poderão ser realizados como continuidade desta pesquisa.

Capítulo 2

Revisão do Estado da Arte

Este capítulo propõe uma revisão sistemática da literatura, a fim de identificar os trabalhos mais relevantes relacionados ao tema do presente estudo, por meio da adaptação da Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC), de Mariano e Rocha (2017) [17]. Esta pesquisa bibliográfica compreende o levantamento de publicações em base de dados indexadas, pesquisadas por meio de periódicos, artigos científicos, e outros, cujo principal objetivo é proporcionar ao pesquisador o acesso à literatura especializada e produzida sobre o assunto em estudo.

Para preparação da pesquisa, foram utilizadas as bases de dados indexadas *Scopus* e *Web of Science (WoS)*, em razão de serem internacionalmente reconhecidas, além de permitirem análise dos resultados na plataforma, que permite identificar referências similares à finalidade da pesquisa. Nesse contexto, serão apresentados neste capítulo, a análise de *co-ocurrence*, que mostra as palavras-chave mais recorrentes nos artigos resultantes da pesquisa, a análise de *co-citation*, a qual verifica os artigos mais citados regularmente, e a análise de *coupling*, cujo resultado mostra que artigos que citam trabalhos iguais possuem similaridade.

2.1 Revisão Sistemática sobre Fadiga Humana

A pesquisa compreendeu o período dos últimos dez anos, a fim de que os fatos observados fossem os mais atuais na literatura. Foi possível perceber que quanto mais abrangente os termos para busca nas plataformas *WoS* e *Scopus*, maior a quantidade de publicações encontradas. Por esta razão, determinou-se os termos mais relevantes relacionados ao tema, a fim de delimitar as palavras-chave, como mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Combinação dos termos de pesquisa utilizados no TEMAC

Palavras-chave	Base de dados	
	WoS	SCOPUS
"human fatigue"	34.560	127.436
"human fatigue" AND "air traffic control"	27	23
"human fatigue" AND "air accidents"	29	32
"human fatigue" AND "air traffic controller"	16	19
"human fatigue" AND "air traffic controller" AND "air accidents"	4	10
"human fatigue" AND "risk management" AND "air traffic control"	2	13

Após o levantamento das palavras-chave utilizadas, constatou-se que, embora a palavra-chave “*Human Fatigue*” possui o maior número de resultados, não abrange o tema central do estudo. Deste modo, os melhores termos encontrados na temática estão relacionados a “*Human Fatigue at Air Traffic Control*” e “*Human Fatigue at Air Traffic Controller*”.

Acrescentando ainda como parâmetro de busca o termo “*risk management*”, excluindo os artigos repetidos e omitindo termos fora do escopo da pesquisa, como “*Medicine*”, “*Neuroscience*”, entre outros, o resultado obtido foi de 15 trabalhos relacionados à fadiga humana, como mostra os filtros aplicados por meio da Figura 2.1.

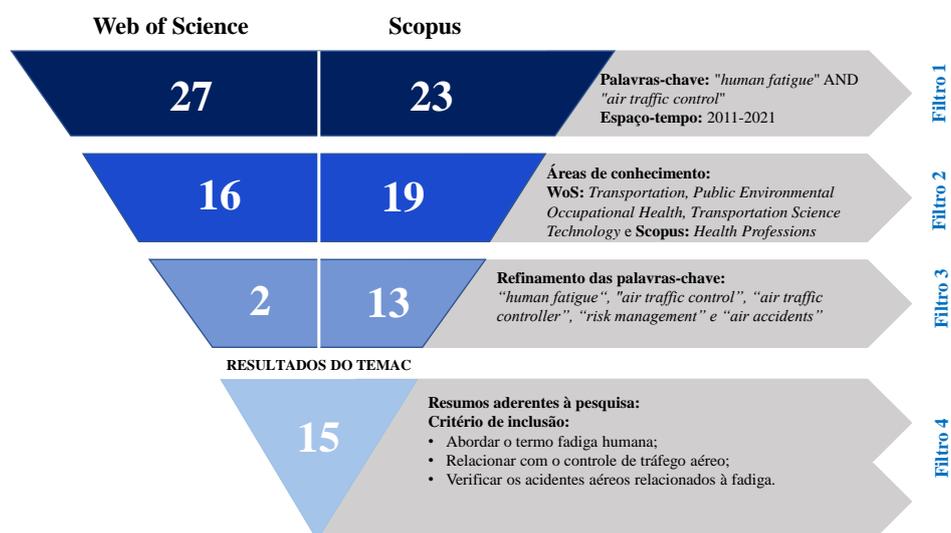


Figura 2.1: Processo de seleção dos artigos

Com base nos filtros realizados e critérios de inclusão, o resultado do TEMAC se resume em 15 artigos, sendo 2 da base de dados *WoS* e 13 da base *Scopus*. Nas pesquisas encontradas mais relevantes entre os 15 artigos selecionados, foram observadas similaridades com o tema dessa pesquisa, principalmente com relação a ferramentas e técnicas

utilizadas para estudar a fadiga humana. Constatou-se, porém, diferentes abordagens sobre a fadiga no âmbito do controle de tráfego aéreo, conforme os 6 principais artigos detalhados no Quadro representado pela Figura 2.2.

Artigo	Objetivo	Ferramentas e técnicas utilizadas	Resultados obtidos
<i>Prediction of Task Performance from Physiological Features of Stress Resilience.</i> Sarlija, M., et al. (2020).	Investigar o potencial de características fisiológicas de resiliência ao estresse na previsão do desempenho de Controladores de Tráfego Aéreo.	Abordagem multimodal, incluindo análise de eletrocardiografia, eletromiografia, atividade eletrodérmica e respiração.	A abordagem proposta pode ser usada para avaliar características objetivas de resiliência ao estresse, bem como determinar limites do envelope de desempenho em ambientes ocupacionais realistas.
<i>Psychophysical Coherence Training Regulating Air Traffic Controller's Heart Rate Variability and Resilience to Fatigue.</i> Li, W.-C., et al. (2021).	Estudar os efeitos regulatórios do treinamento de coerência e capacidade de resiliência dos Controladores de Tráfego Aéreo.	T-test pareado.	O treinamento de coerência psicológica demonstrou ser um método eficiente para garantir que os ATCO se recuperem da fadiga e alcancem a resiliência.
<i>Fatigue Assessment Methods Applied to Air Traffic Control – A Bibliometric Analysis.</i> Gomes de Carvalho, et al. (2021).	Analisar a proposta de gestão da fadiga humana sob duas vertentes: uma prescritiva, e outra não obrigatória, para monitorização dos dados através de um sistema denominado FRMS (<i>Fatigue Risk Management System</i>).	Estudo bibliométrico da fadiga.	Os métodos subjetivos (escalas KSS e SPS) apresentam vantagens, como rapidez e facilidade de administração, aplicação em papel ou computador. E desvantagens como: ser relativamente fácil de enganar, podendo não ter validade.
<i>Delphi and Bayesian Networks in the Analysis of Fatigue in Air Traffic Events in Practical ATC Instruction.</i> Gomes de Carvalho, L.M., et al. (2021).	Propor a utilização do método <i>Delphi</i> e das Redes Bayesianas na avaliação da influência da fadiga nas ocorrências de tráfego aéreo.	Método <i>Delphi</i> e das Redes Bayesianas.	Os resultados apontam que a complexidade da tarefa é o fator de maior destaque para a fadiga e consequente ocorrência de incidentes, seguido da existência de condições meteorológicas.
<i>An optimized scheduling model for multi-skilled air traffic controllers based on fatigue analysis.</i> Xu, M.-Z., et al. (2021).	Propor um modelo de escalonamento de ATCO baseado em análise de fadiga.	Modelagem de fadiga por meio de revisão da literatura em pesquisa operacional.	Mostra que a pesquisa operacional tem contribuído com inúmeros algoritmos eficazes e procedimentos de solução heurística para a mitigação da fadiga.
<i>Safety perceptions of training pilots based on training institution and experience.</i> Hong, S.-J., et al. (2016).	Determinar como alunos e instituições afetam suas percepções dos fatores de risco em aviação, usando o modelo SHELL (<i>software, hardware, ambiente e liveware</i>).	Modelo SHELL e Modelagem de Equações Estruturais de Mínimos Quadrados Parciais (PLS-SEM)	Os resultados revelam que os alunos pilotos não têm confiança em seus conhecimentos durante os voos.

Figura 2.2: Artigos mais relevantes

A partir dos 6 artigos selecionados, a Figura 2.2 mostra o estudo proposto por Sarlija *et al.* (2021) [18], o qual investigou o potencial de características fisiológicas genéricas não relacionadas à tarefa de resiliência ao estresse em prever o desempenho dos ATCOs. A pesquisa propôs e avaliou 16 recursos fisiológicos não relacionados a tarefas, deixando a escolha de recursos mais importantes em relação ao menos importantes para a seleção de recursos orientados a dados e métodos de aprendizado de máquina. Em termos dos resultados apresentados, foi a primeira vez que características fisiológicas genéricas não relacionadas a tarefas, mostraram-se como indicadores potenciais de resiliência ao estresse, e demonstraram contribuir para o desempenho de tarefas específicas do trabalho sob con-

dições realistas ou de estresse ocupacional. O estudo indica ainda, que a abordagem adotada pode ser utilizada para avaliação de características objetivas de resiliência ao estresse, bem como determinar limites de desempenho em ambientes ocupacionais realistas, como o Controle de Tráfego Aéreo.

Já Chin Li *et. al.* (2021) [19] mostrou em sua pesquisa que a Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) pode refletir objetivamente a carga cognitiva dos indivíduos. Por meio de um método não invasivo, a VFC foi mensurada para avaliar alterações fisiológicas relevantes em um corpo humano. Tendo em vista que as alterações fisiológicas e processos cognitivos estão associados ao controle autonômico dinâmico cardíaco, elas influenciam a capacidade do indivíduo de lidar com a fadiga e alcançar a resiliência. Para estudar os efeitos regulatórios do treinamento de coerência na VFC e na capacidade de resiliência dos Controladores de Tráfego Aéreo, os parâmetros de VFC de 34 ATCOs qualificados antes e depois do Treinamento de Coerência Rápida (QCT) foram coletados e analisados por teste T pareado. O ponto forte dessa pesquisa demonstrou que o treinamento de coerência psicológica é um método eficiente para garantir que os ATCOs se recuperem da fadiga e alcancem a resiliência. Além disso, os resultados da pesquisa podem ter potencial para fornecer subsídios para o desenvolvimento do Sistema de Gerenciamento de Risco de Fadiga, exigido pela ICAO.

Estudo recente de Gomes de Carvalho (2021) [20], propôs uma revisão bibliográfica sobre a fadiga aplicada ao controle de tráfego aéreo brasileiro, por meio de duas abordagens: uma prescritiva e compulsória, que estipula limites normativos prescritivos, e outra, não obrigatória, para monitorização dos dados por meio de um sistema denominado FRMS (*Fatigue Risk Management System*), Sistema de Gerenciamento da Fadiga, ainda não implantado no Brasil. O autor utilizou as bases de dados indexadas *WoS*, *Scopus* e *Engineering Village*, encontrando somente 7 artigos relacionados ao tema. O destaque do artigo consiste na similaridade com a pesquisa objeto deste estudo, pois o autor também encontrou na literatura métodos subjetivos de análise, como: diários de sono; escala Visual Analógica para Avaliar, Fadiga Gravidade (VAS-F); escala de Sonolência de *Karolinska* (KSS); Escala de *Samn Perelli* (SPS); Escala de Sonolência de *Epiworth* e Escala de Sonolência de *Stanford*. A pesquisa finaliza relatando que até aquele momento, os limites de prescrição foram adotados no Brasil seguindo normas, mas a avaliação e monitoramento da fadiga ainda estão em fase de estudo e estratégia de implementação, com vistas à implementação da abordagem FRMS.

O mesmo autor, Gomes de Carvalho, realizou outro estudo em 2021 [21], também em destaque na Figura 2.2, o qual define o gerenciamento de riscos como um processo contínuo que envolve o planejamento dos recursos humanos e materiais de uma organização, visando reduzir e/ou eliminar a ocorrência de determinados riscos, além de mitigar os efeitos

daqueles que podem acontecer. O trabalho trouxe como contribuição a proposição dos métodos *Delfhi* e das Redes Bayesianas na avaliação da influência da fadiga nas ocorrências de tráfego aéreo. Os resultados do estudo apontam que a complexidade da tarefa é o fator de maior destaque para fadiga e a consequente ocorrência de incidentes, seguida da existência de condições meteorológicas e da operação em setor operacional. A pesquisa mostrou contribuições importantes relacionadas a gestão de riscos e tomada de decisão.

O trabalho realizado por Xu *et. al.* (2021) [22], mostra que nos últimos anos, o número de incidentes de insegurança aérea causados por fatores relacionados a fadiga vem aumentando. Como um de seus componentes importantes, a escassez de controladores em aeroportos regionais também atraiu mais atenção. Neste trabalho, é proposto um modelo de escalonamento de controladores de tráfego baseado em fadiga. Um algoritmo genético foi usado para resolver o problema de escalonamento. O estudo de caso mostrou que a proposta de modelo atende às necessidades do aeroporto regional. Mostrou também benefícios relacionados a economia de custos com recursos humanos e redução da fadiga do ATCO.

Finalmente, destaca-se o estudo proposto por Hong (2016) [23], que examina pilotos em treinamento, a fim de determinar como os anos dos alunos de educação e as instituições que frequentam afetam suas percepções dos fatores de risco em aviação usando o modelo SHELL (*Software, Hardware, Environment and Liveware*). Por meio das percepções dos pilotos, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) combinadamente com a análise fatorial exploratória e modelagem de equações estruturais de mínimos quadrados parciais (PLS-SEM). Foi avaliado como os fatores de risco afetam os acidentes ou incidentes de acordo com a estrutura SHELL. A pesquisa incluiu 27 perguntas relacionadas ao modelo SHELL, e 2 duas relacionada a variáveis de resultado a fim de avaliar como as experiências de voo dos participantes e suas instituições afetaram as percepções dos alunos pilotos sobre acidentes e outros incidentes. A contribuição deste trabalho consiste na similaridade do método utilizado com essa pesquisa, realizado por meio da modelagem de equações estruturais de mínimos quadrados parciais, na construção do modelo conceitual e análise de hipóteses.

2.2 Análises *Co-occurrence*

Neste tipo de análise, a finalidade é construir uma medida de similaridade, com base nos conteúdos dos documentos [24].

Após esse processo de refinamento bibliográfico, aplicou-se essas informações no software *VOSviewer*, visando gerar a visualização de redes bibliométricas, conforme resultado

apresentado na Figura 2.3, onde é possível verificar os termos com maior ocorrência e relevância nos artigos relacionados.

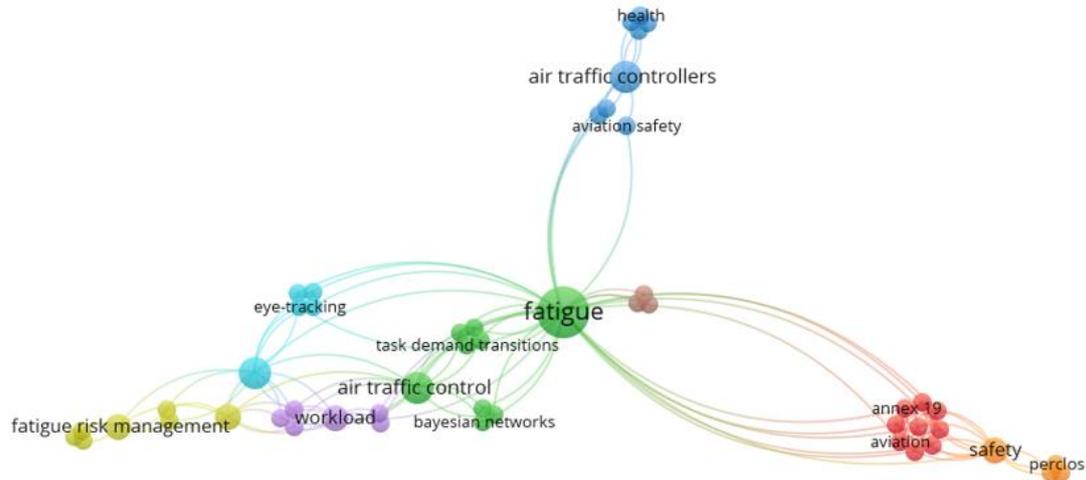


Figura 2.3: Rede Bibliométrica de termos mais recorrentes nos 15 artigos do resultado da pesquisa

Fonte: *Web of Science e Scopus*

As palavras-chave encontradas na rede bibliométrica apresentada na Figura 2.3 relaciona o termo principal “*Fatigue*”, com cinco *clusters* relevantes ao tema, representados principalmente por gerenciamento de risco de fadiga, carga de trabalho e controladores de tráfego aéreo.

No *cluster 1* (verde), termo que mais se destaca, cuja tradução é fadiga, consiste em um estado fisiológico em que o desempenho mental ou físico é reduzido, resultantes da perda de sono, de um longo período de vigília, do ciclo circadiano ou à intensa carga de trabalho, que pode impactar negativamente no estado de alerta de uma pessoa [25].

No *cluster 2* (azul), concentram-se os temas relacionados aos controladores de tráfego aéreo, que possuem tarefas complexas e exaustivas. Destaca-se entre os fatores estressantes durante os turnos de serviço, conflitos de tráfego entre aeronaves, pressão psicológica a partir do volume de tráfego, fadiga e urgência na resolução de problemas em um curto espaço de tempo [26].

No *cluster 3* (roxo) são explorados temas concernentes à carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo, com jornada de trabalho de 8 horas diárias e 156 horas mensais [27].

No *cluster 4* (amarelo) destacam-se assuntos referentes ao gerenciamento do risco da fadiga, que pode ser realizado por meio de duas abordagens: prescritiva, cujo cumprimento

é mandatório, e a segunda abordagem, que desenvolve e implementa um Sistema de Gerenciamento de Riscos à Fadiga (FRMS), que ainda é opcional, como dito anteriormente [9].

O *cluster 5* (vermelho) especifica algumas normas e regulamentos sobre aviação, como o Anexo 19 da ICAO, que trata da Gestão da Segurança Operacional, consolidando textos de outros anexos existentes sobre Segurança Operacional do Estado e Sistemas de Gerenciamento da Segurança Operacional, coletando dados importantes sobre segurança e atividades de supervisão da segurança operacional pelo Estado [28].

2.3 Análises de *co-citation*

Após um levantamento mais apurado da bibliografia, foi realizada a análise de *co-citation* e *bibliographic coupling*, mostrado na Figura 2.4. De acordo com Mariano e Rocha [17], a primeira análise verifica os artigos que tiveram suas citações regulares conjuntamente, podendo sugerir que haja semelhança entre os assuntos em estudo.

A partir dos metadados dos 15 artigos encontrados na base *Scopus* e *Web of Science* possibilitou-se a construção da rede de co-citação por meio de visualização de rede, conforme mostrado na Figura 2.4.



Figura 2.4: Rede de *Co-citation*
Fonte: *Web of Science* e *Scopus*

Verifica-se a partir da Figura 2.4, a formação de três principais clusters nas cores vermelho, azul e verde. Por meio das citações geradas, foi possível analisar os principais artigos de cada cluster com o objetivo de auxiliar na pesquisa e obter melhores conclusões a respeito do estudo.

O *cluster 1* (vermelho) concentra-se em estudos sobre *Machine-learning* para estimativa de carga de trabalho mental usando a atividade cerebral. O estudo realizado por Arico [29], testou uma metodologia em doze estagiários de Controle de Tráfego Aéreo, enquanto executavam diferentes cenários de Gerenciamento de Tráfego Aéreo (ATM) em três níveis de dificuldade diferentes.

Em relação ao *cluster 2* (azul) observa-se o foco no estudo dos efeitos da fadiga mental na atenção dos avaliados. Segundo Booksem [30], os tempos de reação, erros e alarmes

falsos aumentaram com o tempo na tarefa, indicando diminuição da eficiência do desempenho em sujeitos fatigados, resultando na redução da atenção direcionada a objetivos.

O *cluster 3* (verde) é focado nos fatores humanos que influenciam no tempo de vigília. Kamzar [31] propõe o uso de índices de carga de trabalho de eletroencefalográficos para monitoramento diagnóstico de diminuição da vigília.

2.4 Análises de *coupling*

Neste tipo de análise é contemplada uma métrica de busca, a qual utiliza como premissa o fato de que artigos que citam trabalhos iguais, possuem similaridade. Embora, as duas análises sejam próximas em significado, seus resultados são diferentes.

Deste modo, na análise de *coupling* pretende-se identificar os *fronts* de pesquisas mais relevantes e atuais [32], o qual revela os assuntos tendências para trabalhos futuros. Deste modo, tabulou-se esses artigos no *software VOSviewer*, mostrado na Figura 2.5.

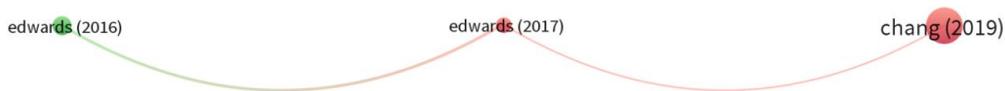


Figura 2.5: Análise de *Coupling* de referências

Fonte: *Web of Science* e *Scopus*

Destaca-se a partir da Figura 2.5, Edwards [33] como mais relevante e influente nesse tema. O autor propõe um estudo o qual utilizou uma simulação de controle de tráfego aéreo para investigar o efeito das transições de demanda de tarefas dinâmicas dos controladores de tráfego, e a direção dessas transições na carga de trabalho, fadiga e desempenho de eficiência.

Em 2016, Edwards [34] relata que os controladores de tráfego aéreo devem manter um nível consistentemente alto de desempenho humano para manter a segurança e a eficiência do voo. O autor diz ainda que, na ocasião da pesquisa, fatores que influenciam o desempenho, como carga de trabalho, fadiga e consciência da situação, podiam ocorrer simultaneamente e interagir para afetar o desempenho. No entanto, as influências multifatoriais e a associação com o desempenho deveriam ser melhor pesquisadas.

Já a pesquisa de Chang [8] utilizou a escala de fadiga *Samn-Perelli* para medir os níveis de fadiga dos controladores de tráfego aéreo em uma torre de controle de aeródromo internacional em Taiwan. Os resultados indicaram que houve diferenças significativas entre os turnos diurno/noturno e diversos horários de trabalho. Os resultados também revelaram a importância do horário das pausas e do tempo na tarefa na organização dos horários de trabalho. Esta pesquisa contribui significativamente para a segurança da aviação ao investigar os níveis de fadiga dos ATCOs nos turnos de trabalho atuais, auxiliando as autoridades aéreas a melhorar e ajustar os horários de turnos para reduzir os riscos relacionados à fadiga.

2.5 Análise crítica do capítulo

Este capítulo apresentou um levantamento do estado da arte, visando mostrar as principais análises envolvendo os temas mais relevantes, a fim de proporcionar um melhor entendimento sobre o contexto geral do trabalho. Percebeu-se que a fadiga como fator humano, tem relação direta na segurança operacional, que consiste em uma característica primordial do trabalho desses profissionais, com foco na prevenção de acidentes e na percepção técnica da segurança do voo.

Foi possível identificar diversas ferramentas que auxiliam no gerenciamento dos riscos da fadiga, por meio de escalas e questionários já validados por pesquisadores. No entanto, para a implementação da abordagem FRMS, essas ferramentas precisam estar associadas a um sistema computacional automatizado, com a experiência operacional dos ATCOs e com o avanço da ciência do sono e comportamental. Com isso, foi possível obter uma melhor compreensão sobre diferentes abordagens relacionadas à fadiga humana e ratificar as boas práticas para gerenciá-la, consonante às normas da ICAO.

Capítulo 3

Referencial Teórico

O presente capítulo apresenta uma revisão dos principais conceitos relacionados ao tema deste trabalho, tal como a fadiga humana e as formas de promover o seu gerenciamento, relacionando, por fim, os principais fatores que influenciam a fadiga.

3.1 Fadiga Humana

De acordo com a *Civil Aviation Safety Authority* [27], a fadiga humana na atividade aérea consiste em um estado fisiológico de diminuição acentuada do estado de alerta e da capacidade de realizar atividades físicas, as quais podem prejudicar a capacidade do piloto, tripulante ou controlador de voo de operar com segurança, sendo causado por um ou mais dos seguintes fatores: falta de sono de qualidade; vigília prolongada; fase circadiana desregulada; ou elevada carga de trabalho mental, ou de atividades físicas no período em questão [25].

Dentre os inúmeros conceitos de fadiga aplicados em contextos distintos, como psicologia, enfermagem, educação física, oncologia e outros, tem-se que a fadiga é considerada um fator de risco para o desempenho do voo e à segurança na aviação comercial e militar [35] e por esta razão, é necessário compreender como se desencadeia e como é gerida.

O gerenciamento da fadiga humana deve ser investigado, pois, cientistas acreditam que o sono humano, o ambiente de trabalho e os ritmos circadianos são fatores essenciais para a ocorrência da fadiga e, por isso, são necessárias providências por parte dos gestores de equipes para mantê-los em níveis adequados e evitar ao máximo a fadiga humana. Por isso, processos que visam o gerenciamento do risco de fadiga e a probabilidade que ele possa afetar negativamente a segurança operacional, devem propiciar ferramentas efetivas para avaliar o risco apresentado e programar contramedidas a fim de eliminar ou mitigar os riscos associados a eles [36].

Segundo a ICAO, a fadiga consiste em um estado fisiológico em que o desempenho mental ou físico é reduzido, resultantes da perda de sono, de um longo período de vigília, do ciclo circadiano ou à intensa carga de trabalho, que pode impactar negativamente no estado de alerta de uma pessoa. Para poder realizar o Gerenciamento do Risco à Fadiga Humana, consideram-se os seguintes tipos de fadiga, segundo os autores Kahneman [37], Warm [38] e Finomore [39]:

- **Fadiga Acumulativa ou Débito Acumulado de Sono (*Cumulative Sleep Debt*):** Condição ocasionada quando não existe tempo de sono suficiente entre vários períodos de fadiga aguda, não havendo a recuperação adequada entre eles. Com esse acúmulo de fadiga, o desempenho operacional e a sonolência objetiva são elevados significativamente. Por esta razão, as pessoas se tornam menos confiáveis na autoavaliação de seu nível de comprometimento;
- **Fadiga Aguda ou Transitória:** Consiste em dano acumulado durante um longo período de trabalho, a partir do qual a recuperação completa somente é possível no próximo período de descanso;
- **Fadiga Ativa:** É proveniente de tarefas contínuas e prolongadas relacionadas ao ajuste perceptivo-motor, que consiste no reconhecimento e interpretação de estímulos sensoriais somados a uma resposta em forma de movimento;
- **Fadiga Cognitiva:** Relaciona-se ao cansaço e ao esgotamento de ativos de processamento de informações, motivação reduzida, ou estresse;
- **Fadiga Crônica:** Consiste na presença de fadiga acumulativa constante por longo período;
- **Fadiga Circadiana:** Refere-se à redução do desempenho humano durante as horas noturnas de trabalho; e
- **Fadiga Passiva:** Ocorre em tarefas que exigem monitoramento com requisitos de resposta perceptuais-motores raros ou mesmo nulos.

A forma mais extrema de fadiga é o sono incontrollável, que pode fazer com que a pessoa adormeça contra sua vontade. O impacto da fadiga no desempenho operacional pode ser entendido como mostrado na Figura 3.1.

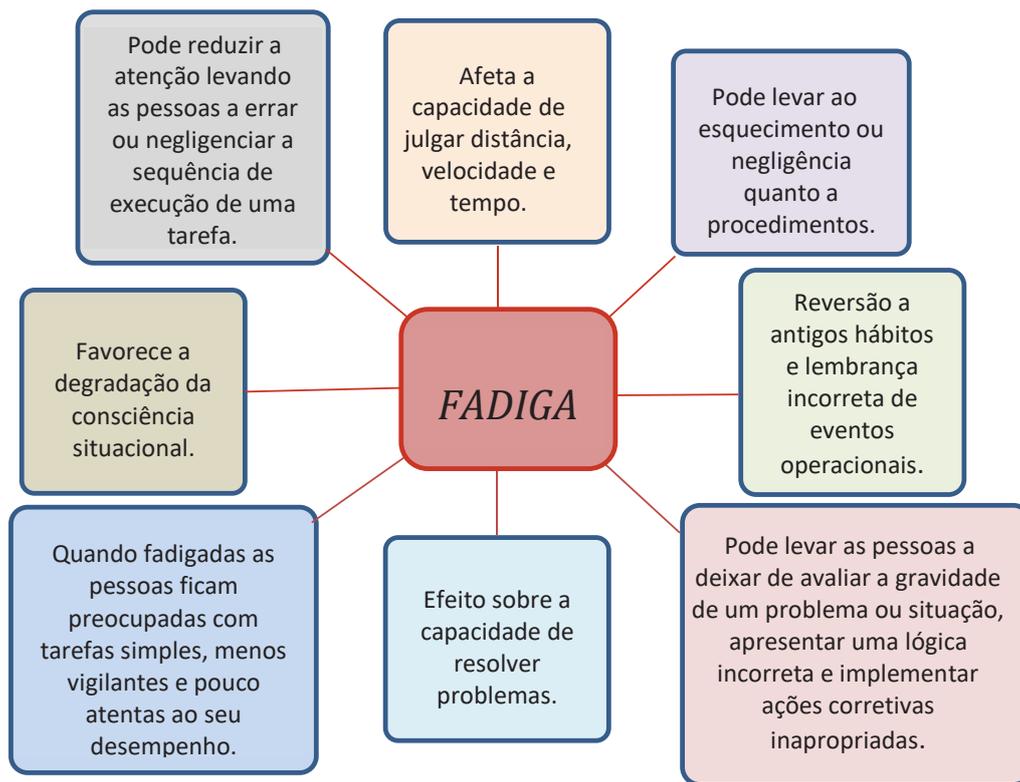


Figura 3.1: Impacto da Fadiga no Desempenho operacional
 Fonte: (BRASIL, 2020) [9]

A partir dos impactos mostrados na Figura 3.1, compreende-se que a fadiga afeta a capacidade do indivíduo em responder estímulos, incluindo os tempos de reações diminuídos ou que se tornam anormais. Além disso, existem dois fatores que podem contribuir para a fadiga humana: o contexto operacional e o organizacional. De acordo com a ICAO [7], as Tabelas 3.1 e 3.2 exemplificam e diferenciam cada contexto, respectivamente.

Tabela 3.1: Influência de Contexto Operacional na Fadiga Humana

Contexto Operacional	Elementos motivadores da Fadiga Humana
Condições do local de trabalho	Temperatura, ruído e disponibilidade de alimentos e água
Localização geográfica	Distância dos grandes centros (localização remota)
Carga de trabalho	Volume de tráfego e intensidade das tarefas
Operações Imprevistas	Frequência de sobreavisos e a probabilidade de ser acionado
Interação com os outros profissionais de aviação	A necessidade de se comunicar com os pilotos em um idioma diferente do seu.
Níveis de experiência profissional	ATCOs experientes podem precisar apoiar e supervisionar pessoal inexperiente, aumentando a carga de trabalho
Configurações do efetivo operacional	A capacidade do Órgão ATC de oferecer oportunidades adequadas de recuperação do sono e preparação, para evitar a fadiga acumulativa.

Fonte: ICAO (2016) [7]

Tabela 3.2: Influência de Contexto Organizacional na Fadiga Humana

Contexto Organizacional	Elementos motivadores da Fadiga Humana
Estabilidade na carreira	Pressões comerciais
Estrutura de gerenciamento da fadiga	O gerenciamento da fadiga está inserido nas atividades diárias de gerenciamento de riscos
Comportamento em reportar aspectos de segurança	Facilidade de notificação de perigos relacionados à fadiga humana
Quantitativo de controladores de tráfego aéreo	Se for insuficiente, as escalas ficarão sobrecarregadas, e implicará na falta de oportunidades adequadas de recuperação por meio do sono, podendo causar fadiga acumulativa

Fonte: ICAO (2016) [7]

As Tabelas 3.1 e 3.2 identificam as diversas áreas em que o conhecimento desses contextos operacionais e organizacionais fornece ao provedor do serviço, a compreensão necessária para a tomada de decisão relacionada à fadiga.

Diante desse cenário de extrema complexidade, faz-se necessário prover um gerenciamento de riscos relacionados à fadiga, detalhado na Seção 5.5.2.

3.2 Gerenciamento de Riscos da Fadiga Humana (FH) para Órgãos ATC

Desde o ano de 1984 até 2017, o gerenciamento da fadiga humana era baseado na limitação da quantidade total de horas trabalhadas, e em ferramentas de proteção como o redutor noturno, que reduzia os impactos fisiológicos causados pelos turnos de trabalho em regime de escala vinte e quatro horas [40].

A partir da promulgação da nova Lei dos Aeronautas, n.º 13.475, aprovada em agosto de 2017, estabeleceram-se critérios para o gerenciamento da fadiga humana, em conformidade com o Anexo 6 da ICAO [41]. Para atender essa lei, criou-se o RBAC n.º 117, intitulado Requisitos para Gerenciamento de Risco de Fadiga Humana, como complemento à lei, que possibilitou aos operadores, de forma inovadora, desenvolverem novas propostas com base no desempenho.

Como citado na Seção 1.4, o gerenciamento do risco da fadiga humana pode ser realizado por meio de duas abordagens: a primeira, é a prescritiva e a segunda, FRMS -

(*Fatigue Risk Management System*), que consiste no Sistema de Gerenciamento de Riscos à Fadiga. Na abordagem prescritiva, o Provedor de Serviço de Tráfego Aéreo deve cumprir os limites prescritivos máximos e mínimos de horários de trabalho e de não trabalho estabelecidos e gerenciar os riscos à fadiga por meio da estrutura do *Safety Management System* (SMS) já utilizados para gerenciar outros tipos de perigos. Conforme estabelecido pela ICAO, na segunda abordagem, deverá ser desenvolvido e implementado um FRMS. Atualmente, como dito anteriormente, esse sistema ainda não está implantado no Brasil e, tão logo seja necessário implementar em algum Órgão Operacional ou empresa do setor aéreo, deverá ser submetido à aprovação do DECEA. Enquanto, a primeira abordagem é de cumprimento mandatório, a outra é opcional [42]. Ressalta-se que ambas abordagens foram definidas pela ICAO, cujos princípios e técnicas de navegação aérea internacional aplicam-se aos 191 países-membros, incluindo o Brasil.

Para um processo efetivo de gerenciamento do risco à fadiga, os Prestadores dos Serviços de Navegação Aérea (PSNA) são os responsáveis por desenvolver e manter documentados os processos de identificação de perigos, avaliação e mitigação [42], como mostrado na Figura 3.2.

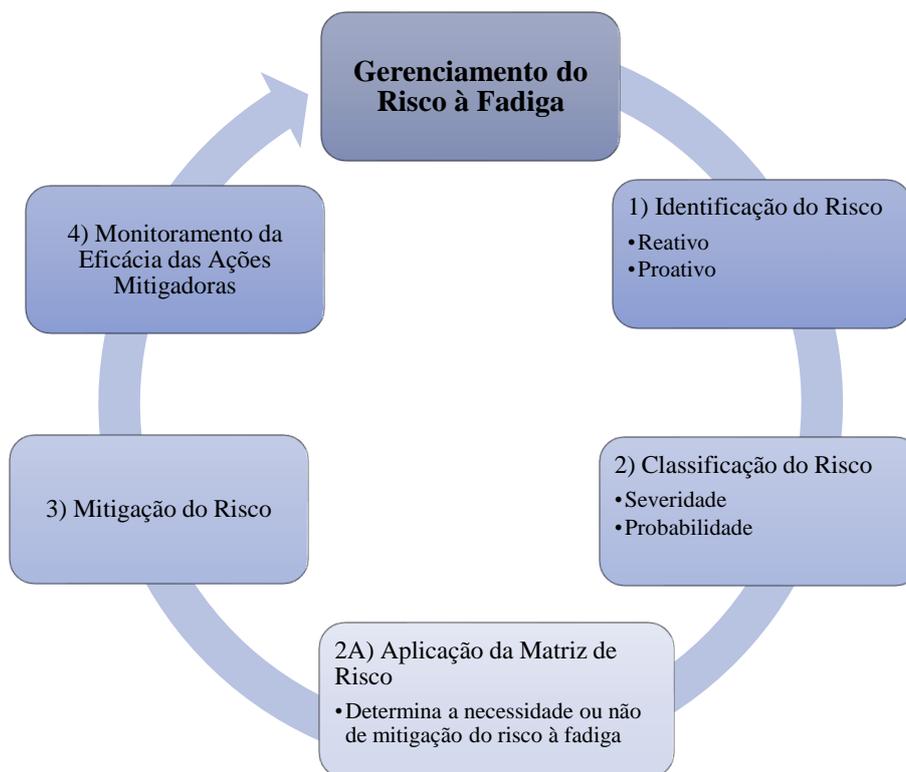


Figura 3.2: Gerenciamento de Riscos à Fadiga

Fonte: Adaptado de ICAO (2016) [7]

A Figura 3.2 mostra o processo de gerenciamento do risco à fadiga, na abordagem prescritiva, por meio do *Safety Management System* (SMS), que ocorre em quatro etapas [9]:

1. **Identificação do Risco:** consiste no ponto inicial do gerenciamento de riscos. Identifica-se a fadiga humana como um perigo, em razão do trabalho ser realizado em turnos. Existem meios de identificação, de acordo com a complexidade operacional do órgão e da maturidade dos processos SMS. Um órgão de pequeno porte pode identificar a fadiga por meio de reuniões com o Comitê de Segurança ou com um grupo que possua experiência operacional adequada. Órgãos operacionais de grande porte deverão utilizar das ferramentas de vistoria, inspeções de segurança operacional e alimentação do banco de dados de fadiga, por meio de relatórios, como o Reporte Voluntário de Fadiga (RVF), Relatório de Prevenção (RELPREV) e Reporte de Indício de Fadiga Pós-ocorrência de Tráfego Aéreo (RIF), utilizado pós-ocorrência de tráfego aéreo. Além disso, essa identificação ocorre por meio de processo reativo ou proativo.

Processo Reativo: identifica como os perigos relacionados à fadiga podem contribuir com a investigação pós-ocorrência de tráfego aéreo, objetivando determinar como as causas e impactos da fadiga poderia ter sido minimizado. São considerados processos reativos: o Reporte de Indício de Fadiga (RIF), perguntas de triagem de fadiga e a Investigação da Fadiga propriamente dita nos incidentes de tráfego aéreo.

Processo Proativo: visa apoiar a identificação dos perigos relacionados à fadiga e suas possíveis maneiras de mitigação, antes que o risco ocorra, ou seja, consiste em uma forma de prevenção de ocorrências de tráfego aéreo. Considera-se nesse processo o Reporte Voluntário de Fadiga (RVF) e Relatório de Prevenção (RELPREV).

2. **Classificação do Risco:** é realizada por meio de metodologia definida frente às situações operacionais. Após a identificação do perigo de fadiga é avaliado o nível de risco que ela representa em termos de severidade e probabilidade das ocorrências, classificando-a por meio da matriz de risco. De acordo com o resultado da classificação do risco é tomada a decisão de mitigar ou não esse risco. Os procedimentos de avaliação de riscos necessitam rever os perigos identificados relativos à fadiga e relacioná-los com: o contexto operacional, a sua probabilidade, as possíveis consequências, a eficácia dos controles preventivos existentes, e com as medidas de recuperação.

Aplicação da Matriz de Risco: conhecida como matriz de probabilidade e impacto, é uma ferramenta de gestão utilizada para identificar e dimensionar os

riscos e viabilizar medidas de prevenção ou controle. Esse tipo de matriz permite averiguar quais são os riscos que devem receber mais atenção, por meio da avaliação da probabilidade de ocorrência do risco e severidade do seu impacto. Além disso, auxilia na decisão sobre investir ou não em recursos relacionados à mitigação do risco. A Figura 3.3 mostra um exemplo de Matriz de Risco.

Probabilidade do Risco	Severidade do Risco						
	Catastrófico A	Acidente	Crítico B	Significativo C	Pequeno D	Insignificante E	
Frequente 5	5A		Grande redução das margens de segurança	5B	5C	Redução significativa das margens de segurança	5D
Ocasional 4	4A	4B		4C	4D		4E
Remoto 3	3A	3B		3C	3D	3E	
Improvável 2	2A	2B		2C	2D	2E	
Extremamente improvável 1	1A	1B		1C	1D	1E	

Figura 3.3: Matriz de Avaliação do Risco à Segurança Operacional

Fonte: (BRASIL, 2020)

Ao utilizar a matriz da Figura 3.3, espera-se a customização das categorias de probabilidade e severidade, ou seja, o Prestador dos Serviços de Navegação Aérea (PSNA) poderá realizar adaptações necessárias na matriz conforme as necessidades operacionais do órgão. Apesar de a sua utilização ser útil preliminarmente, essa ferramenta apresenta mais eficiência ao processo de avaliação quando associada a outra, em razão do desempenho operacional, quando afetado pela fadiga, ser catastrófico. Por este motivo, diferentes classificações podem ser necessárias. Um método utilizado para classificar o risco é o nível de percepção da fadiga *Samn Perelli*, como mostrado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Nível de Percepção da Fadiga - *Samn-Perelli*

Avaliação de <i>Samn-Perelli</i>	Significado	Valor
7	Completamente exausto; incapaz de trabalhar efetivamente	A
6	Muito cansado; com dificuldade de concentração	B
5	Moderadamente cansado; enfraquecido (desanimado, para baixo, com pouca energia)	C
4	Um pouco cansado; não totalmente disposto	D
3	Bem; relativamente revigorado	E
2	Muito ativo; responsivo (reagindo rápida e positivamente), mas não ao nível máximo	E
1	Totalmente alerta; bem desperto; extremamente disposto	E

Fonte: Samn e Perelli (1982) [43]

A Tabela 3.3, também chamada *Samn-Perelli Crew Status Check* é utilizada para medir fadiga subjetiva. Os valores de (A - E) correlacionam-se à Tabela 3.4, de Probabilidade de Risco, proposta também pelos autores Van Den Berg *et al.* (2015) [44].

Tabela 3.4: Classificação da Probabilidade de Ocorrência de Fadiga

Probabilidade	Significado	Valor
Frequente	Esperado acontecer muitas vezes (aconteceu frequentemente)	5
Ocasional	Esperado acontecer às vezes (aconteceu com pouca frequência)	4
Remoto	Improvável, porém possível que aconteça (aconteceu raramente)	3
Improvável	Muito Improvável que aconteça (não se tem conhecimento de que tenha acontecido)	2
Extremamente Improvável	Quase inconcebível que aconteça	1

Fonte: Samn e Perelli (1982) [43]

Desta maneira, o resultado da Matriz de Risco determina a necessidade ou não de mitigação do risco à fadiga.

3. Mitigação do Risco:

Essa etapa consiste na apresentação de um plano de ação, no qual serão implantados novos processos operacionais, códigos de ética e conduta, e também o controle e segurança total das informações.

Vale ressaltar que quaisquer que sejam as decisões tomadas no plano de ação, todo o processo deve ser documentado, pois ele poderá ser usado como base em futuras gestões do órgão ou reavaliado quando necessário.

Ainda que o Prestador do Serviço de Navegação Aérea trabalhe dentro dos limites prescritivos, essa etapa poderá ser realizada. Se necessário, os horários de trabalho são limitados e as folgas são estabelecidas. Pode-se citar, ainda, outras maneiras de mitigação do risco de fadiga, como o cochilo controlado, a garantia da proteção do sono controlado nos períodos de não trabalho, repouso e descanso, e com o aumento do efetivo operacional.

4. Monitoramento da Eficácia das Ações Mitigadoras:

Tão importante quanto liberar as mitigações é ponderar se elas estão realmente atingindo seus objetivos originais. Deverá ser verificado se os efeitos do plano de ação produzem realmente resultados na prática. Os principais preceitos para monitorar

a eficácia das ações de mitigação são os *Safety Performance Indicators* - Indicadores de Desempenho de Segurança (SPI), que consistem em avaliações subjetivas de alerta/sonolência e avaliações objetivas de tempo de reação. Algumas métricas utilizadas na criação desses indicadores, a fim de averiguar a eficácia das ações mitigadoras, são [9]:

- taxa de trabalho realizado em cada turno;
- soma e média de horas de serviços operacionais por mês;
- soma e média de horas trabalhadas por mês; e
- quantidade mínima de folgas por mês e taxa de todos os períodos de folga.

Assim como em todo processo de gerenciamento de risco, o início se dá por meio da identificação de perigos. Sendo a fadiga um perigo identificado, deverá ser analisada de maneira a ser devidamente gerenciada. Identificados os perigos por meio de processo reativo ou proativo, precisa-se averiguar quais são os fatores que influenciam na fadiga. Cabe ressaltar que os responsáveis pela identificação do perigo, classificação dos riscos e demais etapas mostradas na Figura 3.2, são os analistas da Seção de Fatores Humanos e psicólogos. Ademais, a Seção de Investigação e Prevenção de Acidentes/Incidentes do Controle do Espaço Aéreo (SIPACEA) é a responsável por iniciar as investigações relacionadas à Fadiga, como mostrará a Seção 3.3.

3.3 Fatores que influenciam a Fadiga Humana (FH)

A interação combinada dos ritmos circadianos, estado de alerta, sonolência e efeitos do sono, contribuem para o estado de fadiga, conforme estudos realizados por Novak *et al.* (2020) [45].

O estado de alerta pode variar conforme a hora do dia, em decorrência das influências sofridas pelo mecanismo circadiano, como exemplificado na Figura 3.4.

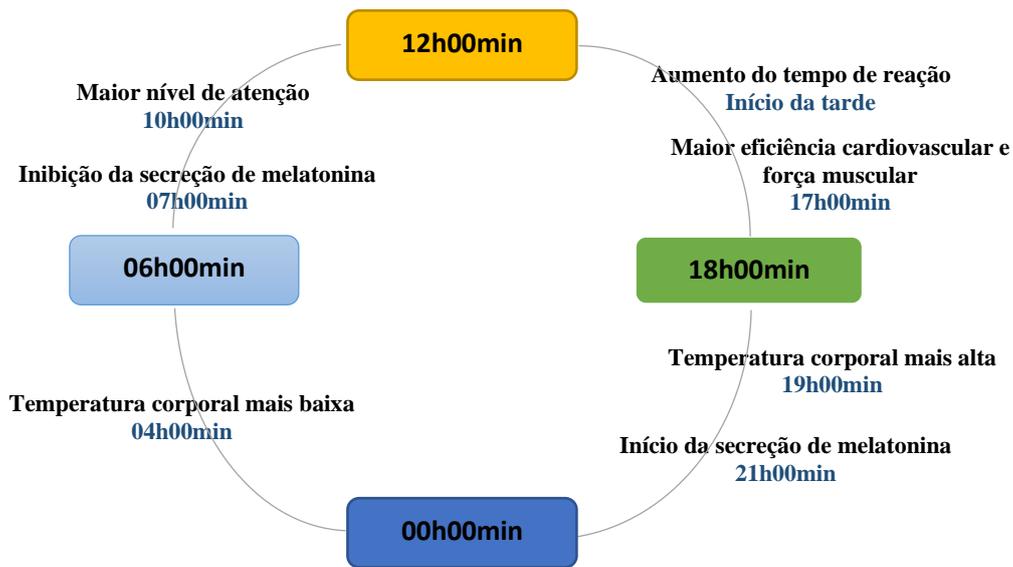


Figura 3.4: Ciclos circadianos
 Fonte: Adaptado de CNFH (2017) [46]

A Figura 3.4 demonstra como o relógio biológico reproduz os efeitos de sonolência conforme momentos específicos do dia, independente das tarefas que estejam sendo realizadas. Em alguns períodos do dia, o estado de alerta poderá sofrer mais ou menos efeitos. Esse estado pode ser influenciado por outros fatores, como mostra a Figura 3.5.



Figura 3.5: Condicionantes do Estado de Alerta
 Fonte: CNFH (2017) [46]

A Figura 3.5 mostra as diversas maneiras de como ocorre a promoção do estado de alerta: atividades musculares podem ser representadas por caminhadas ou corridas, alongamento ou até mesmo atividade mandibular quando algo é mastigado na boca. Os cochilos controlados são considerados uma estratégia para controle desse estado de alerta. O efeito da luz pode reduzir a sonolência, assim como o ar frio e seco pode elevar o estado de alerta. Em contrapartida, o calor pode induzir a sonolência. Aromas, por exemplo, o de menta, podem provocar um estado de alerta.

Além disso, como consequência, a condição da fadiga pode interferir no desempenho operacional e elevar a probabilidade de risco de ocorrências, em razão da falta de sono acumulado, longo período acordado e alta carga de trabalho [47]. A fadiga possui um processo evolutivo composto de três fases:

Cansaço: caracterizado pela debilidade de desempenho leve ou moderada, acumulada que pode ser mensurada no período de um dia de atividade (diurna ou noturna), sendo possível sua recuperação total durante o período de sono subsequente.

Fadiga acumulada: consiste no cansaço acumulado, em razão de dias consecutivos de trabalho, sem que o organismo possa se recuperar devido à falta de sono.

Fadiga crônica: nesta fase, o débito cumulativo de sono se intensifica, a fragilidade no desempenho e a sonolência aumentam progressivamente e o indivíduo tende a ficar menos confiável quanto à avaliação do seu nível de debilidade.

Além disso, pode-se ainda, apresentar os sintomas de estresse e síndrome do esgotamento, também conhecida como síndrome de *Burnout*, a qual se relaciona com a fadiga crônica e acomete profissionais da saúde, da segurança e o controlador de tráfego aéreo, que compõe o grupo de risco em razão da complexidade da natureza das atividades que desempenham [48].

Existem, ainda, outros distúrbios do sono, tais como apneia do sono, insônia, bruxismo, síndrome das pernas inquietas, entre outros, que agravam as fases da fadiga e exigem tratamentos específicos para recuperação [45].

Tendo em vista os fatores supramencionados, alinhados ao objetivo geral deste trabalho, pretende-se levantar os principais sistemas e ferramentas existentes, com a finalidade prover o gerenciamento dos riscos relacionados à fadiga. A Seção 3.4 apontará os detalhes encontrados.

3.4 Levantamento dos principais sistemas e ferramentas de Gerenciamento da Fadiga existentes

Os principais sistemas computacionais e ferramentas encontrados na literatura são utilizados para mensuração da fadiga em indivíduos submetidos a trabalhos em turnos

com horários alternados. Tais sistemas podem ser subjetivos (baseados em históricos ou percepções individuais) ou objetivos (orientado a partir de testes de desempenhos e monitoramento fisiológico) [9]. Geralmente, são divididos em duas fases: a primeira contendo a amostra total de operadores e a segunda, com uma amostragem parcial. Os métodos utilizados para a primeira fase de Identificação de risco são embasados nos seguintes questionários utilizados na fase de identificação do perigo:

- **Questionário de Trabalho em Turnos Alternados:** Adaptado do “*Survey of ShiftWorkers*” elaborado por Folkard [49]. A finalidade de tal questionário é coletar os dados sobre a rotina de sono e vigília particularizadamente. Desta maneira, é possível identificar e compreender os efeitos psicofisiológicos (físicos e mentais) que podem impactar aqueles que trabalham em turnos alternados;
- **Escala de avaliação de Fadiga:** Adaptada do *Fatigue Assessment Scale* (FAS), de Michielsen *et al.* [50], consiste em um questionário de simples preenchimento, contendo dez itens individualizados, que avalia a fadiga física e mental. Por meio de cinco categorias de resposta, a ferramenta avalia a frequência de sintomas relacionados à fadiga; e
- **Escala de Sonolência de *Epworth*:** Criada em 1991 por Johns MW [51], foi apresentada por meio da observação da natureza e da incidência de sonolência diurna. É utilizada para mensurar o impacto da sonolência em oito situações da vida cotidiana, bem como a sensação de sonolência excessiva.

Para a segunda fase, essas ferramentas são sugeridas para classificação, mitigação e monitoramento dos riscos:

- ***The Karolinska Sleepiness Scale* (KSS):** Ferramenta de autoria de Shahid *et al.* [52], baseia-se na classificação individual de como as pessoas se sentem em relação ao sono no momento da aplicação. Como resultado, é possível estabelecer diferentes níveis de sonolência, considerando a quantidade e a qualidade do sono, além de sintomas relacionados à fadiga e problemas de saúde que possam interferir no sono;
- ***The Samn-Perelli Crew Status Check*:** Destinada a avaliar o nível de fadiga no momento da aplicação do teste. Os autores Samn e Perelli (1982) realizaram um estudo cujos objetivos foram monitorar a fadiga, o sono e o desempenho da tripulação de cabine em uma viagem de alcance ultralongo (ULR) e avaliar a adequação da aplicação de métodos de coleta de dados desenvolvidos para a tripulação de voo às operações da tripulação de cabine sob um sistema de gerenciamento de risco de fadiga (FRMS) [43];

- **NASA TLX (*Task Load Index*)**: trata-se de uma avaliação multidimensional subjetiva utilizada na fase de classificação do risco relacionada à carga de trabalho percebida. Avalia-se a eficácia de uma tarefa, de um sistema, de uma equipe ou de outros aspectos do desempenho [53];
- **PVT (*Psychomotor Vigilance Task*)**: proposto por Drummond [54] na década de 90, foi utilizado em pesquisas que analisam a privação do sono, fornece uma forma monitorar as mudanças no estado de alerta comportamental causadas por sono insuficiente. Utilizada na fase de monitoramento da eficácia das ações mitigadoras, objetiva-se com essa ferramenta mensurar a atenção sustentada e quantificar numericamente a sonolência, somando a quantidade de lapsos de atenção do indivíduo estudado;
- **Stanford Sleepiness Scale (*SSS*)**: escala de autoavaliação desenvolvida por Hoddes *et. al.* (1973) [55] usada para quantificar os passos progressivos da sonolência. O estudo investigou se o SSS tem validação cruzada com o desempenho em tarefas mentais e se demonstra alterações na sonolência com a perda de sono; e
- **FAST (*Fatigue Avoidance Scheduling Tool*)**: este *software* de prevenção da fadiga foi projetado para avaliar e prever mudanças de desempenho induzidas por restrições de sono, conforme a hora do dia. De fato, foi o único sistema computacional encontrado na literatura, utilizado nas fases de mitigação e monitoramento do risco. O desenvolvimento dessa ferramenta foi baseado em cálculos do modelo *Sleep, Activity, Fatigue and Task Effectiveness* (SAFTE), que se traduz em Sono, Atividade, Fadiga e Efetividade em tarefa, proposto por Hursh [56].

Os métodos e ferramentas mostrados poderão ser utilizados como base na implementação do gerenciamento de riscos na abordagem FRMS. Embora, seja um processo muito mais complexo que no método prescritivo, faz-se necessário entender os processos envolvidos nessa categoria de abordagem. De acordo com Gander *et. al.* (2017) [57], o núcleo de um FRMS deve ser entendido como um processo de circuito fechado, consistindo em:

- Monitoramento contínuo dos níveis de fadiga;
- Identificação de situações em que a fadiga pode constituir perigo;
- Avaliação de risco; e
- Introdução de mitigações e estratégias de monitoramento da eficácia das ações de mitigação, quando necessário.

Diversas estratégias defensivas podem ser incorporadas e adaptadas ao local de trabalho, ao nível de fadiga do operador e ao risco de segurança associado. Isso permite um

gerenciamento de segurança mais robusto do que as realizadas pela abordagem prescritiva, a qual se baseia na observação dos limites de horas de trabalho máximas e pausas mínimas para descanso. Com o avanço da ciência do sono e do comportamento, e na ciência da segurança, o conceito para implementar o FRMS vem evoluindo rapidamente no setor de transporte, especialmente na aviação. Essa evolução leva a uma melhor compreensão das causas do erro humano e seu papel na etiologia dos acidentes, e a melhorias, na prática de avaliação e gerenciamento de riscos. Nesse sentido, os conceitos centrais do FRMS são:

- A capacidade funcional humana é variável, tanto entre indivíduos quanto na mesma pessoa ao longo do tempo;
- Parte dessa variabilidade é previsível a partir do histórico de sono anterior e da fase do marcapasso circadiano;
- Para manter a segurança, são necessários sistemas para monitorar e mitigar os níveis de fadiga em tempo real, tanto o nível de comprometimento relacionado à fadiga, quanto suas possíveis consequências.

A partir dessas informações, é possível comparar as ferramentas e sistemas encontrados na literatura, mostradas nesta Seção. Objetiva-se, com isso, embasar e justificar as funcionalidades exigidas para implementação de um FRMS. O Quadro representado pela Figura 3.6 apresenta um resumo dos principais sistemas e ferramentas encontrados na literatura.

Sistema/Ferramenta	Funcionalidades	Etapa do Gerenciamento de Risco	Validado pela ICAO
Questionário de Trabalho em Turnos Alternados	Coleta os dados sobre a rotina de sono e vigília de forma particularizada.	Identificação	Não
Escala de avaliação de Fadiga	Avalia a fadiga física e mental.	Avaliação	Não
Escala de Sonolência de <i>Epworth</i>	Mensura o impacto da sonolência em oito situações da vida cotidiana, bem como a sensação de sonolência excessiva.	Avaliação	Não
<i>The Karolinska Sleepiness Scale (KSS)</i>	Estabelece diferentes níveis de sonolência, levando em consideração a quantidade e a qualidade do sono, além sintomas relacionados à fadiga e problemas de saúde que possam interferir no sono	Análise	Sim
<i>The Samn-Perelli Crew Status Check</i>	Avalia o nível de fadiga no momento da aplicação do teste.	Avaliação	Sim
NASA TLX (<i>Task Load Index</i>)	Classifica o risco relacionado à carga de trabalho percebida, por meio de uma avaliação multidimensional subjetiva.	Análise	Não
<i>Psychomotor Vigilance Task (PVT)</i>	Analisa a privação do sono e fornece uma forma de monitorar as mudanças no estado de alerta comportamental causadas por sono insuficiente.	Monitoramento	Não
<i>Stanford Sleepiness Scale (SSS)</i>	Quantifica os passos progressivos da sonolência.	Identificação	Sim
<i>Fatigue Avoidance Scheduling Tool (FAST)</i>	Avalia e prevê mudanças de desempenho induzidas por restrições de sono, de acordo com a hora do dia.	Avaliação e monitoramento	Não

Figura 3.6: Comparativo entre Sistemas/ferramentas de Gerenciamento de Riscos à Fadiga e suas Funcionalidades

Das ferramentas apresentadas na Figura 3.6, aquelas validadas e sugeridas pela ICAO para avaliar o estado subjetivo de alerta e sonolência são: *The Karolinska Sleepiness Scale (KSS)*, *Samn-Perelli Scale* e *Stanford Sleepiness Scale (SSS)* [9].

Ainda de acordo com a ICAO, para a implementação desses conceitos na abordagem FRMS, necessita-se desenvolver um Banco de Dados de Fadiga em um sistema computacional automatizado. Esse Banco de Dados visa armazenar os dados coletados por meio dos processos de gerenciamento de riscos, na abordagem prescritiva, a fim de identificar as tendências relacionadas à fadiga. Em suma, pode-se entender que os processos operacionais que contemplam o FRMS são constituídos da combinação dos processos de Gerenciamento do Risco à Fadiga (GRF) e dos processos de Garantia da Segurança Operacional (GSO), como demonstrado pela Figura 3.7.

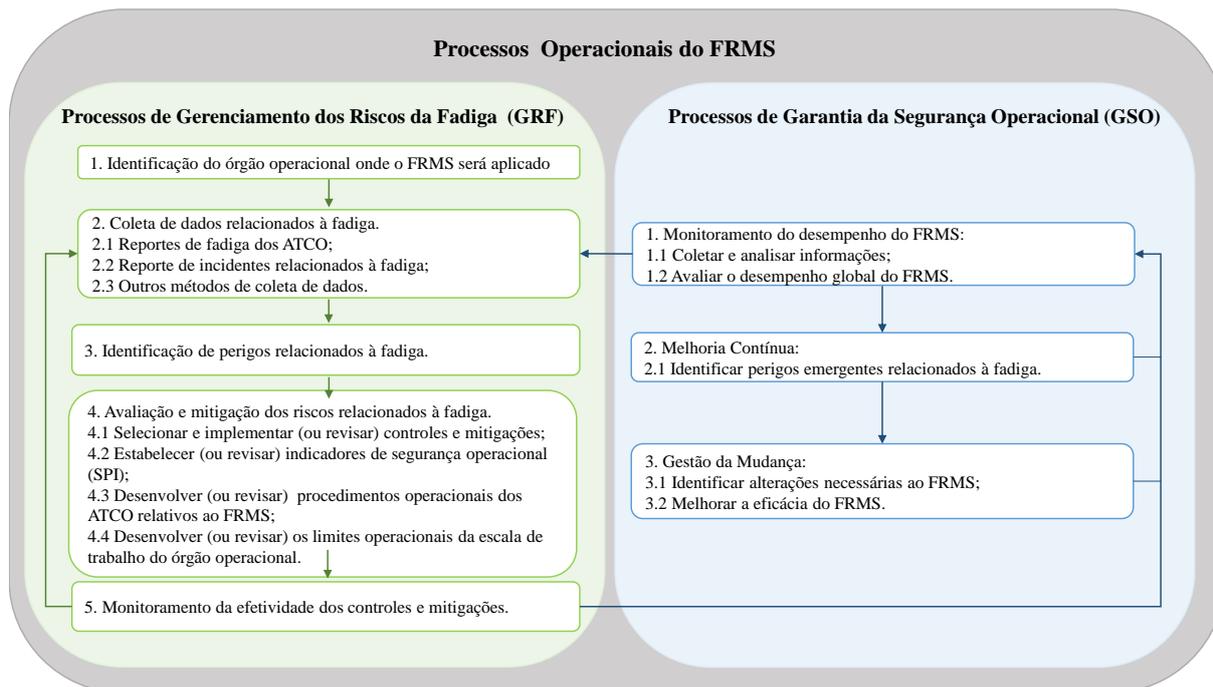


Figura 3.7: Processos Operacionais do FRMS

Fonte: Adaptado de ANAC (2019) [58]

A partir da Figura 3.7, é possível observar que a eficácia das ações mitigatórias é capturada nos dados de fadiga monitorados continuamente, de maneira que os processos constituam um ciclo fechado.

A Seção 3.5 mostrará as funcionalidades do *software* FAST, citado na Figura 3.6, a fim de exemplificar suas contribuições para esse estudo.

3.5 Exemplo de aplicação da Ferramenta FAST

Pesquisou-se na literatura sistemas específicos para controle da fadiga humana a fim de exemplificar e contribuir com este trabalho. Encontrou-se um *software* de modelagem, chamado *Fatigue Avoidance Scheduling Tool* (FAST). A ferramenta é utilizada para prever o tempo de reação humana, a probabilidade de julgamento e prevenir o risco de fadiga. Foi amplamente validada como um preditor preciso do risco de acidente relacionado à fadiga, pelo Departamento de Transportes dos EUA, por meio da *United States Air Force* (USAF), o qual baseou-se no algoritmo do modelo *Sleep, Activity, Fatigue and Task Effectiveness* (SAFTE) [56]. O modelo proposto prevê a efetividade de desempenho do indivíduo ao longo das horas do dia, por meio de uma medida de velocidade cognitiva, como mostrado na Figura 3.8.

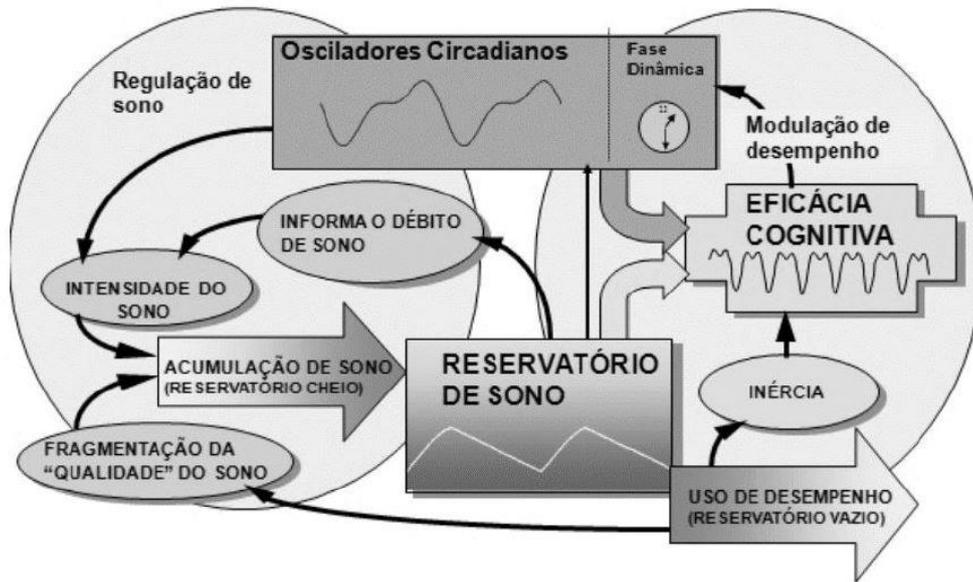


Figura 3.8: Diagrama SAFTE

Fonte: Hursh (2004) [56]

De acordo com a pesquisa realizada por Hursh [56], o processo circadiano atua no desempenho e na regulação do sono. O modelo mostrado na Figura 3.8 relaciona a regulação do sono, baseado nas horas de sono, horas de vigília, do débito atual de sono, do processo circadiano e da fragmentação do sono, determinado a partir do momento em que o indivíduo desperta do ciclo de sono.

Desta maneira, foi proposto nessa pesquisa a adaptação desse modelo sugerido por Hursh [59], que apresentasse a probabilidade relativa de acidentes ocasionados por falhas humanas. Para isso, adotou-se três intervalos de eficiência (E_{sf}) para classificar a probabilidade relativa de fadiga dos ATCOs:

- probabilidade baixa: $E_{sf} > 90\%$;
- probabilidade moderada: $77\% < E_{sf} \leq 90\%$;
- probabilidade alta: $E_{sf} \leq 65\%$

Atualmente, a ferramenta é utilizada também pela *Federal Aviation Administration* (FAA) e algumas empresas aéreas espalhadas pelo mundo, deixando de ser uma exclusividade da USAF. Devido ao fácil manuseio da ferramenta e a obtenção de resultados eficazes, ela poderá ser facilmente empregada no planejamento das escalas operacionais dos controladores de tráfego aéreo e, desta forma, será possível investigar erros, acidentes e incidentes relacionados à fadiga, conforme exemplo mostrado na Figura 3.9.

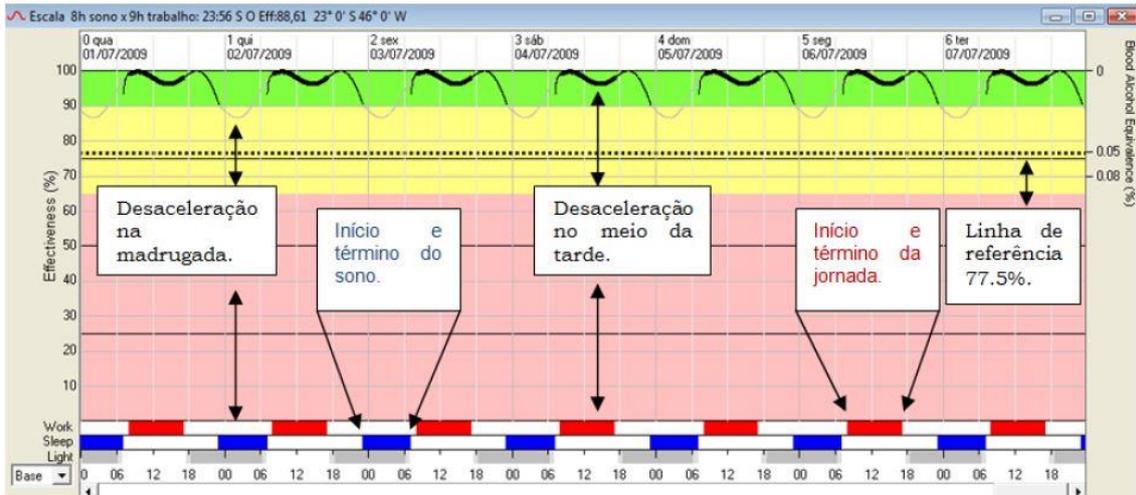


Figura 3.9: Efetividade de uma pessoa que trabalha 9h por dia e dorme 8h

Fonte: Adaptado de Licati [60]

O gráfico da efetividade gerado pela ferramenta, ilustrado na Figura 3.9, exemplifica o desempenho no trabalho, destacado na cor preta. O nível geral deste desempenho varia conforme o nível do reservatório de sono. O ritmo circadiano de desempenho (24 horas) resulta em uma queda abrupta do desempenho no período da madrugada, e leve redução no período vespertino [60].

Para o cálculo da probabilidade relativa de acidentes causados por falhas humanas, assume-se que ela é inversamente proporcional à eficiência (E_{sf}) (3.1), encontrada pelo *software*. Sejam as equações:

$$P_{fh}(E_{sf}) = \frac{b}{E_{sf}} \quad (3.1)$$

$$P_{fh}(E_{sf}) = \frac{b}{E_f} \quad (3.2)$$

$$P(X^2 > 4,89) = 43\% \quad (3.3)$$

$$P_{fh}(1) = 0,796 \quad (3.4)$$

$$P_{fh}(0,77) = 1,034 \quad (3.5)$$

onde as variáveis probabilidade e eficiência são relacionadas por meio de um único parâmetro (b). Desse modo, os ATCOs poderão ser monitorados durante um período de 30 dias. Realizando o ajuste da equação 3.2, com $b = 0,796 \pm 0,030$, $X^2 = 4,89$, grau

de liberdade =5 e a equação 3.3 pelo método dos mínimos quadrados, considerando (E_{sf}) em unidades decimais [61].

A partir dessa análise, verificou-se que a probabilidade relativa de acidentes aumenta aproximadamente 30% quando comparado com a eficiência de 100%, resultando na equação 3.4, e com 77%, na equação 3.5.

O resultado obtido a partir do modelo biomatemático SAFTE-FAST, e a escolha dessa ferramenta se deu em razão dos critérios técnicos e da boa capacidade preditiva do *software* em relação aos dados objetivos de *Psychomotor Vigilance Test* (PVT) terem sido eficazes no controle da fadiga de pilotos americanos, e por esta razão, propõe-se adaptá-lo aos ATCOs [61].

Com base nesses resultados, a ferramenta FAST poderá contribuir com esta pesquisa, pois ao possibilitar a geração de previsões gráficas do desempenho relacionado à fadiga dos ATCOs, serão produzidas tabelas de pontuações de eficácia estimadas para comparação objetiva. A ferramenta também pode ser usada para análise retrospectiva de fatores relacionados à fadiga que podem ter contribuído para um acidente, erro ou incidente relacionado à segurança operacional.

Desse modo, as informações sobre os horários de trabalho e sono dos ATCOs antes do evento, podem ser inseridas na ferramenta a fim de determinar a projeção da eficácia do desempenho no momento do evento. Combinado com as ferramentas levantadas da literatura, com o protótipo computacional que será desenvolvido, e com outras análises que ainda serão desenvolvidas ao longo deste estudo, esse *software* auxiliará no levantamento de requisitos necessários para desenvolvimento da ferramenta objeto dessa pesquisa, contribuindo com a implementação do gerenciamento da fadiga humana, segundo a abordagem FRMS.

Outra maneira de mensurar a fadiga humana, pode ser realizada por meio da modelagem de equações estruturais, que consiste em uma técnica muito utilizada em estudos que têm como objetivo coletar respostas a partir de um conjunto de variáveis relacionadas, visando a validação de questionário, que propiciará, para este estudo, a coleta da percepção da fadiga dos ATCOs. Os detalhes dessa técnica será mostrado na Seção 3.6.

3.6 Modelagem de Equações Estruturais

A Modelagem de Equações Estruturais (SEM - *Structural Equation Modeling*) consiste em um método de análise de dados multivariada de segunda geração, utilizado normalmente em pesquisas de ciências comportamentais visando testar modelos causais com fundamentação teórica [62]. De outro modo, a modelagem por equações estruturais (SEM) pode ser conceituada como um conjunto de técnicas estatísticas multivariadas que per-

mitem a investigação concomitante de um conjunto de relações teóricas entre uma ou mais variáveis independentes, ou dependentes, contínuas ou discretas [63]. Ao integrar elementos de análise fatorial com regressão múltipla, este método permite ao pesquisador investigar paralelamente variadas relações de dependência e independência entre variáveis latentes e variáveis observadas [64].

A abordagem PLS-SEM (*Partial Least Square Structural Equation Modeling*), Modelagem de Equações Estruturais de Mínimos Quadrados Parciais, é aplicável em amostras menores para estimativas e testes de teoria, convergindo para modelos complexos com muitas variáveis e constructos. De acordo com Henseler, Ringle e Sinkovics (2009) [65] e Hair *et al.* (2019) [66], são sugeridas algumas razões para utilizar o PLS-SEM, entre outras:

- Quando a análise se preocupa em testar uma estrutura teórica a partir de uma perspectiva de predição.
- O modelo estrutural é complexo e inclui muitos constructos, indicadores ou relacionamentos do modelo.
- O objetivo da pesquisa é entender melhor o aumento da complexidade, ou seja, baseada em uma pesquisa exploratória para o desenvolvimento da teoria.
- Quando o modelo de trajetória inclui um ou mais constructos medidos formativamente.

A ideia primária do PLS consiste nas relações de peso, que vinculam os indicadores às suas respectivas variáveis não observáveis, deverão ser estimadas. Em segundo lugar, os valores das observações para cada variável não observável são calculados, com base na média ponderada de seus indicadores, usando as relações de peso como início.

Finalmente, os valores de observação são utilizados em um conjunto de equações de regressão para obter os parâmetros para as relações estruturais, sendo deste modo, a estimativa das relações de peso a parte mais importante de uma análise PLS [67]. Ao utilizar a abordagem do PLS-SEM, precisa-se seguir um processo de várias etapas que envolve a especificação dos modelos interno e externo, coleta e exame de dados, a estimativa real do modelo e a avaliação dos resultados. A aplicação dessa abordagem ocorre em quatro passos mais relevantes:

1. Especificação do modelo;
2. Avaliação do modelo externo (Medição);
3. Avaliação do modelo interno (Estrutural); e

4. Implicações práticas.

O estágio de especificação do modelo consiste na configuração dos modelos interno e externo. O modelo interno, ou modelo estrutural, mostra os relacionamentos entre os constructos que serão avaliados. O modelo externo, também chamado modelo de medição, é utilizado para avaliar as relações entre as variáveis indicadoras e seus constructos correspondentes.

A partir da especificação do modelo, é criado um modelo de trajetórias (*path model*), denominado modelo conceitual, responsável pela conexão entre variáveis e constructos, baseado em teoria e lógica. Os constructos podem ser considerados como variáveis exógenas (atuam como variáveis independentes e não possui uma seta apontando para eles) ou endógenas (explicadas por outros constructos, podendo ser variável dependente ou independente).

Após a concepção do modelo interno, especifica-se o modelo externo, devendo classificá-lo como modelo reflexivo ou formativo. Para entender o significado de um constructo com medidas formativas, necessita-se de um conjunto de indicadores, sendo cada indicador parte do constructo que ele está formando. Sua avaliação envolve análise de convergência, de colinearidade do indicador e da significância estatística e relevância dos pesos dos indicadores. Já o modelo reflexivo, parte da premissa que, semanticamente, os indicadores já foram validados por especialistas, e dizem respeito àquela variável, diferente do modelo formativo. Além disso, no modelo reflexivo, os indicadores refletem a variável, que não pode ser expressa isoladamente [68]. Itens reflexivos são intercambiáveis, possuem correlação e podem ser omissos sem alterar o significado do constructo.

Definidos os modelos interno e externo, a próxima etapa executa o algoritmo PLS-SEM e, com base nos resultados, avalia-se a validade e a confiabilidade do modelo externo, que se baseia nos seguintes parâmetros mostrados por meio da Tabela 3.5, para avaliação de modelos formativos, como o utilizado nessa pesquisa.

Tabela 3.5: Modelos de medição formativos

Validade convergente (análise de redundância)	<ul style="list-style-type: none"> • $\geq 0,70$ (correlação)
Colinearidade (VIF)	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas prováveis (críticos) de colinearidade quando $VIF \geq 5$; • Possíveis problemas de colinearidade quando $3,3 \leq VIF < 5$; • Mostrar idealmente que $VIF < 3,3$.
Significância estatística dos pesos	<ul style="list-style-type: none"> • Valor $p < 0,05$ ou intervalo de confiança de 95%
Relevância dos indicadores com um peso significativo	<ul style="list-style-type: none"> • Pesos significativos maiores são mais relevantes (contribuem mais).
Relevância dos indicadores com um peso não significativo	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas $\geq 0,50$ que são estatisticamente significativas, e, por isso, são consideradas relevantes.

Fonte: Adaptado de Guimarães (2021) [69]

Finalmente, por meio da análise de robustez, verifica-se os efeitos não lineares, por meio da técnica de *Bootstrapping*, que testa a significância estatística do modelo estrutural. Além disso, analisa-se a endogeneidade do modelo estrutural, que deve somente ser realizada quando o foco da pesquisa estiver na explicação, e não nos objetivos preditivos [70].

3.7 Análise crítica do capítulo

Este capítulo apresentou o referencial teórico, visando apresentar os principais conceitos concernentes ao tema deste trabalho. Mostrou-se por meio da literatura e das normas do Comando da Aeronáutica, a visão geral do Controle do Espaço Aéreo, abordando, especificamente, a fadiga humana na atividade aérea. Evidenciou-se a complexidade das atividades desempenhadas pelos ATCOs, e os diferentes tipos de fadiga, os fatores que a influenciam, e podem impactar no desempenho operacional desses profissionais, tanto no contexto operacional quanto organizacional.

O capítulo destacou como é realizado o gerenciamento do risco à fadiga atualmente, por meio da abordagem Prescritiva, e o quanto ainda se precisa evoluir em termos de ciência, comportamento e sistema computacional, para implementar o gerenciamento do risco à fadiga, segundo a abordagem FRMS. Destaca-se também, a possibilidade de utilizar a ferramenta FAST para prevenção dos riscos relacionados à fadiga, pois possibilita a geração de previsões gráficas do desempenho dos ATCOs. Por fim, o capítulo trouxe a fundamentação teórica básica para o entendimento da abordagem PLS-SEM (*Partial Least Square Structural Equation Modeling*), que trata da Modelagem de Equações Estruturais de Mínimos Quadrados Parciais e modelo formativo, utilizado nesse estudo.

Com base na consolidação das informações levantadas, o Capítulo 4 apresenta o método de pesquisa adotado.

Capítulo 4

Método de Pesquisa

Este capítulo tem a finalidade de apresentar o método utilizado nesta pesquisa, contendo as informações relativas a sua classificação, área de estudo, estruturação das etapas, técnicas de coleta e ferramentas utilizadas.

4.1 Classificação da Pesquisa

Essa pesquisa é caracterizada como exploratória por propiciar maior proximidade com o tema estudado. De acordo com Severino [71], esse tipo de pesquisa objetiva conhecer a variável a ser estudada em sua literalidade, do mesmo modo como se apresenta, acrescido do seu significado e o contexto no qual ela é inserida. Segundo Gil [72], essas pesquisas são compostas de levantamento bibliográfico, de entrevista com pessoas que vivenciaram o tema, e por fim, de uma análise de exemplos que estimulem a compreensão do leitor. A Figura 4.1 demonstra a classificação da pesquisa com base na metodologia utilizada.

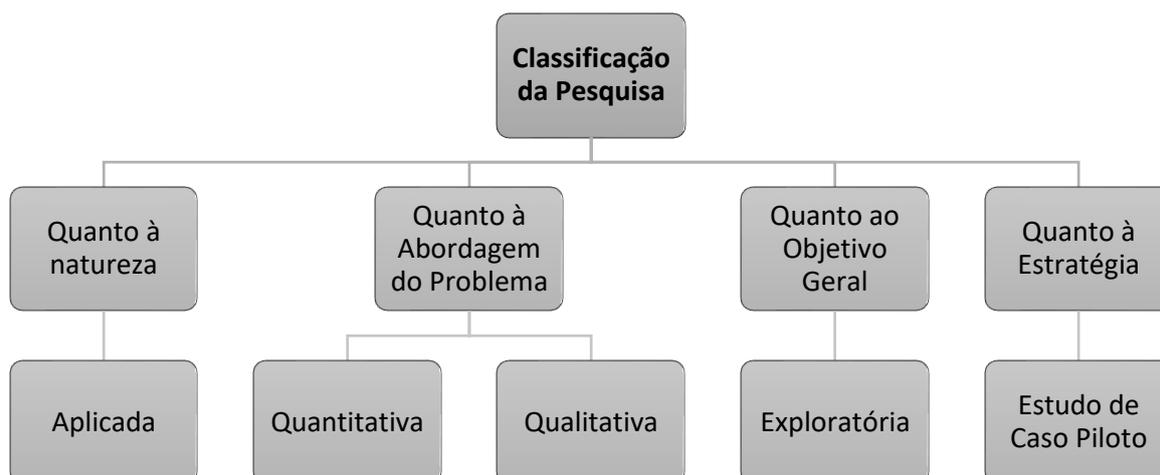


Figura 4.1: Classificação da Pesquisa

- **Quanto à natureza:** aplicada. Este tipo de pesquisa objetiva agregar novos conhecimentos e processos de forma prática, em busca de solução imediata para problemas específicos [73].

Para este estudo, propõe-se elaborar um plano de ação a fim de propor melhoria no processo de gerenciamento de riscos relacionados à fadiga humana no controle de tráfego aéreo do CINDACTA I.

- **Quanto à abordagem do problema:** quantitativa e qualitativa.

A pesquisa quantitativa parte da premissa de que as informações são fornecidas de forma objetiva, ou seja, dados brutos são analisados ou opiniões podem ser quantificadas. Para isso ser possível, recursos matemáticos e estatísticos são utilizados para que a precisão dos resultados sejam garantidas.

Já a pesquisa qualitativa relaciona o mundo objetivo real e a subjetividade das relações sociais, que não podem ser quantificadas. Concentra-se na interpretação dos fenômenos de forma indutiva, sem manipulação do pesquisador [74].

Neste estudo, adotou-se as abordagens qualitativa e quantitativa a fim de coletar mais informações que propiciarão uma análise estatística sobre quais fatores mais influenciam a fadiga humana.

- **Quanto aos objetivos gerais:** exploratória.

O principal objetivo da pesquisa exploratória consiste em proporcionar mais informações sobre o assunto pesquisado, possibilitando sua definição e seu delineamento.

Envolve levantamento do estado da arte, revisão da literatura, entrevistas e análise de exemplos que possam estimular a compreensão do tema [72].

Nesta pesquisa, aplica-se uma abordagem exploratória para a avaliação da percepção dos ATCOs quanto à fadiga humana no âmbito da FAB.

- **Quanto à estratégia:** estudo de caso piloto.

Um estudo de caso envolve uma avaliação aprofundada e exaustiva de um ou vários objetos para permitir o seu conhecimento amplo e detalhado. O ponto central desse tipo de pesquisa é elucidar uma decisão ou conjunto de decisões, suas causas, implementação e consequências. Neste estudo, foi empregado um procedimento de estudo de caso piloto para obter uma compreensão mais precisa das questões identificadas, isolando as variáveis do local de estudo e do sujeito específico para obter um contexto explicativo que fornecesse resultados práticos e aplicáveis [75].

- **Local do estudo:** A proposta desta pesquisa está baseada no estudo da fadiga humana de Controladores de Tráfego Aéreo (ATCOs) associados ao Primeiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I), localizado em Brasília, no Distrito Federal.
- **Objeto do estudo:** O objeto de estudo é a percepção do controlador de tráfego aéreo sobre a fadiga humana, em consonância com o que preconiza a ICAO e o Comando da Aeronáutica.

Outros aspectos relevantes foram considerados para caracterização deste estudo:

No desenvolvimento metodológico, a escolha das técnicas e a previsão da triangulação são imprescindíveis para que a pesquisa seja a mais completa possível. Há necessidade de que os pesquisadores se familiarizem com diferentes técnicas de pesquisa e autores, incluindo nesta pesquisa: entrevistas [76] e aplicação de questionário [77].

Realizou-se duas entrevistas semiestruturadas com especialistas do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) e do CINDACTA I com o objetivo de realizar o levantamento dos dados e que, em simultâneo, pudessem ser validados. Foi realizado também o levantamento de dados por meio de um questionário, contido no Apêndice A.1, como proposto por Sônia [77], para coletar informações sobre os hábitos de sono de um operador que se submete a serviços de escalas operacionais 24 horas, em turnos alternados, em Órgãos ATC ou ATS, bem como investigar as possíveis causas da falta de sono, que poderão provocar Fadiga Humana.

Ao fim desta etapa, o resultado auxiliará no entendimento dos padrões de sono de um indivíduo que trabalha em um Órgão Operacional, assim como as razões que influenciam

seus hábitos e as implicações de certas atividades que podem levar a fadiga intensa ou estresse.

Ademais, foram considerados a partir do método de pesquisa proposto na Figura 4.1, para realização de uma revisão da literatura conforme a proposta de Kitchenham e Charles [78] e a estruturação aplicada por Kitchenham *et al.*[79], mostrada na Seção 4.2

4.2 Estruturação da Pesquisa

O estudo foi estruturado em procedimentos metodológicos por meio de cinco etapas, tomando como base as normas vigentes da FAB e da ICAO, aplicadas às técnicas de gerenciamento de riscos contempladas nas normas ABNT ISO 31000 [80].

Para a definição do escopo do trabalho, delimitou-se quais seriam o contexto interno e externo do CINDACTA I, inseridos em um macro contexto da gestão de riscos. Utilizou-se as técnicas de identificação de riscos por entrevista semiestruturada, com tópicos e temas pré-selecionados concernentes à pesquisa, como os principais riscos relacionados à aviação regular brasileira e os procedimentos operacionais utilizados com vistas à prevenção. Além disso, foi realizado um *brainstorming*, em consonância com norma ABNT ISO 31010, por meio do qual foi possível identificar as possíveis lacunas (*gaps*) que necessitam mais atenção, mapeá-las, e posteriormente, foi realizada a análise dos riscos, os quais foram categorizados de acordo com as terminologias da organização. Os dados foram compilados e validados por 7 especialistas do CENIPA e do CINDACTA I, conforme o quadro representado pela Figura 4.2.

Especialista	Área	Subárea	Cargo	Período de Atividade	Responsabilidade do Cargo
1	DOP - Divisão Operacional	SDINV - Seção de Investigação	Oficial investigador	5 anos e 3 meses	Chefia da Divisão - assessorar o Comandante
2	DOP - Divisão Operacional	SDINV - Seção de Investigação	Oficial Investigador	4 anos e 7 meses	Responsável pelos processo de investigação
3	DOP - Divisão Operacional	AEST - Assessoria de Estatística	Oficial investigador	4 anos e 1 mês	Responsável pela gestão dos dados estatísticos
4	DOP - Divisão Operacional	APP - Controle de Aproximação	Graduado Controlador	7 anos e 5 meses	Responsável pelo controle de tráfego aéreo
5	DOP - Divisão Operacional	ACC - Centro de Controle de Área	Graduado Controlador	2 anos e 2 meses	Responsável pelo controle de tráfego aéreo
6	DOP - Divisão Operacional	TWR - Torre de Controle	Graduado Controlador	2 anos e 10 meses	Responsável pelo controle de tráfego aéreo
7	Comando	SIPACEA - Seção de Investigação e Prevenção de Acidentes	Oficial Psicólogo	7 anos e 10 meses	Responsável pela psicologia

Figura 4.2: Entrevistados do CENIPA e do CINDACTA I

Os entrevistados elencados na Figura 4.2 são militares do Exército e da Aeronáutica, pertencentes ao efetivo das organizações citadas, de um total de 7 militares do efetivo da

divisão operacional. Em sua maioria, além da formação profissional, possuem também graduação em nível superior em cursos como estatística e física, por exemplo.

A fim de que os objetivos dessa pesquisa pudessem ser atingidos, dividiu-se esta pesquisa em cinco etapas, como mostrado na Figura 4.3.

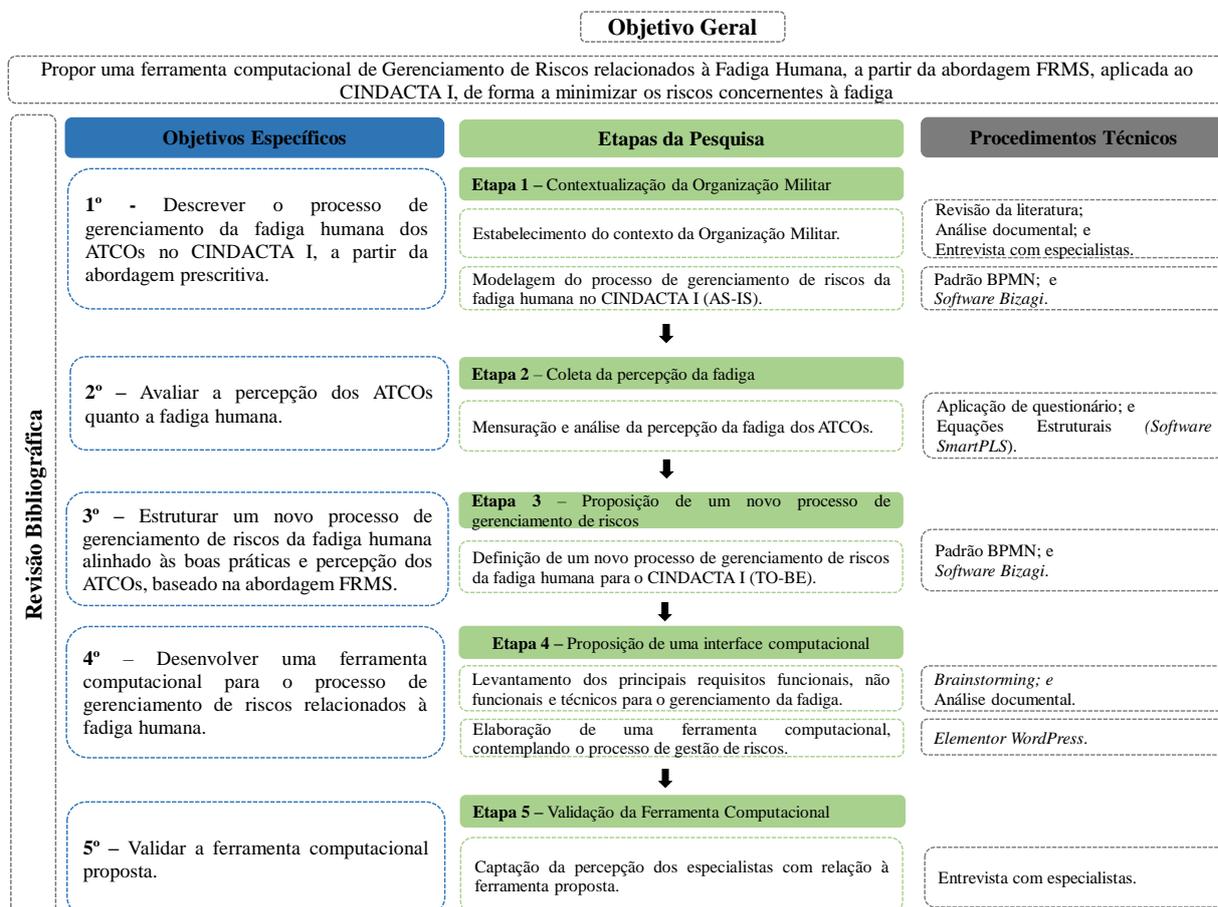


Figura 4.3: Estruturação da Pesquisa

Na Figura 4.3 é demonstrado a sequência com que as etapas previstas foram executadas, relacionando-as com seus respectivos objetivos específicos e procedimentos técnicos.

Os objetivos e a descrição detalhada das atividades de cada etapa são apresentadas a partir da Subseção 4.2.1 .

4.2.1 Etapa 1 - Contextualização da Organização Militar

Estabelecimento do Contexto da Organização Militar

Essa etapa realizou o levantamento dos contextos externo e interno da Organização em estudo por meio dos procedimentos técnicos: revisão da literatura, análise documental, entrevista com especialistas e modelagem do processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana no CINDACTA I, utilizando o *software* Bizagi, conforme estabelece o padrão BPMN.

Modelagem do processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana no CINDACTA I (AS-IS)

Descreveu-se as principais etapas por meio da modelagem do processo AS-IS de Gerenciamento do Risco à Segurança Operacional, visando a identificação das etapas mais relevantes, bem como a melhoria do processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana no CINDACTA I. De acordo com Bisogno *et al.* [81], a análise de processos por meio da notação *Business Process Model and Notation* - Modelo e Notação de Processos de Negócios (BPMN) possibilita auxiliar na identificação e correção de problemas que se relacionam entre si. O processo “AS-IS” foi elaborado no *software Bizagi*, versão 3.9.0.015, e será mostrado no Capítulo 5.

4.2.2 Etapa 2 - Coleta da percepção da fadiga

Mensuração da percepção da fadiga dos ATCOs

A mensuração da percepção da fadiga dos ATCOs pode ser realizada de diversas maneiras. A melhor forma encontrada para esta mensuração foi por meio da Modelagem de Equações Estruturais, pois fornece uma estrutura fértil e conveniente para análises estatísticas que incluem inúmeros procedimentos multivariados tradicionais, como a análise fatorial, análise de regressão, análise discriminante e correlação canônica.

Para tal, foi necessário definir o modelo conceitual da mensuração da percepção da fadiga dos ATCOs. A partir da concepção do modelo, objetivou-se simplificar a realidade, recriando-a em uma escala menor, por meio de variáveis [82]. A resolução desse modelo implicou na obtenção de respostas para um problema a ele associado. A ferramenta PLS (*Partial Least Square* - Mínimo Quadrado Parcial) permitiu ser executada de duas maneiras: na primeira, o *software* SmartPLS (*Smart Partial Least Square*) executou a valoração do modelo de medida, o qual verificou a relação entre indicadores e variáveis, a fim de perceber se os indicadores (assertivos) são suficientes para explicar a variável. Por

meio dessa análise, foi possível validar o questionário. Na segunda execução, avaliou-se o modelo estrutural, em que foi possível analisar a relação entre as variáveis.

Desse modo, elaborou-se um questionário e verificou-se que o embasamento teórico encontrado está alinhado com o estabelecido nas normas em vigor da FAB, além de ter proporcionado a identificação de novas percepções que foram úteis para responder à questão da pesquisa.

O questionário aplicado, contido no Apêndice A.1, contém 13 assertivas em escala *Likert* de 5 pontos, aplicado aos ATCOs e outros operadores militares e civis que atuam em Órgãos Operacionais brasileiros em regime de escala operacional de 24 horas. Os resultados dessa pesquisa são mostrados no Capítulo 5, mais adiante.

4.2.3 Etapa 3 - Proposição de um novo processo de gerenciamento de riscos

Definição de um novo processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana para o CINDACTA I (TO-BE)

A partir das informações coletadas na etapa 2, foi elaborado uma nova versão do processo de Gerenciamento do Risco à Fadiga, (TO-BE) [83], por meio da revisão da literatura e da modelagem de um novo processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana no CINDACTA I, segundo a abordagem FRMS, utilizando o *software* Bizagi, seguindo o padrão BPMN. Esta etapa visou eliminar os problemas encontrados, por meio de sub-processos embutidos, que mostram uma visão contraída, na qual os detalhes ficam ocultos, como será mostrado no Capítulo 5.

4.2.4 Etapa 4 - Proposição de uma interface computacional

O objetivo dessa etapa foi apresentar ao Comando do CINDACTA I a viabilidade de implementação de uma ferramenta computacional com vistas a implementar o gerenciamento de riscos à fadiga no Controle de Tráfego Aéreo, a fim de auxiliar a execução dos processos propostos. Para o desenvolvimento do sistema foi utilizado o conceito de prototipação que, conforme descrito por Laudon e Laudon [84], baseia-se na construção de um sistema experimental ou parte de um sistema de maneira rápida e pouco dispendiosa para que os usuários finais possam avaliá-lo.

Levantamento dos principais requisitos funcionais, não funcionais e técnicos para o gerenciamento da fadiga

O levantamento dos requisitos necessários foi realizado por meio de quatro passos, conforme a Figura 4.4.

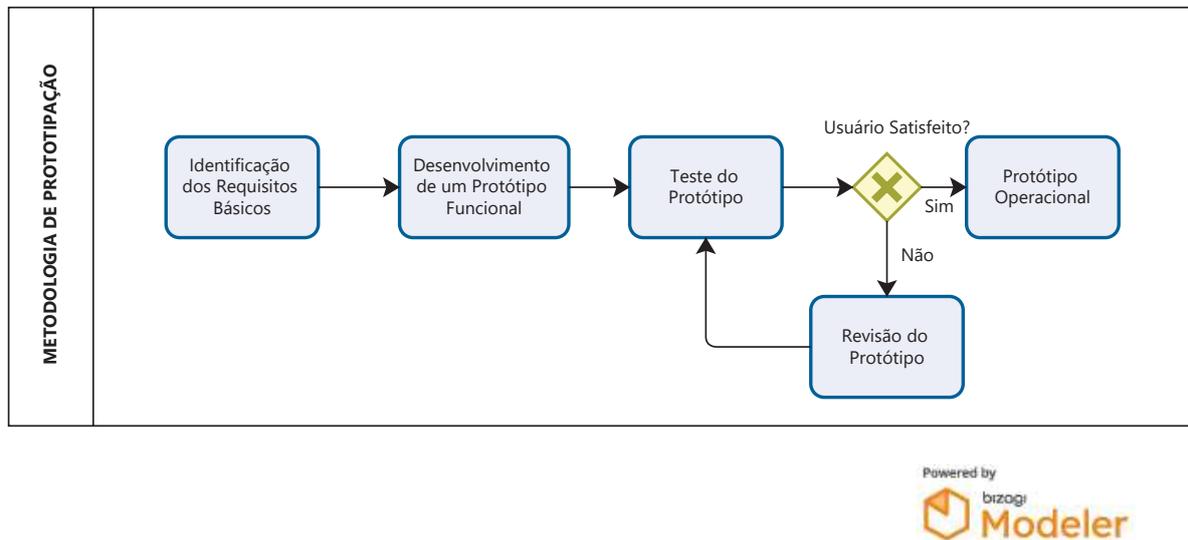


Figura 4.4: Metodologia de Prototipação

Fonte: Extraído de Laudon e Laudon [84]

A etapa do levantamento dos requisitos básicos indicada na Figura 4.4 teve o objetivo de analisar e definir o problema embasado nas necessidades mínimas operacionais. Neste estudo, o problema consistiu na operacionalização dos requisitos principais, e estão relacionados à capacidade de executar de maneira confiável as atividades que contemplam os processos propostos.

A utilização do protótipo propicia aos usuários o conhecimento das funcionalidades, identificação de erros e proposição de melhorias para o sistema. Para que isso seja possível, o protótipo foi testado por especialistas e posteriormente implementado.

Para que esta etapa fosse factível e executável, utilizou-se o método *brainstorming*, pois permitiu explorar a capacidade de selecionar as melhores ideias propostas pelos envolvidos no processo. Por meio dessa técnica, ideias foram geradas sozinhas ou em grupo interativos e com as regras regulares projetadas para aumentar o número de ideias geradas [85]. Todos os participantes foram posteriormente solicitados a selecionar suas cinco principais ideias em uma fase de avaliação em grupo.

Combinado à técnica do *brainstorming*, utilizou-se análise documental, com base em soluções para a área da Engenharia de *software*. Mesmo sendo uma metodologia pouco

explorada, de acordo com [86], não só na área da educação como em outras áreas, a análise documental propiciou uma valiosa técnica de abordagem de dados qualitativos, pois permitiu complementar as informações obtidas por outras técnicas, revelando novos aspectos do estudo a ser desenvolvido.

Elaboração de uma ferramenta computacional, contemplando o processo de gestão de riscos

Para o desenvolvimento da ferramenta computacional, optou-se pelo uso do *Elementor WordPress* que consiste em um *plugin* para a criação de *sites*. A escolha dessa ferramenta se deu em razão de ter seu funcionamento simplificado e pronto para atender a qualquer projeto, cuja proposta foi tornar acessível a qualquer usuário do *WordPress* que queira desenvolver um novo projeto na *web*, mesmo que não tenha experiência com desenvolvimento e programação [87]. O *plugin* permite esboçar as ideias do desenvolvedor por meio da criação de gráficos online e da prototipação de projetos, além de ser focado em criações de interfaces e experiência de usuário. Pode, ainda, funcionar de forma colaborativa e permitir edições simultâneas pelos membros da equipe. A ferramenta está disponível na *web*, por meio de uma *web application*, e pode ser acessado em qualquer lugar, havendo conexão com a internet, por meio de um *browser* [88]. Possui interface intuitiva e simples de compreender, que possibilita aos usuários adicionar novos *plug-in* desenvolvidos pelas maiores comunidades de bibliotecas, fornecendo o auxílio necessário aos designers.

Tal ferramenta computacional para o gerenciamento dos riscos da fadiga humana aplicado ao controle de tráfego aéreo foi desenvolvida no segundo trimestre de 2022, conforme atividades executadas e detalhadas no Cronograma contido no Capítulo 6.

4.2.5 Etapa 5 - Validação da Ferramenta Computacional

Captação da percepção dos ATCOs com relação à ferramenta proposta

Nesta etapa, apresentou-se o protótipo funcional para promover a implementação da ferramenta de gestão de riscos por meio da abordagem *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS) sendo validada com especialistas do CINDACTA I. Realizou-se uma entrevista com especialistas de psicologia, de tráfego aéreo, investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos do CINDACTA I, por meio da técnica *Delphi* a fim de que novas etapas fossem traçadas com vistas a viabilizar a ferramenta proposta, e implementar o FRMS. O uso do método *Delphi* é muito diversificado, uma vez que as informações necessárias provêm da experiência e conhecimento dos especialistas envolvidos [21]. Quando há *feedback*, propicia ao participante refletir e ter um maior entendimento baseado em diferentes perspectivas.

Após a consolidação do método de pesquisa, o Capítulo 5 apresenta os resultados.

Capítulo 5

Resultados

Este capítulo apresenta os resultados coletados a partir da contextualização da Organização Militar. Apresenta-se, ainda, a modelagem do processo AS-IS de gerenciamento dos riscos relacionados à fadiga. Foram mostrados os resultados obtidos da coleta da percepção da fadiga por meio da aplicação do questionário a 149 operadores de Órgãos de *Air Traffic Service* - Serviço de Tráfego Aéreo (ATS) e de *Air Traffic Control* - Controle de Tráfego Aéreo (ATC), utilizando a abordagem de Equações Estruturais de Mínimos Quadrados Parciais (PLS-SEM). Descreve um novo processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana (TO-BE), visando a padronização dos processos. Propõe o desenvolvimento de uma ferramenta computacional, desde o levantamento de requisitos necessários à implementação, mostrando as etapas de elaboração, as telas prototipadas e, por fim, a validação da ferramenta proposta.

5.1 Estabelecimento do contexto da Organização Militar

5.1.1 Contexto Externo

Em 2014, o Tribunal de Contas da União - TCU publicou o “Referencial Básico de Governança Pública, cujo objetivo é orientar e incentivar as organizações da Administração Pública e outros entes jurisdicionados ao TCU a adotarem boas práticas de governança [89].

Já em 2016, a Controladoria Geral da união (CGU) publicou a Instrução Normativa Conjunta n.º 1, a qual diz que os órgãos do Poder Executivo Federal deverão adotar medidas para a sistematização de práticas relacionadas à gestão de riscos, aos controles internos, e à governança. Tais medidas contemplam as etapas de implementação, manutenção, monitoramento e revisão dos controles internos, e visam aplicar o processo de

gestão de riscos com o objetivo de minimizar os impactos negativos na consecução dos objetivos do poder público [89].

Neste contexto, o Comando da Aeronáutica instituiu o Comitê de Governança da Força Aérea Brasileira - FAB – CGov-FAB, através da Portaria n.º 1.738/GC3, de 4 de outubro de 2019, como instância colegiada superior da governança, da gestão de riscos e da integridade no Comando da Aeronáutica, cujas principais competências, entre outras, são: aprovar a implementação de processos, estruturas e mecanismos adequados à incorporação dos princípios e das diretrizes da governança [89].

Definiu-se, ainda, o direcionamento estratégico que norteia as boas práticas de governança, gestão de riscos e indicadores estratégicos, bem como a emissão de recomendações para seu aprimoramento.

Deste modo, diante das normas e legislações em vigor da *International Civil Aviation Organization* - Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO), as organizações públicas, como a FAB, vem adotando práticas de gestão de riscos e seus processos. Especialmente o DOC 9859, que normatiza o *Safety Management System* (SMS), que consiste no Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO).

É importante mencionar nesse contexto, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), como Organização Militar responsável pelo controle do espaço aéreo brasileiro, provedora dos serviços de navegação aérea que viabiliza os voos e a ordenação dos fluxos de tráfego aéreo no País, exercido primordialmente pelos controladores de tráfego aéreo, em consonância o Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil (RBAC) n.º 117, de 13 de março de 2019, que preconiza os requisitos para Gerenciamento de Risco da Fadiga Humana. Destaca-se também, a Lei n.º 13.475 (Lei do Aeronauta), publicada em 29 de fevereiro de 2020, que em seu artigo 19 estabelece as limitações operacionais poderão ser alteradas pelas autoridades brasileiras com base nos preceitos do *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS), e com o Guia de Investigação da fadiga Humana em Ocorrências Aeronáuticas, metodologia proposta pela Comissão Nacional de Fadiga Humana (CNFH), por meio do Comitê Nacional de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CNPAA), em 2017.

Por fim, é importante considerar o Conselho Nacional de Segurança nos Transportes, com sede nos Estados Unidos, que consiste em uma organização independente desde 1967 e responsável pela investigação de acidentes de aviação, autoestradas, marinha, transporte tubular e caminhos-de-ferro. Consonante a todas essas legislações e Órgãos supracitados, a *Civil Air Navigation Services Organization* - Organização de Serviços de Navegação Aérea Civil (CANSO) com a *International Federation of Air Traffic Controller's Associations* - Federação Internacional de Associações de Controladores de Tráfego Aéreo (IFATCA), propuseram um Guia de Gerenciamento de fadiga para Prestadores de Serviços de Tráfego

Aéreo, contemplando recomendações para os Controladores de Tráfego Aéreo [8].

5.1.2 Contexto Interno

A instituição objeto desse estudo, pertencente ao Comando da Aeronáutica, Primeiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I) consiste no elo permanente do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), responsável por exercer a vigilância e o controle da circulação aérea geral na parte Central do Brasil. Como principal atividade nessa Organizações Militares (OM), encontram-se os ATCOs, que trabalham em órgãos operacionais como o *Area Control Center* - Centro de Controle de Área (ACC), *Approach Control Center* - Centro de Controle de Aproximação (APP), *Control Tower* - Torre de Controle (TWR), e outros [89].

Faz-se relevante ainda mencionar que os dados utilizados nessa pesquisa são os disponibilizados de domínio público, contidos no Painel do Sistema de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER) e nas normas da FAB, que serviram de subsídios para avaliação dos riscos relevantes no contexto da prevenção de acidentes aeronáuticos. Esses subprocessos de realizar ações de prevenção de ocorrências aeronáuticas e realizar investigações dessas ocorrências estão contidos no processo de gerenciamento de riscos relacionados à fadiga no CINDACTA I [90], mostrado no Subseção 5.1.3.

5.1.3 Modelagem do processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana no CINDACTA I (AS-IS)

O gerenciamento de riscos à fadiga no CINDACTA I se dá por meio do processo de Gerenciamento do Risco à Segurança Operacional, a partir da abordagem prescritiva, na qual o Provedor do órgão *Air Traffic Service* - Serviço de Tráfego Aéreo (ATS) cumpre os limites prescritivos máximos e mínimos de horários de trabalho e de não trabalho e gerencia os riscos à fadiga por meio da estrutura do *Safety Management System* (SMS) já utilizada para gerenciar outros tipos de perigos.

Desta maneira, foi possível descrever as principais etapas por meio da modelagem do processo AS-IS do Gerenciamento de Riscos da Fadiga humana, visando a identificação das etapas mais relevantes, bem como a melhoria do processo. A Figura 5.1 representa a modelagem do processo atual, elaborado no *software Bizagi*, versão 3.9.0.015.

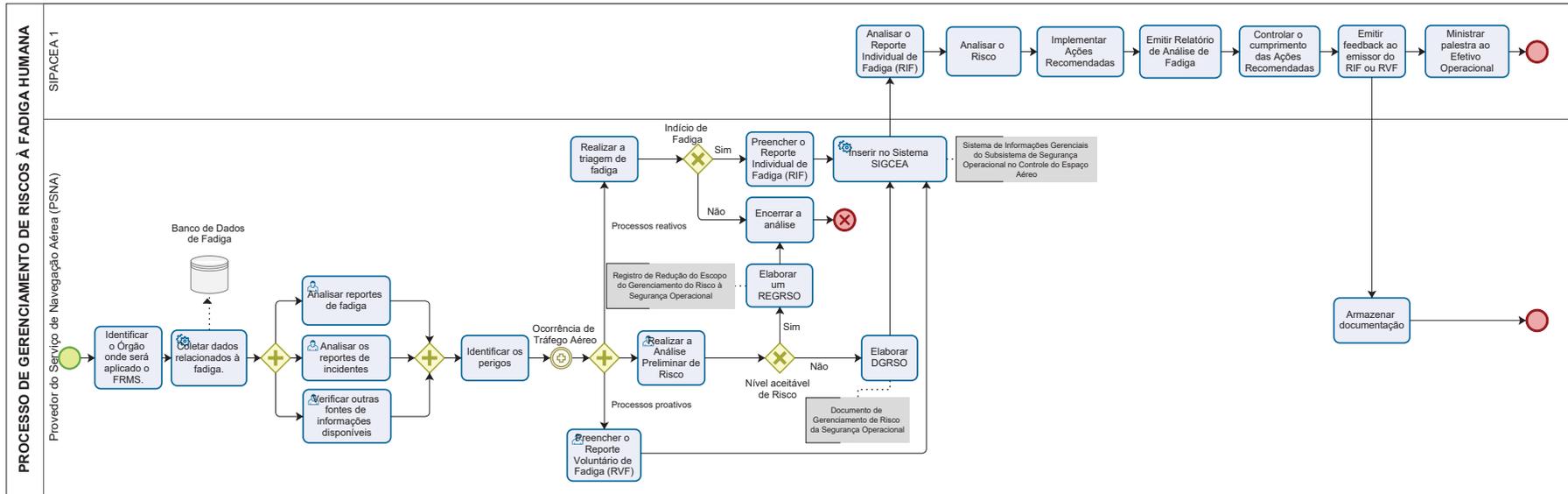


Figura 5.1: Modelagem AS-IS do Processo de Gerenciamento de Riscos da Fadiga do CINDACTA I

A Figura 5.1 ilustra o atual processo de gerenciamento de riscos à fadiga humana, por meio da abordagem prescritiva, contemplando as principais atividades envolvidas. Em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela ICAO e com as melhores práticas do SGSO (Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional), as fases essenciais do GRSO (Gerenciamento de Risco da Segurança Operacional) deveriam ser melhor descritas e documentadas, a saber: descrição do sistema, identificação dos perigos, análise e avaliação dos riscos, tratamento e monitoramento dos riscos. Percebe-se que o modelo vigente de gerenciamento de riscos à fadiga carece de informações como avaliação, tratamento e monitoramento dos riscos. Por isso, todo o processo deve ser revisto, a fim de propor um novo processo de gerenciamento, contemplando todas as etapas essenciais do gerenciamento de riscos relacionados à fadiga.

Finalizada a primeira etapa da pesquisa, como proposto pela Figura 4.3, no Capítulo 4, Seção 4.2, faz-se relevante mencionar que as informações obtidas nessa modelagem, bem como nas normas da FAB, servirão de subsídios para a elaboração da modelagem TO-BE e para o desenvolvimento da ferramenta computacional.

5.2 Coleta da percepção da fadiga dos ATCOs

5.2.1 Modelo da pesquisa

Para que fosse possível elaborar o questionário proposto na etapa 2 dessa pesquisa, como mostrado por meio da Figura 4.3, no Capítulo 4, Seção 4.2, foi necessário elaborar um modelo conceitual, a fim de identificar a relação entre as variáveis envolvidas. Para isso, buscou-se na literatura as relações de cada variável a fim de que pudessem ser validadas e adaptadas para este estudo. Cabe ressaltar que a aplicação do questionário foi baseada em um modelo que trabalhou com dados não paramétricos, ou seja, ocorreu em duas fases: a primeira, com uma amostra inicial de 108 respondentes, contemplando 13 indicadores (perguntas), e a segunda, após revisão dos indicadores e adequação das escalas utilizadas, obteve-se uma amostra de 149 respondentes, contendo 44 indicadores, que apresentou um resultado com mais acurácia.

Nesse sentido, de acordo com Orasanu [91] e Hamsal [92], existem diversas variáveis relacionadas ao desempenho operacional em caso de fadiga do controlador de tráfego aéreo, mas para este estudo selecionou-se somente as variáveis **Quantidade do Sono (QT)**, **Estado de Alerta (EA)** e **Tempo de Reação (TR)**, em razão de terem apresentados melhores resultados após diversos testes e cálculos relacionados ao modelo estrutural, e que, simultaneamente, tiveram respaldo da literatura, e se mostraram mais estáveis no processo de validação. As demais variáveis não se sustentaram no processo de validação.

Desse modo, foram estruturados constructos a partir da Percepção dos ATCOs e outros Operadores de órgãos operacionais, modelados no *software* SmartPLS 4.0 [93], conforme a Figura 5.2. De acordo com Roldan e Cepeda (2019) [94], constructos são variáveis criadas a partir de dados empíricos com a finalidade de permitir o teste empírico das hipóteses que afetam a relação entre variáveis conceituais.

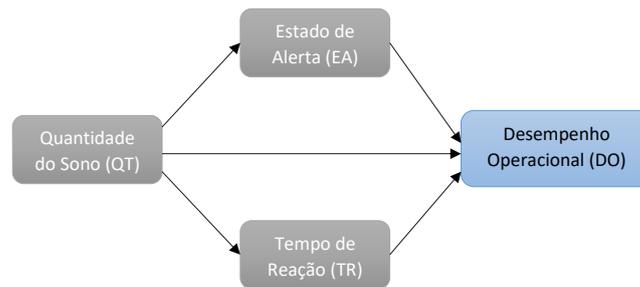


Figura 5.2: Modelo Conceitual

Fonte: Adaptado de Orasanu [91] e Hamsal [92]

Para a análise do modelo conceitual mostrado na Figura 5.2, utilizou-se a abordagem de Equações Estruturais de Mínimos Quadrados Parciais (PLS-SEM) visando testar as hipóteses. De acordo com Shiau [95], esta técnica foi reconhecida como uma abordagem orientada para a previsão, fornecendo indícios de que seja uma escolha apropriada para modelar comportamentos relacionados à fadiga humana.

Além disso, o PLS-SEM se mostrou eficiente para pequenas amostras, mesmo em condições de não normalidade [95], o que indica ser uma escolha adequada para a pesquisa atual. Deste modo, o PLS-SEM foi utilizado de acordo com as orientações fornecidas por Hair [66].

A partir do modelo conceitual desenvolvido, apresenta-se as hipóteses relativas à influência das variáveis no desempenho operacional dos ATCOs, conforme Tabela 5.1:

Tabela 5.1: Hipóteses da Pesquisa

Hipóteses

-
- H1 - Estado de Alerta -> Desempenho Operacional
 - H2 - Quantidade de Sono -> Desempenho Operacional
 - H3 - Quantidade de Sono -> Estado de Alerta
 - H4 - Quantidade de Sono -> Tempo de Reação
 - H5 - Tempo de Reação -> Desempenho Operacional
-

O modelo de segunda ordem proposto por Hair [66] foi utilizado pela ICAO em 2016 e aplicado em duas etapas: um modelo de primeira ordem, o qual consiste no fato de que as covariâncias entre os constructos são explicadas por meio da relação única de variáveis latentes, e um modelo de segunda ordem, que possui dois níveis de variáveis latentes. Nesse caso, pode-se ainda chamar de um modelo de segunda ordem porque a quantidade de sono influencia diretamente o estado de alerta, que influencia o desempenho operacional.

5.2.2 Método de pesquisa

Já o método utilizado para proceder com o levantamento de dados por amostragem, foi um questionário, como preconizado por Sônia [77], o qual permitiu que os dados fossem coletados em um período específico de tempo visando mensurar a percepção dos ATCOs quanto à fadiga humana, no momento exato da pesquisa.

Após realizada a tabulação dos resultados obtidos a partir da aplicação do questionário, precisou-se avaliar a confiabilidade e validade do modelo proposto na Figura 5.2, como mostra a Subseção 5.2.3.

5.2.3 Confiabilidade e validade do modelo

Nos modelos classificados como formativos, aplica-se o teste da multicolinearidade dos itens, a fim de investigar se o modelo é válido e se possui confiabilidade, uma vez que as variáveis formativas não apresentam obrigatoriamente correlação entre elas [96].

Alguns valores que ficaram próximos a 3,3, conforme estudos realizados por Hair (2021) [97], porém não representaram problema para o modelo, mostrando que o modelo é válido.

Por fim, avaliou-se por meio de dois testes, por meio das Tabelas 5.2 e 5.3 referente à significância dos pesos e cargas, respectivamente. Nesses testes, são realizados um *bootstrapping* com 5000 subamostras em cada um dos itens que formam a variável formativa, a fim de estimar o p-valor. Pois, conforme a literatura [97], a variável formativa se comporta como um modelo de regressão dentro de outro modelo de regressão. A Tabela 5.2 mostra a análise do modelo formativo final, com relação aos pesos.

Tabela 5.2: Análise de Significância - Pesos

Variável Formativa	Peso	t-valor	p-valor
DO1 ->Desempenho Operacional	0,302	1,434	0,151
DO3 ->Desempenho Operacional	0,740	4,235	0,000
DO4 ->Desempenho Operacional	0,092	0,601	0,548
EA1 ->Estado de Alerta	0,641	5,739	0,000
EA2 ->Estado de Alerta	0,578	4,968	0,000
QT3 ->Sono	0,219	1,688	0,091
QT4 ->Sono	0,212	1,457	0,145
QT5 ->Sono	-0,311	2,292	0,022
TR1 ->Tempo de Reação	0,968	10,236	0,000
TR3 ->Tempo de Reação	0,045	0,337	0,736
QT1 ->Sono	0,457	3,549	0,000

Ao analisar a Tabela 5.2, verifica-se que a variável mais significativa é a TR1 (Tempo de Reação), que apresentou maior peso. Além disso, o p-valor de cada variável formativa deve ter como parâmetro valor menor que 0,05. Aquelas variáveis que tiveram seu p-valor excedido (destacado em vermelho), faz-se necessário analisar as cargas, por meio da Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Análise de Significância - Cargas

Variável Formativa	Carga	t-valor	p-valor
DO1 ->Desempenho Operacional	0,703	4,880	0,000
DO3 ->Desempenho Operacional	0,959	15,422	0,000
DO4 ->Desempenho Operacional	0,498	3,086	0,002
EA1 ->Estado de Alerta	0,839	11,257	0,000
EA2 ->Estado de Alerta	0,787	8,923	0,000
QT3 ->Sono	0,752	10,194	0,000
QT4 ->Sono	0,788	10,322	0,000
QT5 ->Sono	-0,826	15,373	0,000
TR1 ->Tempo de Reação	0,999	88,641	0,000
TR3 ->Tempo de Reação	0,647	7,570	0,000
QT1 ->Sono	0,866	13,151	0,000

As cargas externas de todas as variáveis devem ser estatisticamente significativas, desde que os valores sejam padronizados com cargas externas superiores a 0,708. Variáveis com

cargas entre 0,40 e 0,70 serão somente eliminadas se esse procedimento acarretar aumento da fiabilidade e da confiabilidade composta acima do valor de piso sugerido por Hair [98]. Neste caso, a variável QT4, relacionada à quantidade de sono, apresentou-se a mais significativa, seguida pela variável QT3.

Posteriormente, realizou-se o cálculo do modelo de medida e modelo estrutural, mostrado na Subseção 5.2.4.

5.2.4 Cálculo do Modelo e análise da significância dos indicadores

A Figura 5.3 apresenta o modelo estrutural calculado com o Algoritmo PLS e a técnica de *Bootstrapping*. Por meio dessa técnica, calculou-se a significância estatística dos itens.

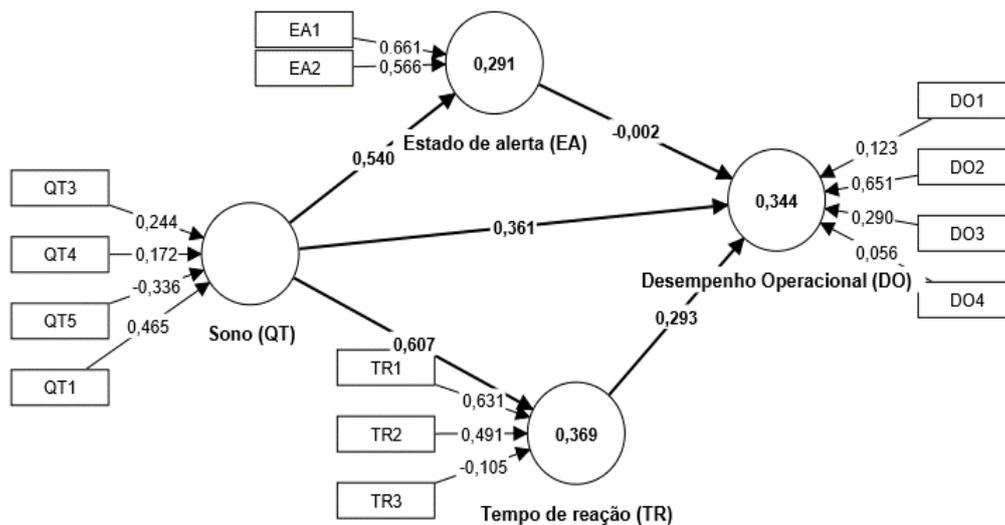


Figura 5.3: Modelo Estrutural Calculado no *SmartPLS*

Pode-se perceber por meio da Figura 5.3 que o modelo proposto explica o desempenho operacional em 34,4%, o tempo de reação em 36,9% e o estado de alerta em 29,1%, como encontrado na literatura por Chang (2019)[8]. Ou seja, as 44 assertivas elaboradas para medir a percepção de fadiga nos ATCOs relacionadas às dimensões tempo de reação e estado de alerta demonstraram-se adequadas para explicar o desempenho operacional desses profissionais. Ressalta-se que foram realizados diversos testes e cálculos do modelo estrutural objetivando tornar o modelo o mais factível possível. Desta maneira, os resultados apresentados nesse estudo foram satisfatórios.

5.2.5 Cálculo do modelo Estrutural

O cálculo do modelo estrutural foi realizado por meio da análise do coeficiente do caminho *Beta*. Pode-se observar que a variável que mais influencia o desempenho operacional é o tempo de reação, que por sua vez, é influenciado pelo sono. O estado de alerta também foi influenciado pelo sono.

A análise de *Bootstrapping* foi realizada buscando a significância do modelo (estatística t, ao nível de 95% de confiança (1,96) [99]. Os resultados indicaram que foram significantes as hipóteses H2, H3, H4 e H5, como mostra a Tabela 5.4:

Tabela 5.4: Resultado da Análise de Significância

Hipótese	Beta	t-valor	p-valor
H1-Estado de alerta ->Desempenho Operacional	0.015	0,152	0.439
H2-Sono ->Desempenho Operacional	0.303	2.810	0.002
H3-Sono ->Estado de alerta	0.540	10.097	0.000
H4 - Sono ->Tempo de reação	0.581	10.456	0.000
H5-Tempo de reação ->Desempenho Operacional	0.302	3.509	0.000

A hipótese H1 não foi suportada, pois, o valor da amostra original (Beta) é menor que 0,2, o t-valor é menor que 1,96 e o p-valor é maior que 0,05, conforme preconiza a literatura [99]. Porém, para melhor compreensão de que H1 não tenha sido suportada, sugere-se a aplicação da Análise da Condição Necessária (ACN), uma técnica que consiste na geração de um gráfico de dispersão entre duas variáveis X e Y no qual X (Estado de Alerta) é necessário para Y (Desempenho Operacional). Com isso, pretende-se avaliar o nível de necessidade entre estas variáveis, onde sem a variável Estado de Alerta, o Desempenho Operacional não pode existir [100].

As hipóteses H2, H3 e H4 refletem a influência da quantidade de sono no desempenho operacional, no estado de alerta e no tempo de reação, respectivamente. Tal fato pode ser explicado, segundo estudo realizado por Nielson *et. al* (2010) [101] haja vista as complicações geradas pelos horários irregulares de trabalho dos ATCOs, bem como a privação de sono nos turnos noturnos. A diminuição das horas de sono e da sua qualidade implicam sérias consequências para o desempenho cognitivo dos controladores de tráfego aéreo, proporcionando a diminuição da concentração, do estado de alerta, do tempo de reação e do desempenho em geral. Por essas mesmas razões, compreende-se a influência direta do tempo de reação no desempenho operacional do ATCO, conforme mostrado pela hipótese H5.

Observou-se, ainda, que para uma melhoria do desempenho operacional dos controladores deve-se realizar ações quanto ao sono e ao tempo de reação, que apresentou o maior valor de Beta, 0.581.

Outra análise importante diz respeito aos efeitos indiretos, conforme mostra a Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Efeitos Indiretos

Efeito Indireto	Beta	t-valor	p-valor
Sono ->Tempo de reação ->Desempenho Operacional	0.175	3.131	0.001
Sono ->Estado de alerta ->Desempenho Operacional	0.008	0.148	0.441

A Tabela 5.5 mostra os efeitos indiretos da quantidade de sono, por meio do tempo de reação, que impacta no desempenho operacional. Tal fato pode ser explicado pela alternância entre os turnos de trabalho dos ATCOs, que propicia perturbações qualitativas no sono, sendo o turno da noite o mais prejudicado com os efeitos da quantidade de sono e como consequência, do tempo de reação desses profissionais. De acordo com estudos realizados por Schroeder, Rosa e Witt [102], constatou-se que a falta de sono no horário noturno contribui para tornar o tempo de reação mais lento, além de aumentar a incidência de erros, em relação aos outros horários. Segundo Souza (2012) [103], esses efeitos podem ser explicados pela influência que as variadas diferenças entre os turnos causam no ritmo circadiano, como explicado na Seção 3.3. As alterações no ritmo circadiano corroboram com efeitos que interferem negativamente no ATCO; como efeito negativo deste efeito indireto do sono no tempo de reação, tem-se a redução do desempenho operacional, que pode estar associado à diminuição da atenção e da agilidade, primordiais para a execução da função do profissional responsável pelo controle do tráfego aéreo. Essas condições põem em risco a segurança aérea, visto que aumenta a probabilidade de fadiga humana, e o consequente erro na tomada de decisão, análise dos dados ou comunicação, que poderão contribuir para acidentes aéreos. Finalizada a discussão sobre os efeitos indiretos, foram verificadas as implicações práticas do que impacta o Desempenho Operacional dos ATCOs.

5.3 Implicações Práticas que Impactam o Desempenho Operacional

5.3.1 *Importance Performance Map Analysis - IPMA*

Para especificar e priorizar as ações a serem tomadas foi realizada um mapa de análise de importância-desempenho (*Importance Performance Map Analysis - IPMA*), que tem

como objetivo posicionar as variáveis independentes no gráfico, considerando a importância delas em relação ao desempenho da variável Desempenho Operacional, como mostrado na Figura 5.4

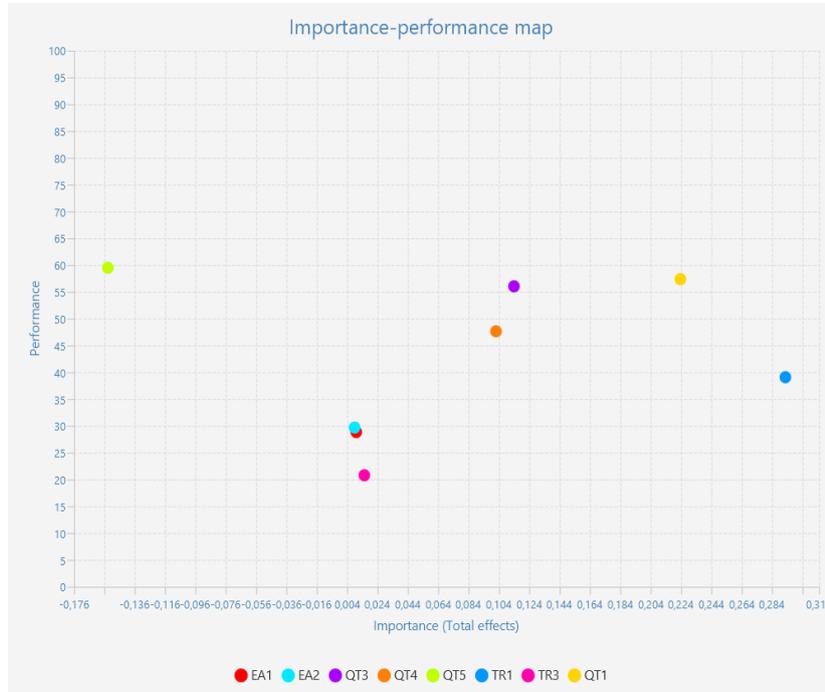


Figura 5.4: Análise do IPMA

Fonte: Extraído do *software SmartPLS*

Na análise de IPMA mostrada na Figura 5.4, pode-se perceber que os dois pontos (QT1 e TR1, isolados à direita do mapa, nas cores amarelo e azul) deverão ser priorizados e tratados como indicadores. Eles dizem respeito à consciência do controlador quanto às reações mais lentas que as habituais e quanto à frequência de vezes que o controlador sentiu sono enquanto trabalhava. Por esta razão, o modelo deverá ser revisado a começar pelas perguntas QT1 e TR1, prioritariamente.

Verificou-se por meio de estudos que muito do que o ser humano necessita para o funcionamento adequado dos processos cognitivos é fornecido durante o sono, apontando a variável quantidade do sono como primordial para o bom funcionamento das atividades diárias [104]. Sendo a quantidade de sono importante para a função cognitiva, habilidades como memória, atenção, raciocínio, alerta psicomotor e percepção visual podem ser gravemente prejudicadas pela privação de sono [105].

Dessa maneira, os danos causados pela privação do sono são tão profundos no funcionamento humano que é difícil encontrar funções que permaneçam inalteradas [106].

No trabalho exercido pelos ATCOs, esses efeitos podem afetar a qualidade do desempenho de muitas tarefas e, em casos extremos, a privação do sono pode ser perigosa para o ambiente operacional, provocando acidentes ou incidentes aeronáuticos graves [107].

Existem numerosos estudos na literatura objetivando examinar a relação entre sono e tempo de reação, incluindo o efeito do sono na aprendizagem e no esquecimento antes e depois do sono, relacionados ao ciclo circadiano [108].

Desse modo, propõe-se algumas maneiras desses pontos serem aperfeiçoados em trabalhos futuros, como mostrado na Tabela 5.6. Tais sugestões visam contribuir com a qualidade de vida do ATCO, buscando não só soluções teóricas, mas também implicações práticas que possam ser executadas no dia a dia, contribuindo para a segurança operacional.

Tabela 5.6: Assertivas e sugestões referentes ao questionário aplicado

Pergunta	Sugestão
TR1 - No último mês, ocorreu uma situação em que você respondeu lentamente a estímulos normais.	Seja implementado programas de conscientização relacionados ao consumo de bebidas alcoólicas, ao tabagismo e incentivo à prática de exercícios físicos, que propiciarão maior qualidade de vida.
QT1 - No último mês, com que frequência você sentiu sono durante o dia, enquanto trabalhava?	Seja implementado o <i>software</i> FAST (<i>Fatigue Avoidance Scheduling Tool</i>) a fim de mensurar o desempenho operacional do ATCO por meio do monitoramento do sono.

Além das sugestões relacionadas na Tabela 5.6, propõe-se a utilização de ferramentas de tratamento de riscos existentes em ambiente operacional: o Reporte Voluntário de Fadiga (RVF), o Reporte de Indício de Fadiga Pós-ocorrência de Tráfego Aéreo (RIF), o método de Avaliação e Mitigação de Fatores de Fadiga, entre outros, que serão detalhados na Subseção 5.5.2, que tratará da elaboração de uma ferramenta computacional, chamada de Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF). Essas ferramentas servirão de subsídios para as investigações de acidentes e incidentes de tráfego aéreo, relacionando fatores concernentes à suscetibilidade das condições de fadiga.

De posse dessas informações, a Seção 5.4 mostrará a proposição de um novo processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana, com base na modelagem TO-BE, que visa

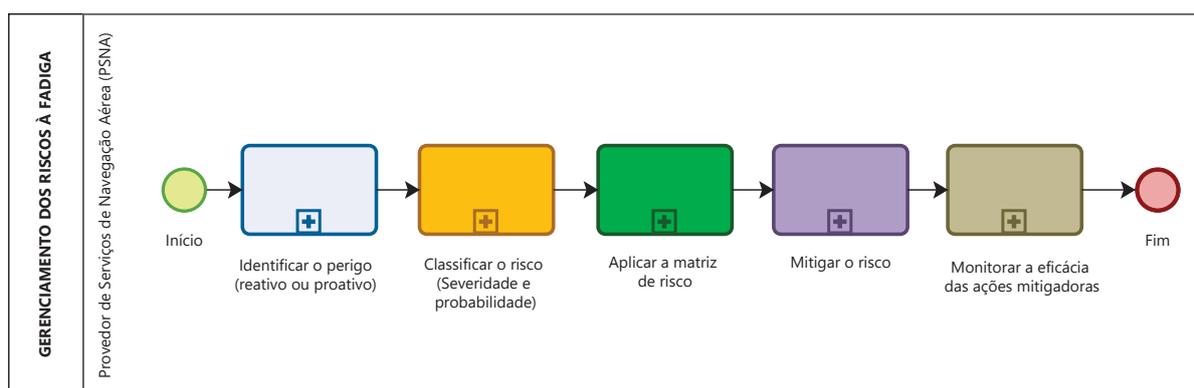
mostrar como, estruturalmente, pode-se alcançar o estado desejado no processo sugerido, a partir da análise do IPMA.

5.4 Proposição de um novo processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana no CINDACTA I (TO-BE)

O gerenciamento do risco à fadiga humana é baseado em quatro componentes do *Safety Management System* (SMS), que integram a sua estrutura. Desta maneira, o Prestador dos Serviços de Navegação Aérea (PSNA) deverá atualizar seus procedimentos vigentes, ou se necessário, estabelecer novos processos:

- Política e Objetivos da Segurança Operacional;
- Gerenciamento do Risco;
- Garantia da Segurança Operacional; e
- Promoção da Segurança Operacional.

A partir das informações coletadas nas etapas 1 e 2, foi possível elaborar uma nova versão do processo de Gerenciamento do Risco à Fadiga, (TO-BE) [83], a fim de eliminar os problemas encontrados, mostrados na Figura 5.1, por meio de sub-processos embutidos, que mostram uma visão contraída, na qual os detalhes ficam ocultos, como pode-se notar na Figura 5.5.



Powered by
bizogj
Modeler

Figura 5.5: Modelagem TO-BE contraído do Processo de Gerenciamento de Risco à Fadiga

Com base na Figura 5.5, elaborou-se a versão estendida dos processos de gerenciamento de risco à fadiga, a fim de mostrar o detalhamento na visão do processo em que ele está contido, como demonstrado na Figura 5.6.

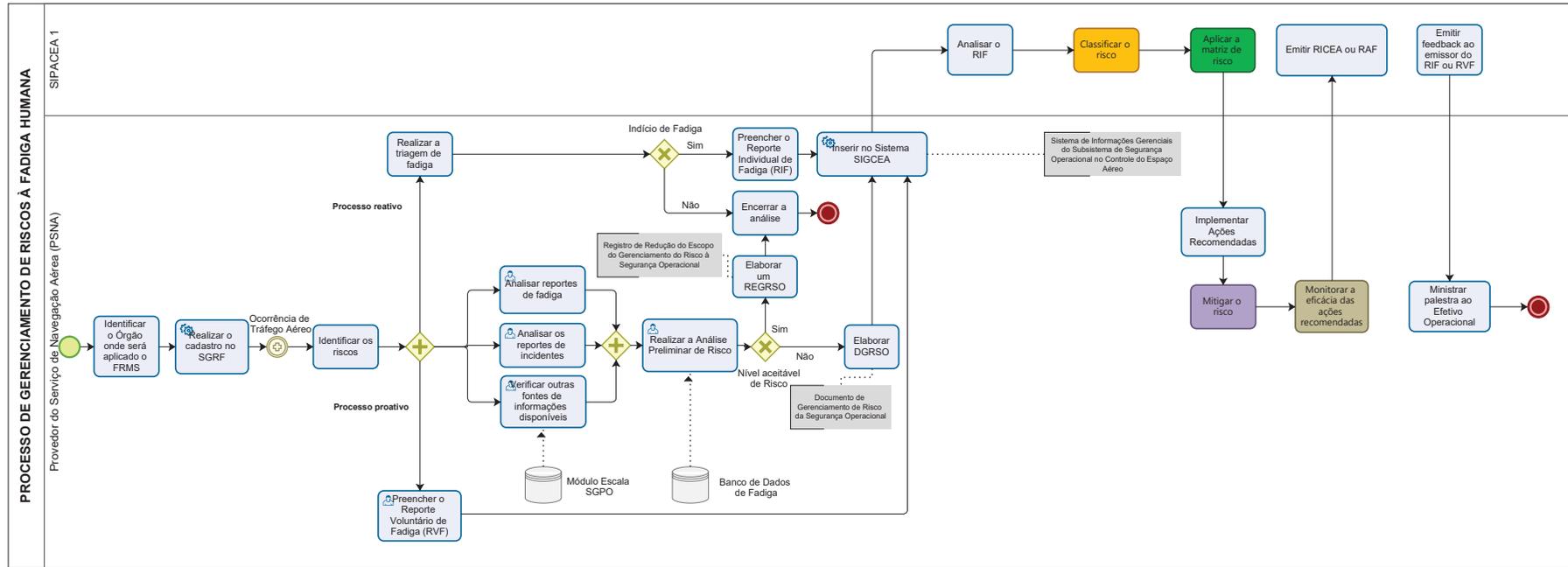


Figura 5.6: Modelagem TO-BE expandido do Processo de Gerenciamento de Risco à Fadiga

Conforme pode ser observado nas Figuras 5.5 e 5.6, o macroprocesso de gerenciamento de riscos de fadiga deve conter os seguintes processos, com base na abordagem FRMS: identificação do perigo, classificação do risco, aplicação da matriz de risco, mitigação e monitoramento da eficácia das ações mitigadoras, conforme detalhes apresentados na Seção , por intermédio da Figura 3.2.

Pretende-se com o novo processo proposto, otimizar o tempo e tornar mais eficiente a tomada de decisão, pois possibilita visualizar toda a trajetória do processo dentro da Instituição. Em suma, o TO-BE viabiliza a padronização nos processos, possibilita a melhoria na qualidade das entregas, propicia a redução de retrabalhos, otimiza o fluxo de informações, melhora a visão das tarefas e, por fim, implementa a cultura de inovação na Organização.

Cabe ressaltar que o Prestador dos Serviços de Navegação Aérea (PSNA) é o responsável pelo desenvolvimento e manutenção dos processos documentados na Figura 5.6. Após modelagem dos processos, a Seção 5.5 contemplará a etapa de desenvolvimento da ferramenta computacional, contendo o levantamento dos principais requisitos técnicos e operacionais para gerenciamento da fadiga, e a elaboração da ferramenta, contemplando o processo de gestão de riscos.

5.5 Proposição de uma interface computacional

A presente etapa do estudo, como proposto pela Figura 4.3, no Capítulo 4, Seção 4.2, detalha o processo de desenvolvimento do protótipo computacional, desde o levantamento de requisitos, ferramentas utilizadas e desenvolvimento da interface. Desta maneira, objetiva-se que os detalhes explicitados sejam possíveis de serem reproduzidos e continuados.

5.5.1 Levantamento dos principais requisitos técnicos e operacionais para gerenciamento da fadiga

Na engenharia de *software*, o levantamento de requisitos é um dos estágios iniciais do desenvolvimento de um *software*. As principais funções e funcionalidades da ferramenta computacional são definidas, e servirão de base para a próxima etapa: prototipagem, implementação e testes. Os requisitos podem ser definidos como funcionais e não funcionais [109].

De acordo com Sommerville (2011) [110], requisitos funcionais descrevem explicitamente as funcionalidades e serviços do sistema. Além disso, têm a função de documentar como o sistema deve reagir a entradas específicas, como deve se comportar em determina-

das situações, e o que o sistema não deve fazer. Já os requisitos não funcionais, definem propriedades e restrições do sistema, como segurança, desempenho e espaço em disco, por exemplo. Pode ser de todo o sistema ou parte dele, e, normalmente, são mais críticos que os requisitos funcionais, pois se ele não for apropriado, o sistema perde sua aplicabilidade.

Para o levantamento dos requisitos, buscou-se explorar as melhores maneiras de elicitação com base na engenharia de requisitos, além de propiciar a análise e especificação de requisitos para um sistema de informação, considerando as necessidades e pontos de vista dos *stakeholders*, os quais são considerados atores determinantes para a produtividade e qualidade de um sistema [111].

Com base nessas informações e também na análise extraída do IPMA, mostrada na Figura 5.4, foi possível identificar os fatores a serem priorizados, de modo a propiciar um melhor gerenciamento dos riscos concernentes à fadiga humana dos ATCOs. Deste modo, foram listados Requisitos Funcionais (RF), Requisitos Não Funcionais (RNF) e Requisitos Técnicos (RT), de acordo com as premissas e restrições do gerenciamento dos riscos de fadiga para controladores de tráfego aéreo. Os requisitos levantados podem ser observados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Levantamento de Requisitos

Requisito	Tipo
Funcionalidade Primária - FP	Prover o gerenciamento de riscos da Fadiga Humana em ATCO
Descrição	Prover o gerenciamento de riscos relacionados à fadiga humana, por meio da implementação de requisitos funcionais no Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF), de modo a implementar um Banco de Dados de Fadiga.
Requisito Funcional - RF01	Documentações
Descrição	O sistema deve oferecer telas apropriadas para o usuário ler documentos armazenados, como publicações de interesse do Comando da Aeronáutica.
Requisito Funcional - RF02	Cadastro de Usuário e <i>Login</i>

Continua na próxima página

Tabela 5.7 – Continuação da tabela

Requisito	Tipo
Descrição	Por meio de uma tela de login e senha, o usuário deverá se registrar no sistema para primeiro acesso. Após o cadastro o usuário será redirecionado para tela de sistemas automaticamente.
Requisito Funcional - RF03	Preenchimento do Reporte Voluntário de Fadiga (RVF)
Descrição	Por meio de um formulário próprio, o usuário responderá <i>voluntariamente</i> questões referentes ao seu posto de trabalho, de modo a investigar indícios de fadiga. Tais dados serão armazenados em Banco de Dados.
Requisito Funcional - RF04	Preenchimento do Reporte de Indício de Fadiga (RIF)
Descrição	Por meio de um formulário próprio, o usuário responderá <i>obrigatoriamente</i> questões referentes ao seu posto de trabalho, tão logo seja envolvido em uma ocorrência de tráfego aéreo, de modo a investigar indícios de fadiga. Tais dados serão armazenados em Banco de Dados.
Requisito Funcional - RF05	Diário de Sono e Vigília
Descrição	O usuário deverá preencher o diário de sono e vigília, conforme preconiza o Anexo H do Manual do Comando da Aeronáutica (MCA) 81-1.
Requisito Funcional - RF06	Escalas Operacionais
Descrição	O Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF) terá um <i>link</i> direto com o módulo escala do Sistema de Gerenciamento de Pessoal Operacional (SGPO), de modo que as Escalas Operacionais possam ser acessadas e utilizadas para controle dos limites prescritivos máximos e mínimos de horas de trabalho.
Requisito Funcional - RF07	SIGCEA

Continua na próxima página

Tabela 5.7 – Continuação da tabela

Requisito	Tipo
Descrição	O Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF) terá um <i>link</i> direto com o SIGCEA Sistema de Informações Gerências do Subsistema de Segurança Operacional no Controle do Espaço Aéreo (SIGCEA), de modo que o Sistema possa ser acessado e utilizado como uma forma adicional de controle dos riscos analisados por meio de reportes mandatórios (RIF) e voluntários (RVF).
Requisito Funcional = RF08	Gerar e enviar Relatório
Descrição	Os relatórios gerados pelo SGRF seguirão o padrão do Anexo E do MCA 81-1 ou do Anexo A da ICA 81-1, conforme for o caso a ser analisado. Tais relatórios conterão as análises obtidas por intermédio dos formulários preenchidos, bem como as Ações Recomendadas.
Requisito Não Funcional - RNF01	Privacidade
Descrição	Informações pessoais dos usuários não podem ser visualizadas pelos operadores do sistema, em conformidade com a LGPD - Lei Geral de Proteção de Dados.
Requisito Não Funcional - RNF02	Segurança e desempenho
Descrição	O sistema deverá ser projetado, construído, mantido e operado usando os procedimentos apropriados e validados, de modo a atingir os desempenhos exigidos, para uma aplicação específica, em particular em termos de tempo de processamento, integridade, disponibilidade de 99.995%, e continuidade de função, conforme Contrato de Nível de Serviço (SLA - <i>Service Level Agreement</i>).
Requisito Não Funcional - RNF03	Robustez

Continua na próxima página

Tabela 5.7 – Continuação da tabela

Requisito	Tipo
Descrição	O tempo de reinício após uma falha não pode ser superior a 30 segundos.
Requisito Não Funcional - RNF04	Treinamento
Descrição	O tempo gasto em treinamento deve ser de no mínimo 30 h.
Requisito Técnico - RT01	Processador
Descrição	O Sistema deverá possuir 02 (dois) processadores físicos <i>Six-Core</i> ou superior, com <i>clock</i> mínimo de processamento de 2,4 GHz. O padrão de arquitetura do processador x86 de 32 bits com suporte à extensão 64 bits, com tecnologia de fabricação de 22 nanômetros e memória cache L3 integrada ao processador com no mínimo 10 MB.
Requisito Técnico - RT02	Memória
Descrição	O Sistema deverá possuir 64 GB de memória RAM do tipo DDR3 ou superior, expansível até 384 GB.
Requisito Técnico - RT03	Unidade de Armazenamento de dados
Descrição	Para armazenamento seguro e com redundância de discos, deverá ser utilizado <i>Storages</i> com as características mínimas apresentadas a seguir: <ul style="list-style-type: none"> • 02 (duas) fontes redundantes com características <i>hot swapping</i>, com faixa de entrada de 100 VAC à 240 VAC a 60 Hz; • Ventiladores redundantes.
Requisito Técnico - RT04	Disco Rígido
Descrição	01 (uma) controladora <i>onboard</i> para discos rígidos com taxa de transferência de dados de no mínimo 02 (dois) GB, e com possibilidade de implementação dos níveis de RAID 6 e 10.

Continua na próxima página

Tabela 5.7 – Continuação da tabela

Requisito	Tipo
Requisito Técnico - RT05	Sistema Elétrico
Descrição	Para o suprimento de energia elétrica e o sistema de proteção (malhas de aterramento), deverão estar em conformidade com a Norma NBR-5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão, da ABNT.
Requisito Técnico - RT06	Banco de Dados
Descrição	O software gerenciador de Banco de Dados a ser utilizado será o <i>PostgreSQL</i> 9.6.
Requisito Técnico - RT07	Linguagem de Programação
Descrição	A linguagem de programação utilizada será Java, OpenJDK 11.
Requisito Técnico - RT08	Monitor
Descrição	Será utilizado um monitor com as seguintes configurações: <ul style="list-style-type: none"> • <i>UltraWide 34" FHD IPS HDR10 with stand Native Resolution: FHD 2560 x 1440@ 60 Hz;</i> • <i>emphSignal Input Connectors: 01 x DisplayPort e 02 x HDMI.</i>
Requisito Técnico 09	Sistema Operacional
Descrição	O Sistema Operacional utilizado será <i>CentOS</i> .

Fim da tabela

Ressalta-se que, para realizar o levantamento dos requisitos e aspectos técnicos, foram entrevistados profissionais da Seção de Informática Operacional do CINDACTA I, chamada de TIOP, em Brasília, que atuam diretamente no desenvolvimento de sistemas de informação. Esses profissionais possuem formação em arquitetura de *software*, análise de sistemas, gestão de projetos, engenharia de requisitos e de usabilidade, totalizando 7 pessoas. O critério utilizado para seleção dos participantes foi a amostragem por conveniência [112].

Com base nos requisitos levantados, a Subseção 5.5.2 mostra em detalhes o desenvolvimento da ferramenta computacional, nomeado de Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF).

5.5.2 Elaboração de uma ferramenta computacional, contemplando o processo de gestão de riscos.

Para o desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF) por meio da abordagem *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS), necessitou-se projetar um sistema orientado por dados, visando monitorar e gerenciar, continuamente, os riscos à segurança operacional concernentes à fadiga, baseado em princípios e conhecimento científicos. Considerou-se, também, a vivência operacional, de modo a garantir que os operadores envolvidos no processo trabalhem com níveis de alerta adequados.

A implementação de um FRMS deve ser feita em quatro fases, como mostra a Figura 5.7. Cada uma dessas fases deve ser revisada e aprovada pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), antes de dar início à implementação da próxima fase.

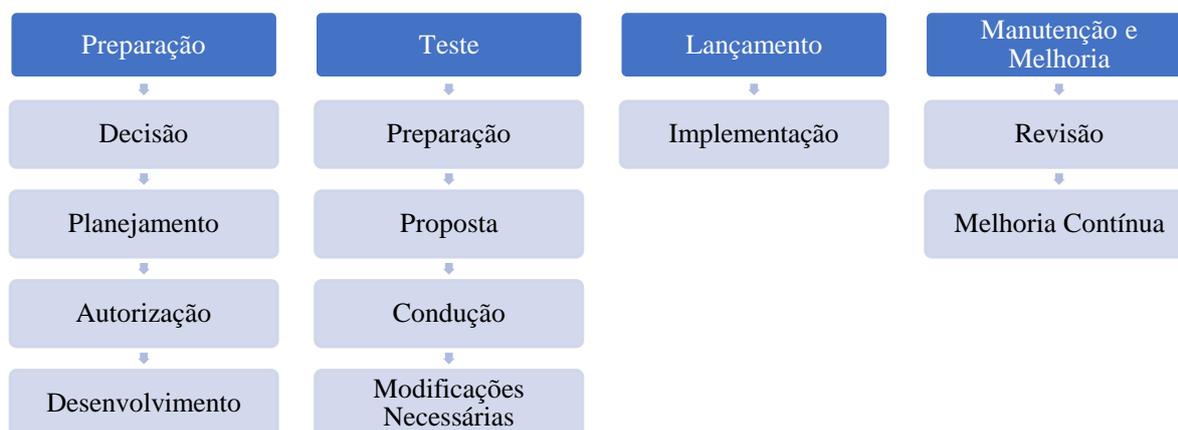


Figura 5.7: Processo de Implementação do FRMS

Fonte: (Adaptado de BRASIL, 2020)

A Figura 5.7 visa orientar a implementação de cada fase do FRMS, conforme as seguintes características, normatizadas pela *International Civil Aviation Organization* - Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) [28]:

1. Preparação

Decisão

- O Prestador dos Serviços de Navegação Aérea (PSNA) apresenta uma proposta fundamentada sobre as razões operacionais e de segurança pelas quais precisa do FRMS;

- O Órgão Regulador, Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), avalia o *Safety Management System* (SMS) do PSNA;
- O Órgão Regulador concede a permissão para continuar.

Planejamento

- *GAP Analysis*, a fim de garantir decisões mais assertivas e alinhadas ao que se espera;
- Desenvolvimento do Plano de Ação para a implementação do FRMS.

Autorização

- Alocação de recursos humanos e financeiros;
- Estabelecimento do Grupo de Ação da Fadiga ou equivalente.

Desenvolvimento

- Política do FRMS;
- Documentação do FRMS;
- Plano de Comunicação;
- Plano de Treinamento.

2. Teste

Preparação

- Providenciar o preparo do Plano de Teste (objetivo, duração e mitigações);
- Administrar o treinamento para dar suporte à testagem.

Proposta

- Proposição do Plano de Testes do FRMS;
- Aprovação do Plano de Testes pelo Regulador.

Condução

- Adotar o teste;
- Monitorar os *Safety Performance Indicators* - Indicadores de Desempenho de Segurança (SPI);
- Prover relatórios periódicos de aceitação.

Modificações Necessárias

- Modificar componentes ou processos para melhoria da eficácia do FRMS.

3. Lançamento

Implementação

- Obtenção da aprovação regulatória.

4. Manutenção e Melhoria

Revisão

- O FRMS é submetido a vistorias de rotina pelo Regulador.

Melhoria Contínua

- Utilização dos processos de Garantia da Segurança para manter ou melhorar os processos do FRMS.

Tendo em vista os critérios para implantação, bem como os requisitos levantados e apresentados na Subseção 5.5.1, apresenta-se o Diagrama de Contexto na Figura 5.8, que consiste em uma ferramenta de modelagem do escopo de uma forma gráfica, e, além disso, ilustra o relacionamento do Sistema SGRF com suas entidades externas [113].

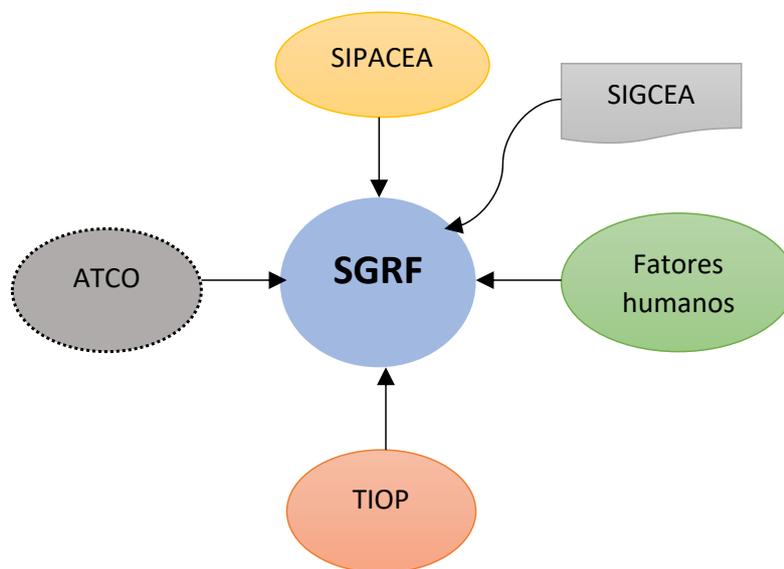


Figura 5.8: Diagrama de Contexto

A Figura 5.8 relaciona-se, externamente, com as seguintes entidades:

1. ATCO

O ATCO acessa o sistema por meio de cadastro de usuário e preenche formulários apropriados, que alimentarão o banco de dados do SGRF.

2. SIPACEA

A Seção de Investigação e Prevenção de Acidentes/Incidentes do Controle do Espaço Aéreo (SIPACEA) é a responsável por assessorar o Comandante nos assuntos relacionados à segurança operacional do controle do espaço aéreo, bem como pela emissão de relatórios de fadiga gerados no SGRF.

3. Seção de Fatores Humanos

É o setor responsável pelo controle e execução das atividades pertinentes a fatores humanos, bem como prover a análise psicológica dos ATCOs por meio dos formulários de reporte de fadiga preenchidos no SGRF.

4. TIOP

A Seção de Informática Operacional (TIOP) tem a responsabilidade de controlar e coordenar as atividades de manutenção e a supervisão dos serviços contratados de suporte de TI dos equipamentos, sistemas e subsistemas operacionais sob sua responsabilidade. Além disso, compete à TIOP prover o armazenamento dos registros de dados processados conforme as normas em vigor, bem como controlar a manutenção de cópias de segurança do SGRF e sua respectiva base de dados.

5. SIGCEA

Corresponde ao Sistema de Informações e Gerências do Subsistema de Segurança Operacional no Controle do Espaço Aéreo, o qual tem como objetivos acelerar o trâmite de informações de Segurança Operacional no controle do Espaço Aéreo.

A partir dessas informações, o sistema foi desenvolvido por meio de seu *backend*, ou seja, trabalha em boa parte dos casos fazendo a ponte entre os dados que vem do navegador e direciona ao banco de dados de fadiga e vice-versa, na linguagem de programação em HTML 5.0 (*HyperText Markup Language*), contemplando componentes *bootstrap* e *AJAX* para implementação de gráficos dinâmicos no SGRF.

Dessa forma, desenvolveu-se o protótipo computacional com *Elementor WordPress* que consiste em um *plugin* para a criação de *sites*. A escolha dessa ferramenta se deu em razão de ter seu funcionamento simplificado e pronto para atender a qualquer projeto, cuja proposta é tornar acessível a qualquer usuário do *WordPress* que queira desenvolver um novo projeto na *web*, mesmo que não tenha experiência com desenvolvimento e programação [87]. O protótipo desenvolvido pode ser acessado por meio do endereço eletrônico:

<https://sgrf.online/>. Escolheu-se um servidor da *hostinger*, com IP dedicado a fim de garantir disponibilidade de 99,995%, com garantia de suporte 24/7/365, ou seja, ininterrupto. Este servidor possui tecnologia PHP (*Hypertext Preprocessor* 7.4, responsável de gerar conteúdo dinâmico na *World Wide Web*.

Vale ressaltar que foi escolhido o domínio (*.online*), em razão da necessidade de distinguir dos sistemas alocados na rede interna (Intranet) do CINDACTA I.

Com base no entendimento geral do sistema, serão apresentados os protótipos das telas desenvolvidas, associadas às suas funcionalidades. A primeira tela, ilustrada pela Figura 5.9, representa o ambiente no qual o usuário irá acessar o SGRF, por meio de e-mail e senha previamente cadastrados.



SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RISCOS DA FADIGA

Logar Registrar

Usuário/Email

Senha

Lembre-me [Esqueceu senha?](#)

ENTRAR

Figura 5.9: Tela de *login*

Caso o usuário não possua cadastro, ele será redirecionado para a página representada pela Figura 5.10

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RISCOS DA FADIGA

Logar	Registrar
-------	-----------

<input type="text" value="E-mail"/>	
<input type="text" value="Nome"/>	<input type="text" value="Sobrenome"/>
<input type="text" value="Senha"/>	
<input type="text" value="Confirme a senha"/>	

Órgão Regional

- CINDACTA I
- CINDACTA II
- CINDACTA III
- CINDACTA IV
- CRCEA-SE

Órgão Operacional

<input type="text" value="Centro de Busca e Salvamento (SAR/BRMCC)"/>

Eu aceito os **Termos e Condições de utilização do Sistema**

REGISTRAR

Figura 5.10: Tela de cadastro

Configurou-se, a partir da tela de cadastro, que, automaticamente, o usuário seja redirecionado para a página principal do SGRF, denominada de "Painel de Controle", como mostra a Figura 5.11.

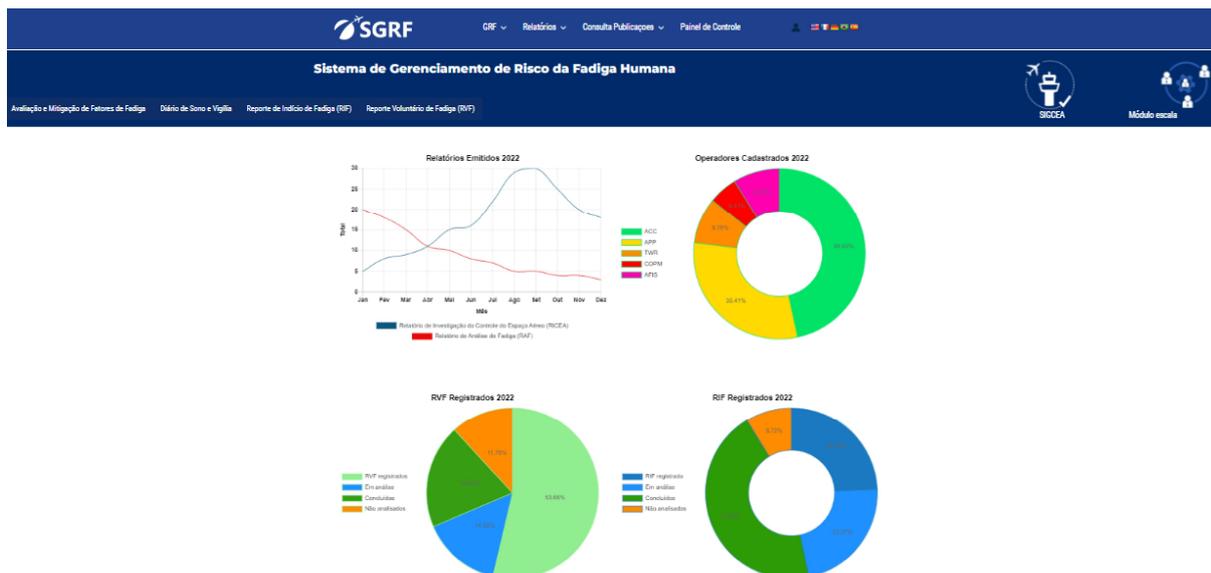


Figura 5.11: Tela principal do Sistema - Painel de Controle

O *Dashboard* ou Painel de Controle representado pela Figura 5.11, apresenta a visão geral do SGRF, contendo no menu principal:

- i) **GRF** - funcionalidade que contempla uma introdução sobre como ocorre o processo de Gerenciamento de Riscos da Fadiga Humana (GRF), detalhado pela Figura 3.2, Capítulo 3, Seção 5.5.2, os formulários destinados à identificação e avaliação dos riscos (RIF e RVF, o Diário de Sono e Vigília), e a tabela destinada à Avaliação e Mitigação dos Fatores de Fadiga;
- ii) **Relatórios** - de acordo com cada análise realizada pelos especialistas e analistas da Seção de Investigação e Prevenção de Acidentes/Incidentes do Controle do Espaço Aéreo (SIPACEA) do CINDACTA I, serão gerados dois tipos diferentes de relatórios: Relatório de Investigação do Controle do Espaço Aéreo (RICEA) ou Relatório de Análise de Fadiga (RAF). A Figura 5.12 demonstra o formato de relatório gerado, de acordo com cada caso, após o preenchimento dos formulários específicos no SGRF.

Já o menu secundário da página "Painel de Controle", contém os seguintes formulários utilizados para identificação e avaliação dos riscos de fadiga humana:

- v) **Reporte de Indício de Fadiga (RIF)** - será preenchido obrigatoriamente sempre que houver uma Ocorrência de Tráfego Aéreo. O ATCO deve responder as 5 (cinco) primeiras perguntas do RIF, que dizem respeito à triagem de Fadiga. Se pelo menos uma das respostas for “Sim”, o restante do RIF deverá ser preenchido completamente; caso todas as respostas seja "Não", encerra-se o preenchimento do formulário;

Cabe ressaltar que o campo "Indicativo Operacional" contempla não somente o RIF, mas outros formulários operacionais, como o RVF e o Diário de Sono e Vigília. Esse indicativo é concedido a cada profissional com a respectiva Licença de ATCO, mediante preenchimento de Ficha Cadastral de Controlador de Tráfego Aéreo, assinado pelo Chefe do Órgão Regional ao qual estiver subordinado o Operador. Em seguida, essa ficha é remetida ao Subdepartamento de Operações do DECEA, que reservará o referido indicativo contendo a combinação de 4 letras maiúsculas, em conformidade com Instruções vigentes no Comando da Aeronáutica [114].

Verifica-se, ainda, se a ocorrência de tráfego aéreo foi ocasionada por um dos 3 motivos:

- (a) **Proximidade entre Aeronaves (AIRPROX)** – situação em que a distância entre aeronaves, suas posições relativas e velocidades foram contribuintes para que a segurança tenha sido comprometida;
- (b) **Procedimentos** – situação na qual se observa a existência de dificuldades operacionais por procedimentos falhos, ou pelo não cumprimento dos procedimentos operacionais aplicáveis; e
- (c) **Facilidades** – situação em que a falha de qualquer componente da infraestrutura de navegação aérea tenha causado dificuldades operacionais.

Sendo um dos três motivos supramencionados, é caracterizado como Incidente de Tráfego Aéreo. Desta maneira, analisa o RIF e inicia-se a investigação por meio do RICEA (Relatório de Investigação do Controle do Espaço Aéreo). Não sendo nenhuma das 3 razões, não se faz necessário instaurar um processo de investigação;

- vi) **Reporte Voluntário de Fadiga (RVF)** - representa uma ferramenta de incentivo ao cumprimento contínuo da equipe em reportar os riscos de fadiga de forma voluntária. A partir dele, é gerado o Relatório de Análise de fadiga (RAF);
- vii) **Diário de Sono e Vigília** - tem o objetivo de mitigar a fadiga no âmbito individual. Quando houver a necessidade de orientação a algum ATCO, o setor de Fatores

Humanos da SIPACEA, em grupo ou individualmente, poderá orientá-lo a realizar a atividade de registros no Diário de Sono e Vigília, visando coletar informações sobre suas rotinas reais de horários de trabalho e sono/vigília. O resultado desse registro servirá de subsídio para ajustar os horários, se houver necessidade, ou aplicar outras intervenções;

viii) **Avaliação e Mitigação de Fatores de Fadiga** - método utilizado para avaliar os riscos de fadiga relacionados ao turno de trabalho, ou operação específica, com o propósito de determinar estratégias de mitigação adequadas. Esse método se baseia em princípios científicos, o qual reconhece que a fadiga é resultante de quatro principais fatores:

- débito de sono;
- tempo de vigília;
- fatores circadianos; e
- carga de trabalho

Para aplicar esse método, sugere-se seguir três passos:

(a) **Passo 1:** identificar e assinalar na tabela disponibilizada no menu "Avaliação e Mitigação de Fatores de Fadiga", na coluna "Pior cenário", todos os fatores de fadiga como presentes (assinalar com o número 1), ou ausentes (assinalar com o número 0), conforme mostra a Tabela ilustrada pela Figura 5.13.

Fator de Fadiga		Pior Cenário	Mitigado	Comentários
DÉBITO DE SONO	Noite de sono prévia reduzida < 4 h (noite: 22h às 8h hora local)	1	1	Não relevante se for o 1º turno
	Noite de sono prévia reduzida > 4 h	1	0	Evitar o término da jornada no dia anterior depois da meia-noite
	Sono noturno reduzido > 4 h antes da noite prévia	1	0	Evitar apresentação em qualquer dia anterior depois da meia-noite
	Turno Noturno prévio (apenas sono diurno)	1	0	Evitar apresentação em qualquer dia anterior depois da meia-noite
TEMPO DE VIGÍLIA	Tempo transcorrido desde acordado > 2 h antes da apresentação	1	1	
	Tempo transcorrido desde acordado > 6h antes da apresentação	1	1	Cochilo anterior à jornada recomendado
	Tempo na tarefa > 10 h (turno de trabalho)	1	1	Jornada > 10 h à noite
	Tempo na tarefa > 8 h mas <12 h (turno de trabalho)	0	0	
FATORES CIRCADIANOS	Desajuste circadiano > 4 h	1	0	Jornadas anteriores devem começar cedo
	Turno depois das 23h, hora local ou término de madrugada	1	1	
	Tempo na posição operacional < 2 h durante WOCL	1	1	
	Tempo na posição operacional > 2 h durante WOCL	1	0	
CARGA DE TRABALHO	4 ou 5 turnos de serviço consecutivos	0	0	
	5 ou 6 turnos de serviço / ou 3 turnos de serviço noturnos	0	0	
	Dificuldades conhecidas	0	0	
	Atividades Extras (PIMO)	0	0	Evitar atividades extras (PIMO) neste período
Soma dos fatores		11	6	

Figura 5.13: Avaliação e Mitigação de Fatores de Fadiga

No exemplo demonstrado pela Figura 5.13, a soma dos fatores de fadiga é 11 (onze). Esse resultado mostra que, nas condições existentes e no pior cenário, esse tipo de turno de trabalho ou operação não pode ser realizado, a menos que esse número de fatores de fadiga seja reduzido por intermédio da mitigação.

- (b) **Passo 2:** utiliza-se novamente a tabela exemplo (Figura 5.13), a qual cada fator assinalado como presente (1), na coluna "Pior cenário", é avaliado de modo a determinar se pode ou não ser evitado por meio de medidas mitigadoras, assinalando na coluna "Mitigado", como evitável (0) ou não evitável (1). Avalia-se o somatório da coluna "Mitigado", por intermédio da tabela representada pela Figura 5.14, para verificar a tolerabilidade.

Avaliação do Somatório dos Fatores da Fadiga sob as Condições Existentes		
Fatores de fadiga	Tolerabilidade	Ação
0-3	Aceitar	Nenhuma mitigação requerida.
4-6	Checar	Identificar as mitigações para reduzir os fatores de fadiga.
7-9	Mitigar	Identificar as mitigações para reduzir ao mínimo os fatores de fadiga remanescentes.
> 9	Não Aceitar	Identificar as mitigações para reduzir ao mínimo aceitável os fatores de fadiga remanescentes. Se não for possível, a jornada não pode ser aplicada.

Figura 5.14: Categorização para avaliação da soma dos fatores de fadiga (Passo 1)

No exemplo adotado (Figura 5.13), existem 6 (seis) fatores de fadiga restantes. Desta maneira, utiliza-se esse número de fatores remanescentes para determinar se a situação em análise, após os fatores serem mitigados, é aceitável ou não, conforme ilustra a Figura 5.15.

Tolerabilidade do Somatório dos Fatores da Fadiga após as Ações Mitigadoras		
Fatores de fadiga	Prejuízo ocasionado pela fadiga	Aceitabilidade
0-3	Baixo	Aceitável, não há ação mitigadora requerida.
4-6	Aumentado	Aceitável, mas deve-se manter os fatores de fadiga tão baixos quanto possível. Monitorar operação.
7-9	Significativo	Aceitável se os fatores de fadiga forem mantidos ao mínimo (todos os fatores evitáveis são evitados). O número de vezes que esta jornada pode ser programada é limitado para cada controlador em dado período. Requerido o monitoramento deste período de trabalho.
> 9	Alto	Não aceitável

Figura 5.15: Categorização da tolerabilidade da soma dos fatores de fadiga após as ações mitigadoras (Passo 2)

- (c) **Passo 3:** utiliza-se a Matriz de Tolerabilidade de Risco para Fadiga Acumulada, demonstrada pela Figura 5.16, cujo objetivo é apresentar uma avaliação de risco adicional dos fatores de fadiga, a fim de verificar o risco de fadiga acumulada em um determinado período. Desta maneira, introduz-se uma dimensão chamada de "frequência de exposição", que permite categorizar o risco de fadiga, com uma pontuação específica, conforme a quantidade de vezes (frequência) que um tipo de turno de trabalho ou uma operação foi planejada.

Frequência da Exposição por controlador por Período de Trabalho (por semana)				
Fatores de fadiga	Pode ser programado todos os dias	Pode ser programado duas vezes por semana	Pode ser programado uma vez por semana	Circunstâncias Inesperadas
0-3	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
4-6	Moderado	Moderado	Baixo	Baixo
7-9	Alto	Moderado	Moderado	Moderado
> 9	Alto	Alto	Alto	Alto

Figura 5.16: Matriz de tolerabilidade de risco para fadiga acumulada (Passo 3)

Vale ressaltar que as avaliações são subjetivas, e que as categorias devem ser identificadas por cada Prestador dos Serviços de Navegação Aérea (PSNA) e aplicada em um contexto específico.

- ix) **Módulo Escala** - essa funcionalidade, mostrada na Figura 5.17, redireciona o usuário para outro sistema desenvolvido pelo DECEA, o Sistema de Gerenciamento de Pessoal Operacional (SGPO), que propicia, entre outras funções, o monitoramento das escalas operacionais previstas e cumpridas. Essa ferramenta é de suma importância, pois visa verificar o cumprimento dos limites prescritivos máximos e mínimos de horas de trabalho de cada operador.

Logo: SGPO ESCALA

Campos de entrada: E-mail, Senha

Botão: Acessar

Figura 5.17: Tela de *login* para o Módulo Escala do SGPO

- x) **SIGCEA** - como ilustrado no Diagrama de Contextos na Figura 5.8, o usuário poderá ser redirecionado para o SIGCEA, Sistema de Informações e Gerências do Subsistema de Segurança Operacional no Controle do Espaço Aéreo, o qual tem como objetivos acelerar o trâmite de informações de Segurança Operacional no controle do Espaço Aéreo, sendo, portanto, mais uma ferramenta de auxílio na análise dos processos de investigação de fadiga dos ATCOs. A tela inicial do SIGCEA é mostrada na Figura 5.18.



Figura 5.18: Tela inicial do SIGCEA

A Figura 5.18 mostra outros tipos de riscos avaliados pelo Sistema, que não fazem parte do escopo deste estudo, mas que são de extrema importância para a segurança operacional, como os riscos concernentes a raio laser, o risco de fauna (perigo aviário) e o risco baloeiro.

As telas apresentadas foram desenvolvidas visando a continuidade e melhoria do Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF), com base em um ambiente favorável às boas práticas da inovação. Observa-se que, o SGRF contempla o macroprocesso de gerenciamento de riscos de fadiga, ilustrado pelas Figuras 5.5 e 5.6, por intermédio dos seguintes processos: identificação do perigo, classificação do risco, aplicação da matriz de risco, mitigação e monitoramento da eficácia das ações mitigadoras, conforme detalhes apresentados na Seção , por intermédio da Figura 3.2. Desta maneira, a prototipação das telas do protótipo computacional proposto, a partir do levantamento das necessidades e dos requisitos básicos, foi finalizada.

Buscou-se implementar as funcionalidades necessárias para implantação de um Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga Humana, na abordagem *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS), contemplando o processo de gestão de riscos, detalhado pela Figura 3.2, na Seção 5.5.2.

Na próxima etapa do estudo, será coletada a percepção dos especialistas com o objetivo de validar a ferramenta proposta, como mostra a Seção 5.6 .

5.6 Validação da Ferramenta Computacional

Nesta última etapa do estudo, como definido na Figura 4.3, no Capítulo 4, Seção 4.2, pretende-se captar a percepção dos especialistas com relação à ferramenta desenvolvida. Buscou-se também, apresentar a solução computacional aos analistas, por meio de reuniões, objetivando uma validação do Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF), avaliando a viabilidade de utilização da ferramenta pela instituição. Essas reuniões se basearam na técnica *Delphi*, mencionada na Subseção 4.2.5.

5.6.1 Descrição dos Procedimentos de Testes de Aceitação (SAT) do Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF)

Esta etapa do estudo contempla os Procedimentos de Testes de Aceitação (SAT – *Site Acceptance Test*) do Sistema (SGRF), que consiste em uma série de testes que variam desde a verificação de que todo o equipamento de controle chegou em condições próprias de operacionalização conforme especificado no levantamento de requisitos, até à validação da correta funcionalidade do sistema desenvolvido [115].

Um dos objetivos do SAT é verificar os detalhes do produto, comparando com o que foi projetado e prototipado.

Para que o evento de teste pudesse ser atendido, necessitou-se de *hardware* e *software* instalados, identificando ambiente de rede, servidores, monitores, equipamentos externos e subsistemas adequados, a saber:

- Monitor;
- Sistema Operacional CentOS;
- *Software* Gerenciador de Banco de Dados Postgres 9.6;
- *Software* JAVA, OpenJDK 11; e
- Versão 1.0.0 do SGRF.

5.6.2 Descrição dos Testes

Os casos de testes foram executados e validados por meio de reuniões com oito especialistas das seguintes áreas:

- 02 especialistas em informática operacional;
- 02 analistas de sistemas;
- 02 psicólogos, analistas de fatores humanos; e

- 02 controladores de tráfego aéreo.

Para cada funcionalidade, executou-se os casos de testes, ou seja, a simulação real de cada função do sistema, com base nos Requisitos Funcionais (RF) e na Funcionalidade Primária (FP) do SGRF, mostrados na Tabela 5.7. Para isso, elaborou-se um manual dos casos de testes para validação, detalhado passo a passo, como mostra a Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Manual dos Casos de Testes para Validação

Caso de Teste 01: Cadastro de usuário e <i>login</i>			
Objetivo do teste: Validar o cadastro do usuário.			
Pré-condições: Ter acesso ao sistema e suas funcionalidades.			
Observações: Cada usuário deverá possuir um único cadastro por meio do seu CPF e <i>e-mail</i> .			
Requisitos: RF01			
Nº de Passos	Ações do Passo	Resultados Esperados	Passou/Falhou
1	Preencher os campos obrigatórios para efetuar o cadastro.	O <i>login</i> permite acesso ao Sistema.	Passou
2	Ser redirecionado para a página Painel de Controle.	O usuário é redirecionado para a página principal do sistema.	Passou
3	Acessar o sistema e visualizar a tela principal (Sistema).	É exibido a tela Sistema com os principais formulários na tela.	Passou
Caso de Teste 02: Documentações			
Objetivo do teste: Disponibilizar documentações para consulta do usuário.			
Pré-condições: Estar logado no sistema.			
Requisitos: RF01, RF02			
Nº de Passos	Ações do Passo	Resultados Esperados	Passou/Falhou

Continua na próxima página

Tabela 5.8 – *Continuação da tabela*

1	Acessar o sistema	O <i>login</i> permite acesso ao Sistema.	Passou
2	Selecionar a publicação desejada para consulta	Ser redirecionado para o sítio eletrônico do DE-CEA e fazer o <i>download</i> das publicações no formato PDF	Passou

Caso de Teste 03: Preenchimento do Reporte Voluntário de Fadiga (RVF)

Objetivo do teste: Visualizar o formulário RVF, preencher e enviar.

Pré-condições: Estar logado no sistema e preencher o RVF voluntariamente.

Requisitos: RF01, RF03

Nº de Passos	Ações do Passo	Resultados Esperados	Passou/Falhou
1	Acessar o sistema	O <i>login</i> permite acesso ao Sistema.	Passou
2	Selecionar o formulário RVF	Preencher as informações contidas no formulário e enviar.	Passou

Caso de Teste 04: Preenchimento do Reporte de início de Fadiga (RIF)

Objetivo do teste: Visualizar o RIF, preencher os campos obrigatórios e enviar.

Pré-condições: Estar logado no Sistema e ter se envolvido em Ocorrência de Tráfego Aéreo.

Continua na próxima página

Tabela 5.8 – Continuação da tabela

Requisitos: RF01, RF04			
Nº de Passos	Ações do Passo	Resultados Esperados	Passou/Falhou
1	Acessar o sistema	O <i>login</i> permite acesso ao Sistema.	Passou
2	Selecionar o formulário RIF	Preencher as informações contidas no formulário e enviar.	Passou
3	Responder as cinco perguntas de Triagem de fadiga	Se marcar as cinco perguntas como "Não", encerra-se o reporte. Se pelo menos uma resposta for "Sim", abre-se o RIF completo para preenchimento.	Passou

Caso de Teste 05: Preenchimento do Diário de Sono e Vigília

Objetivo do teste: Visualizar o diário de sono e vigília, quando solicitado e enviar.

Pré-condições: Estar logado no Sistema e ser solicitado pelo chefe do órgão.

Requisitos: RF01, RF05

Nº de Passos	Ações do Passo	Resultados Esperados	Passou/Falhou
1	Acessar o sistema	O <i>login</i> permite acesso ao Sistema.	Passou

Continua na próxima página

Tabela 5.8 – Continuação da tabela

2	Selecionar o diário de sono e vigília	Preencher as informações contidas no diário e enviar.	Passou
---	---------------------------------------	---	--------

Caso de Teste 06: Acesso ao Módulo Escala

Objetivo do teste: Ter acesso às Escalas Operacionais.

Pré-condições: Estar logado no SGRF e ser redirecionado o SGPO.

Requisitos: RF01, RF06

Nº de Passos	Ações do Passo	Resultados Esperados	Passou/Falhou
1	Acessar o sistema	O <i>login</i> permite acesso ao Sistema.	Passou
2	Clicar no <i>link</i> disponível na página	Ser redirecionado para o módulo Escalas do SGPO.	Passou

Caso de Teste 07: Envio de Relatórios

Objetivo do teste: O Sistema deverá gerar relatório, em formato PDF.

Pré-condições: Ter reportes analisados e assinados.

Requisitos: RF01, RF08

Nº de Passos	Ações do Passo	Resultados Esperados	Passou/Falhou
1	Acessar o sistema	O <i>login</i> permite acesso ao Sistema.	Passou

Continua na próxima página

Tabela 5.8 – Continuação da tabela

2	Gerar relatório teste	Abrir relatório no formato PDF.	Passou
---	-----------------------	---------------------------------	--------

Caso de Teste 08: Acesso ao SIGCEA

Objetivo do teste: Ter acesso ao Sistema SIGCEA.

Pré-condições: Estar logado no SGRF e ser redirecionado ao SIGCEA.

Requisitos: RF01, RF07

Nº de Passos	Ações do Passo	Resultados Esperados	Passou/Falhou
1	Acessar o sistema	O <i>login</i> permite acesso ao Sistema.	Passou
2	Clicar no <i>link</i> disponível na página	Ser redirecionado para o SIGCEA.	Passou

Caso de Teste 09: Prover o GRF para ATCO

Objetivo do teste: O Sistema contempla todo o GRF.

Pré-condições: Ter reportes analisados e assinados.

Requisitos: FP, RF01, RF03, RF04, RF05, RF06, RF07, RF08

Nº de Passos	Ações do Passo	Resultados Esperados	Passou/Falhou
1	Acessar o sistema	O <i>login</i> permite acesso ao Sistema.	Passou
2	Analisar RIF	Mostrar RIF preenchido.	Passou

Continua na próxima página

Tabela 5.8 – *Continuação da tabela*

3	Inicia-se investigação	Gerar RICEA (Relatório de Investigação do Controle do Espaço Aéreo)	Passou
4	Preencher Tabela 6	Analisar fatores de fadiga.	Passou
5	Relacionar com Tabela 7	Avaliar o somatório dos fatores de fadiga.	Passou
6	Relacionar os passos 4 e 5 com a Tabela 8	Construir matriz de tolerabilidade.	Passou

Fim da tabela

Após realizado todos os nove casos de testes pelos oito especialistas, foi possível executar a simulação de cada funcionalidade do SGRF.

Durante aproximadamente 1 hora e 30 minutos, foram apresentados os protótipos das telas do Sistema, mostrando todas as funcionalidades desenvolvidas, como mostrado na Tabela 5.8. Ao fim de cada tela apresentada, os oito participantes podiam validar ou solicitar ajustes. Nenhum participante apontou ajustes a serem realizados.

Deste modo, considera-se validado o resultado do estudo, com vistas a propiciar o gerenciamento de riscos da fadiga humana para os Controladores de Tráfego Aéreo, por meio de uma ferramenta computacional.

5.7 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo, foram apresentados os principais resultados alcançados com este estudo.

Os contextos externos e internos da Organização Militar foram estabelecidos, através dos quais, foi possível mapear o processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana no CINDACTA I, por meio da modelagem AS-IS, propondo um novo processo (TO-BE).

Foi coletada a percepção da fadiga humana dos Controladores de Tráfego Aéreo, por meio da aplicação de questionário, o qual auxiliou a constatar que as perguntas relacionadas ao tempo de reação e estado de alerta, explicam o modelo conceitual proposto em 31,2% e 29,9%, respectivamente.

Para a elaboração da ferramenta computacional, levantou-se os principais requisitos, que serviram de suporte para elaborar o escopo do Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF). Com base nesse levantamento, as telas do Sistema foram prototipadas, testadas e validadas por especialistas da Organização.

Tendo em vista o cumprimento de todas as etapas da pesquisa, o Capítulo 6, apresenta as considerações finais do presente estudo, bem como as propostas de trabalhos futuros.

Capítulo 6

Considerações Finais

O objetivo dessa pesquisa foi alcançado, o qual consistiu em propor uma ferramenta computacional de Gerenciamento de Riscos relacionados à Fadiga Humana, a partir da abordagem FRMS, aplicado ao CINDACTA I, de forma a minimizar os riscos concernentes à fadiga. Ao discorrer sobre a proposição desta ferramenta computacional, foi possível responder à problematização da pesquisa, sobre como gerenciar os riscos relacionados à fadiga humana na abordagem FRMS, a fim de minimizá-los.

O conceito de Sistema de Gerenciamento de Risco à Fadiga proposto nesse trabalho, segundo a abordagem FRMS, forneceu orientações para a redução da fadiga dos ATCOs. Consonante às legislações vigentes, a *Civil Air Navigation Services Organization* - Organização de Serviços de Navegação Aérea Civil (CANSO) com a *International Federation of Air Traffic Controller's Associations* - Federação Internacional de Associações de Controladores de Tráfego Aéreo (IFATCA), propuseram um Guia de Gerenciamento de fadiga para Prestadores de Serviços de Tráfego Aéreo, contemplando recomendações para os Controladores de Tráfego Aéreo [8].

Desta maneira, o primeiro objetivo específico desta pesquisa foi alcançado, o qual consistiu em descrever o processo de gerenciamento da fadiga humana dos ATCOs no Primeiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I), a partir da abordagem prescritiva, por meio de uma revisão de literatura e análise documental. A partir das informações obtidas, foram estabelecidos os contextos externos e internos da Organização em estudo, por meio dos quais, foi possível mapear o processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana no CINDACTA I, baseado na modelagem AS-IS.

O segundo objetivo específico foi atingido mediante a mensuração da percepção da fadiga dos ATCOs. A partir da aplicação de questionário e análise com base nas equações estruturais de mínimos quadrados parciais (PLS-SEM), foi possível avaliar e constatar que as perguntas relacionadas ao tempo de reação e estado de alerta, explicam o modelo

conceitual proposto em 36,9.% e 29,1.%, respectivamente. Esses valores encontrados, especialmente o estado de alerta, podem indicar a perda da plena capacidade de executar adequadamente tarefas operacionais relacionadas à segurança operacional.

Em seguida, executou-se a proposta do terceiro objetivo específico, de estruturar um novo processo de gerenciamento de riscos da fadiga humana alinhado às boas práticas e percepção dos ATCOs, baseado na abordagem FRMS. Tendo como base o padrão BPMN de modelagem, definiu-se o processo TO-BE, o qual mostrou detalhadamente a visão do processo em que ele está contido.

O quarto objetivo específico buscou desenvolver uma ferramenta computacional para o processo de gerenciamento de riscos relacionados à fadiga humana. A execução deste objetivo foi dividida em duas partes: à primeira, foi atribuído o levantamento dos principais requisitos funcionais, não funcionais e técnicos, visando prover o gerenciamento de riscos da fadiga. Com base nesses requisitos, elaborou-se, na segunda parte, a ferramenta computacional, contemplando o processo de gestão de riscos.

O Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga (SGRF) foi desenvolvido por meio da abordagem, *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS), e para isso necessitou-se projetar um sistema orientado por dados, visando monitorar e gerenciar, continuamente, os riscos à segurança operacional concernentes à fadiga, baseado em princípios e conhecimento científicos.

Cada funcionalidade foi desenvolvida, objetivando alimentar o banco de dados de fadiga, contemplando, principalmente, todo o processo de gerenciamento de riscos da fadiga: identificação de perigos, classificação do risco, por meio da aplicação da matriz de risco, mitigação e o monitoramento das ações mitigadoras.

Por fim, o quinto objetivo específico foi alcançado ao validar a ferramenta computacional proposta, por meio da captação da percepção dos ATCOs, reuniões e entrevistas com especialistas. Comparando o sistema desenvolvido com as ferramentas já existentes para controle de fadiga, percebe-se que a ferramenta desenvolvida concentra diversas escalas em um único sistema (SGRF), que forma um grande banco de dados de fadiga. Tal fato propicia um melhor e mais eficiente controle dos perigos envolvidos nas atividades de controle de tráfego aéreo.

A Força Aérea Brasileira (FAB) vem se aperfeiçoando ao longo dos anos em busca de sistemas mais robustos, mais capacitação para seus profissionais e ferramentas eficazes visando a segurança das operações aéreas. De fato, já existem sistemas que identificam os perigos à segurança operacional, como o Sistema de Informações Gerências do Sub-sistema de Segurança Operacional no Controle do Espaço Aéreo (SIGCEA), que analisa não somente a fadiga humana, mas também outros riscos para a aviação, como o raio laser, risco baloeiro e risco de fauna. Assim como existe também o Sistema de Gerenciamento de

Pessoal Operacional (SGPO), o qual controla a parte de Licença, Habilitação Técnica, a validade da inspeção de saúde dos ATCOs, e os limites prescritivos de horas trabalhadas, por meio do Módulo Escala.

Ao desenvolver esse protótipo computacional, percebeu-se o grande potencial de ganho para o CINDACTA I, ao propor um Sistema único que visa analisar com detalhe a fadiga humana dos ATCOs, por meio da abordagem *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS), integrando com os demais sistemas citados, como o Sistema de Informações Gerências do Subsistema de Segurança Operacional no Controle do Espaço Aéreo (SIGCEA) e o Sistema de Gerenciamento de Pessoal Operacional (SGPO). Deste modo, pretende-se que, com a implementação do SGRF, a Segurança Operacional e a utilização dos recursos humanos sejam aprimorados.

6.1 Proposta de trabalhos futuros e limitações

Como trabalhos futuros, vislumbra-se avaliar a efetividade do sistema aqui desenvolvido. Para isso, sugere-se a definição e adoção de *Safety Performance Indicators* - Indicadores de Desempenho de Segurança (SPI), a partir do aprofundamento na análise de outros resultados possíveis, por intermédio das Equações Estruturais de Mínimos Quadrados Parciais (PLS-SEM), visando modelar outros comportamentos relacionados à fadiga humana. Com isto, será possível ter conhecimento mais tangível da situação real e atual para que, posteriormente, sejam implementados e aplicados novamente, e assim utilizar como parâmetro de comparação, entre o cenário anterior e o atual, o qual auxiliará na averiguação da existência de melhoria contínua do processo.

Entende-se, ainda, que ferramenta ora desenvolvida, possa ser aprimorada a fim de contribuir com os processos concernentes à fadiga no CINDACTA I e em todo o SISCEAB, de modo que o Brasil tenha um Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga, com base na abordagem *Fatigue Risk Management System* - Sistema de Gerenciamento do Risco à Fadiga (FRMS), como preconiza a *International Civil Aviation Organization* - Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO).

Referências

- [1] Ned, Gustavo Carney: *Fadiga nos controladores de tráfego aéreo: uma realidade*. Revista Conexão Sipaer, 7(1):35–43, 2016. 1
- [2] Pereira, Douglas de Borba: *Os riscos da fadiga à segurança de voo*. Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual, 2020. 1
- [3] Pessoa, Yldry Souza Ramos Queiroz, Julliana Soares Piorski, Nicolas Eyck Van Dyck Araújo de Oliveira, Bianca Silva Almeida, Rosani Brune de Almeida Dias, Carlos Eduardo Queiroz Pessoa e João Carlos Alchieri: *Cargas de trabalho na saúde do controlador de tráfego aéreo*. Revista Psicologia Organizações e Trabalho, 20(1):899–905, 2020. 1
- [4] GUIMARÃES, Sheila Cristina de Lima: *Estresse em controladores de tráfego aéreo: uma revisão sistemática*. 2016. 1
- [5] Fielding, Eric, Andrew W Lo e Jian Helen Yang: *The national transportation safety board: A model for systemic risk management*. Available at SSRN 1695781, 2010. 2
- [6] SANTOS, Paulo Roberto dos: *Segurança da aviação: livro didático*. Palhoça: Unisul Virtual, 2014. 2
- [7] International Civil Aviation Organization: *Manual for the oversight of fatigue management approaches*, 2016. <https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/Doc%209966.FRMS.2016%20Edition.en.pdf>, acesso em 18 jan. 2022, Access date: 18 jan. 2022. 2, 18, 19, 20, 21
- [8] Chang, Yu Hern, Hui Hua Yang e Wan Jou Hsu: *Effects of work shifts on fatigue levels of air traffic controllers*. Journal of Air Transport Management, 76:1–9, 2019. 2, 15, 53, 59, 96
- [9] Brasil: *MCA 81-1 - Manual do Gerenciamento do Risco à Fadiga no ATC*, volume 1. DECEA - Comando da Aeronáutica, 2020. 3, 13, 18, 22, 26, 29, 32
- [10] Freitas, Ângela Maria de et al.: *Funcionamento executivo em controladores de tráfego aéreo do sul do brasil*. 2016. 3
- [11] Kontogiannis, Tom e Stathis Malakis: *Cognitive engineering and safety organization in air traffic management*. CRC Press, 2017. 3

- [12] Mota, Dálete Delalibera Corrêa de Faria, Diná de Almeida Lopes Monteiro da Cruz e Cibele Andrucio de Mattos Pimenta: *Fatiga: un análisis del concepto*. Acta Paulista de Enfermagem, 18(3):285–293, 2005. 3
- [13] Dobson, Alan: *A history of international civil aviation: from its origins through transformative evolution*. Routledge, 2017. 5
- [14] Aeronáutica, Código Brasileiro de e Disposições Gerais: *Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986*. Editora Saraiva (Série Legislação Brasileira) Código Brasileiro de Ar., Decreto Lei, (32), 1986. 5
- [15] Honorato, Marcelo: *Os princípios jurídicos do sistema de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos-sipaer*. Revista Conexão SIPAER, 4(1):11–32, 2012. 5
- [16] Silva, Guilherme Costa da: *A eficiência do sisceab diante de um cenário desafiador*. Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual, 2019. 5
- [17] Mariano, Ari Melo e Maíra Santos Rocha: *Revisão da literatura: apresentação de uma abordagem integradora*. Em *AEDEM International Conference*, volume 18, páginas 427–442, 2017. 7, 13
- [18] Šarlija, Marko, Siniša Popović, Marko Jagodić, Tanja Jovanovic, Vladimir Ivkovic, Quan Zhang, Gary Strangman e Krešimir Čosić: *Prediction of task performance from physiological features of stress resilience*. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 25(6):2150–2161, 2020. 9
- [19] Li, Wen Chin, Jingyi Zhang, Peter Kearney e Graham Braithwaite: *Psychophysical coherence training regulating air traffic controller’s heart rate variability and resilience to fatigue*. Em *International Conference on Human-Computer Interaction*, páginas 142–150. Springer, 2021. 10
- [20] Carvalho, Larissa Maria Gomes de, Sarah Francisca de Souza Borges e Moacyr Machado Cardoso Júnior: *Fatigue assessment methods applied to air traffic control—a bibliometric analysis*. Em *Congress of the International Ergonomics Association*, páginas 136–142. Springer, 2021. 10
- [21] Carvalho, Larissa Maria Gomes de, Talitha Cruz de Oliveira e Moacyr Machado Cardoso Junior: *Delphi and bayesian networks in the analysis of fatigue in air traffic events in practical atc instruction*. Em *Congress of the International Ergonomics Association*, páginas 478–484. Springer, 2021. 10, 49
- [22] Xu, Nian-cheng Zhang, Run qing Zhang Miao-zhuang e Zhi yuan Shen: *An optimized scheduling model for multi-skilled air traffic controllers based on fatigue analysis*. Em *10th International Workshop on Computer Science and Engineering*, páginas 93–99. WCSE, 2021. 11
- [23] Hong, Seock Jin, Kang Seok Lee, Eun Suk Seol e Seth Young: *Safety perceptions of training pilots based on training institution and experience*. Journal of Air Transport Management, 55:213–221, 2016. 11

- [24] Zupic, Ivan e Tomaž Čater: *Bibliometric methods in management and organization*. Organizational research methods, 18(3):429–472, 2015. 11
- [25] Pinheiro, Luiz Rodolfo França e Marilsa de Sá Rodrigues: *Análise bibliométrica sobre fadiga humana na atividade aérea*. Latin American Journal of Business Management, 12(1), 2021. 12, 16
- [26] Ferreira Filho, Bemildo Alvaro: *A brief explanation of the air traffic controller professional activity*. Revista brasileira de hematologia e hemoterapia, 33:175–176, 2011. 12
- [27] Authority, Civil Aviation Safety: *Australian government*. Review of aviation safety regulation of remotely piloted aircraft systems, 9, 2018. 12, 16
- [28] Organization, International Civil Aviation: *Annexes to the Convention on International Civil Aviation*. ICAO, 2009. 13, 73
- [29] Arico, Pietro, Gianluca Borghini, Gianluca Di Flumeri, Alfredo Colosimo, Ilenia Graziani, Jean Paul Imbert, Géraud Granger, Railene Benhacene, Michela Terenzi, Simone Pozzi *et al.*: *Reliability over time of eeg-based mental workload evaluation during air traffic management (atm) tasks*. Em *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, páginas 7242–7245. IEEE, 2015. 13
- [30] Boksem, Maarten AS, Theo F Meijman e Monicque M Lorist: *Effects of mental fatigue on attention: an erp study*. Cognitive brain research, 25(1):107–116, 2005. 13
- [31] Kamzanova, Altyngul T, Almira M Kustubayeva e Gerald Matthews: *Use of eeg workload indices for diagnostic monitoring of vigilance decrement*. Human factors, 56(6):1136–1149, 2014. 14
- [32] Cobo, Manuel J, Antonio Gabriel López-Herrera, Enrique Herrera-Viedma e Francisco Herrera: *Scimat: A new science mapping analysis software tool*. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 63(8):1609–1630, 2012. 14
- [33] Edwards, Tamsyn, Cynthia Gabets, Joey Mercer e Nancy Bienert: *Task demand variation in air traffic control: implications for workload, fatigue, and performance*. Em *Advances in human aspects of transportation*, páginas 91–102. Springer, 2017. 14
- [34] Edwards, Tamsyn, J Homola, Joey Mercer e L Claudatos: *Multifactor interactions and the air traffic controller: the interaction of situation awareness and workload in association with automation*. Cognition, Technology & Work, 19(4):687–698, 2017. 14
- [35] Şahinkaya, Burcu e Hakan Oktal: *Modeling of aircrew rostering problem with fatigue risk management approach*. The International Journal of Aerospace Psychology, páginas 1–14, 2021. 16

- [36] Drogoul, Fabrice e Philippe Cabon: *Post covid-19 fatigue management for atcos*. Em *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, páginas 319–323. Springer, 2021. 16
- [37] Kahneman, Daniel: *Attention and effort*, volume 1063. Citeseer, 1973. 17
- [38] Warm, Joel S, Raja Parasuraman e Gerald Matthews: *Vigilance requires hard mental work and is stressful*. *Human factors*, 50(3):433–441, 2008. 17
- [39] Finomore, Victor S, Tyler H Shaw, Joel S Warm, Gerald Matthews, Michael A Riley, David B Boles e Dave Weldon: *Measuring the workload of sustained attention: further evaluation of the multiple resources questionnaire*. Em *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 52, páginas 1209–1213. Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 2008. 17
- [40] Aguiar, Bárbara Sanches *et al.*: *Fatores de risco para estresse e fadiga em aeronautas: uma revisão de literatura*. *Revista Conexão SIPAER*, 11(2):2–12, 2021. 20
- [41] Melo, Hugo da Silva: *Análise da carga de trabalho dos pilotos de aeronaves de asas rotativas do cbmdf e sua influência na segurança operacional*. 2021. 20
- [42] Francisco, Ricardo William: *Cansaço x fadiga na aviação*. 2021. 21
- [43] Samn, Sherwood W e Layne P Perelli: *Estimating aircrew fatigue: a technique with application to airlift operations*. Relatório Técnico, School of Aerospace Medicine Brooks Afb tx, 1982. 24, 25, 29
- [44] Berg, Margo J van den, T Leigh Signal, Hannah M Mulrine, Alexander AT Smith, Philippa H Gander e Wynand Serfontein: *Monitoring and managing cabin crew sleep and fatigue during an ultra-long range trip*. *Aerospace medicine and human performance*, 86(8):705–713, 2015. 24
- [45] Novak, Andrej, Benedikt Badanik, Andrea Brezonakova e Tomasz Lusiak: *Implications of crew rostering on airline operations*. *Transportation Research Procedia*, 44:2–7, 2020. 26, 28
- [46] Comissão Nacional da Fadiga Humana: *Guia de investigação da fadiga humana em ocorrências aeronáuticas*, 2017. <https://www.icao.int/SAM/Documents/2018-INVESTIGARCM/REVISTA%20CNFH.pdf>, acesso em 14 mar. 2022, Access date: 14 mar. 2022. 27
- [47] Pinheiro, Paulo Sérgio Teixeira: *O risco da fadiga humana na aviação civil: um estudo dos impactos na aviação comercial brasileira*. *Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual*, 2020. 28
- [48] Maslach, Christina e Susan E Jackson: *The measurement of experienced burnout*. *Journal of organizational behavior*, 2(2):99–113, 1981. 28
- [49] Folkard, Simon, David A Lombardi e Philip T Tucker: *Shiftwork: safety, sleepiness and sleep*. *Industrial health*, 43(1):20–23, 2005. 29

- [50] De Vries, Jolanda, Helen Michielsen, Guus L Van Heck e Marjolein Drent: *Measuring fatigue in sarcoidosis: the fatigue assessment scale (fas)*. British journal of health psychology, 9(3):279–291, 2004. 29
- [51] Tisiologia, Sociedade Brasileira de Pneumologia e et al.: *Escala de sonolência de epworth. johns mw*. Sleep, 14:540–5, 2001. 29
- [52] Åkerstedt, Torbjörn e Mats Gillberg: *Subjective and objective sleepiness in the active individual*. International journal of neuroscience, 52(1-2):29–37, 1990. 29
- [53] Hart, Sandra G: *Nasa-task load index (nasa-tlx); 20 years later*. Em *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, volume 50, páginas 904–908. Sage publications Sage CA: Los Angeles, CA, 2006. 30
- [54] Drummond, Sean PA, Amanda Bischoff-Grethe, David F Dinges, Liat Ayalon, Sara C Mednick e MJ Meloy: *The neural basis of the psychomotor vigilance task*. Sleep, 28(9):1059–1068, 2005. 30
- [55] Hoddes, E, Vincent Zarcone, Hugh Smythe, Roger Phillips e William C Dement: *Quantification of sleepiness: a new approach*. Psychophysiology, 10(4):431–436, 1973. 30
- [56] Hursh, Steven R, Thomas J Balkin, James C Miller e Douglas R Eddy: *The fatigue avoidance scheduling tool: Modeling to minimize the effects of fatigue on cognitive performance*. SAE transactions, páginas 111–119, 2004. 30, 33, 34
- [57] Gander, Philippa H, Lora J Wu, Margo van den Berg, Amanda Lamp, Laura Hoeg e Gregory Belenky: *Fatigue risk management systems*. Principles and practice of sleep medicine, páginas 697–707, 2017. 30
- [58] Agência Nacional da Aviação Civil: *Orientações para implementação de um sgrf para operadores que tenham um grf aceito pela anac*, 2019. <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2019/52s1/anexo-i-is-no-117-004-revisao-a>, acesso em 6 mar. 2022, Access date: 6 mar. 2022. 33
- [59] Hursh, Steven R, Thomas G Raslear, A Scott Kaye e Joseph F Fanzone Jr: *Validation and calibration of a fatigue assessment tool for railroad work schedules, summary report*. 2006. 34
- [60] Licati, Paulo Rogerio, Luiz Marcelo T de Brito, Fábio Leite Costa, Eduardo do Amaral Silva e Marx Ferreira de Araújo: *Ferramenta de apoio ao gerenciamento de risco da fadiga para pilotos da aviação comercial brasileira*. Revista Conexão SIPAER, 1(2):112–126, 2010. 35
- [61] Roma, Peter G, Steven R Hursh, Andrew M Mead e Thomas E Nesthus: *Flight attendant work/rest patterns, alertness, and performance assessment: Field validation of biomathematical fatigue modeling*. Relatório Técnico, Federal Aviation Administration Oklahoma City Ok Civil Aerospace Medical Inst, 2012. 36

- [62] Haenlein, Michael, Andreas M Kaplan e Anemone J Beeser: *A model to determine customer lifetime value in a retail banking context*. European Management Journal, 25(3):221–234, 2007. 36
- [63] Tabachnick, Barbara G, Linda S Fidell e Jodie B Ullman: *Using multivariate statistics*, volume 5. pearson Boston, MA, 2007. 37
- [64] Sarstedt, Marko, Christian M Ringle, Jörg Henseler e Joseph F Hair: *On the emancipation of pls-sem: A commentary on rigdon (2012)*. Long range planning, 47(3):154–160, 2014. 37
- [65] Henseler, Jörg, Christian M Ringle e Rudolf R Sinkovics: *The use of partial least squares path modeling in international marketing*. Em *New challenges to international marketing*. Emerald Group Publishing Limited, 2009. 37
- [66] Hair, Joseph F, Jeffrey J Risher, Marko Sarstedt e Christian M Ringle: *When to use and how to report the results of pls-sem*. European business review, 2019. 37, 56, 57
- [67] Fornell, Claes e Fred L Bookstein: *Two structural equation models: Lisrel and pls applied to consumer exit-voice theory*. Journal of Marketing research, 19(4):440–452, 1982. 37
- [68] Diamantopoulos, Adamantios e Heidi M Winklhofer: *Index construction with formative indicators: An alternative to scale development*. Journal of marketing research, 38(2):269–277, 2001. 38
- [69] GUIMARÃES, Leovani Marcial *et al.*: *Modelo preditivo de aprendizagem ativa em engenharia baseado na modelagem de equações estruturais com mínimos quadrados parciais (pls-sem)*. 2021. 39
- [70] Svensson, Göran, Carlos Ferro, Nils Høgevold, Carmen Padin, Juan Carlos Sosa Varela e Marko Sarstedt: *Framing the triple bottom line approach: Direct and mediation effects between economic, social and environmental elements*. Journal of cleaner production, 197:972–991, 2018. 39
- [71] Severino, Antônio Joaquim e Severino Estêvão Santos: *Ensinar e aprender com pesquisa no ensino médio*. Cortez Editora, 2014. 41
- [72] Gil, Antonio Carlos *et al.*: *Como elaborar projetos de pesquisa*, volume 4. Atlas São Paulo, 2002. 41, 43
- [73] Moresi, Eduardo *et al.*: *Metodologia da pesquisa*. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 108(24):5, 2003. 42
- [74] Da Silva, Edna Lucia e Estera Muszkat Menezes: *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. UFSC, Florianópolis, 4a. edição, 123, 2005. 42
- [75] Yin, Robert K: *Estudo de Caso-: Planejamento e métodos*. Bookman editora, 2015. 43

- [76] Boni, Valdete e Sílvia Jurema Quaresma: *Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em ciências sociais*. Em tese, 2(1):68–80, 2005. 43
- [77] Vieira, Sonia: *Como elaborar questionários*. Em *Como elaborar questionários*, páginas 159–159. 2009. 43, 57
- [78] Kitchenham, B. e S Charters: *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*, 2007. 44
- [79] Kitchenham, Barbara, O. Pearl Brereton, David Budgen, Mark Turner, John Bailey e Stephen Linkman: *Systematic literature reviews in software engineering - a systematic literature review*. Information and Software Technology, 51:7–15, janeiro 2009, ISSN 09505849. 44
- [80] ABNT, NBRISO: *Iso 31000*. Gestão de riscos. Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT. Rio de Janeiro, 2009. 44
- [81] Bisogno, Stefania, Armando Calabrese, Massimo Gastaldi e Nathan Levialdi Ghiron: *Combining modelling and simulation approaches: How to measure performance of business processes*. Business Process Management Journal, 2016. 46
- [82] Netto, Paulo Oswaldo Boaventura e Samuel Jurkiewicz: *Grafos: introdução e prática*. Editora Blucher, 2017. 46
- [83] Specification, OMG Final Adopted: *Business process modeling notation specification*. février, 2006. 47, 64
- [84] Laudon, Kenneth C, Jane P Laudon e Arlete Simille Marques: *Sistemas de informação gerenciais*. Pearson Educación, 2004. 47, 48
- [85] Al-Samarraie, Hosam e Shuhaila Hurmuzan: *A review of brainstorming techniques in higher education*. Thinking Skills and Creativity, 27:78–91, 2018. 48
- [86] Ludke, Menga e Marli André: *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. Em Aberto, 5(31), 1986. 49
- [87] Michels Chaves, Gustavo e Ricardo Ludwig Calegari: *Projeto de desenvolvimento de site e-commerce para empresa de calçados lebru*. 2022. 49, 76
- [88] Santos, Mateus de Freitas dos et al.: *Implementação front-end de um bloco moodle para predição de acadêmicos em risco*. 2021. 49
- [89] Brasil: *ICA 100-37 - Serviços de tráfego Aéreo*, volume 1. DECEA - Comando da Aeronáutica, 2016c. 51, 52, 53
- [90] Brasil: *NSCA 3-13 - Protocolos de Investigação de Ocorrências Aeronáuticas da Aviação Conduzidas pelo Estado Brasileiro*, volume 1. CENIPA - Comando da Aeronáutica, 2017. 53

- [91] Orasanu, Judith, Bonny Parke, Norbert Kraft, Yuri Tada, Alan Hobbs, Barrett Anderson e V Dulchinos: *Evaluating the effectiveness of schedule changes for air traffic service (ats) providers: Controller alertness and fatigue monitoring study*. Relatório Técnico, US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2012. 55, 56
- [92] Hamsal, M e FA Zein: *Pilot fatigue risk analysis: conceptual study at flight operation of garuda indonesia's boeing 737 pilots*. Em *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volume 598, página 012040. IOP Publishing, 2019. 55, 56
- [93] Ringle, Christian M, Sven Wende, Jan Michael Becker *et al.*: *Smartpls 3*. Boenningstedt: SmartPLS GmbH, 2015. 56
- [94] Roldán Salgueiro, JL e G Cepeda Carrión: *Modelos de ecuaciones estructurales basados en la varianza: Partial least squares (pls)*, 2019. 56
- [95] Shiau, Wen Lung, Marko Sarstedt e Joseph F Hair: *Internet research using partial least squares structural equation modeling (pls-sem)*. Internet Research, 2019. 56
- [96] Ramírez, Patricio E, Ari Melo Mariano e Evangelina A Salazar: *Propuesta metodológica para aplicar modelos de ecuaciones estructurales con pls: El caso del uso de las bases de datos científicas en estudiantes universitarios*. Revista ADMpg Gestão Estratégica, 7(2):133–9, 2014. 57
- [97] Hair Jr, Joseph F, G Tomas M Hult, Christian M Ringle e Marko Sarstedt: *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*. Sage publications, 2021. 57
- [98] Hair, JFR e Christian M Sarstedt: *Marko. 2011. " pls-sem: Indeed a silver bullet,"*. Journal of Marketing Theory & Practice, 19(2):139–152. 59
- [99] Da Silva, Renato Emanuel Gomes, Janayna Arruda Barroso, Alyne Mantoan e Leandro Campi Prearo: *Avaliação da facilidade de aprendizagem autônoma de alunos que estudam em modelo híbrido em uma universidade de são paulo*. EaD em Foco, 11(1), 2021. 60
- [100] Dul, Jan: *Necessary condition analysis (nca) logic and methodology of “necessary but not sufficient” causality*. Organizational Research Methods, 19(1):10–52, 2016. 60
- [101] Nielson, Chantelle A, Emily G Deegan, Aaron SL Hung, Abraham J Nunes *et al.*: *Potential effects of sleep deprivation on sensorimotor integration during quiet stance in young adults*. Western Undergraduate Research Journal: Health and Natural Sciences, 1(1), 2010. 60
- [102] Schroeder, David J, Roger R Rosa e L Alan Witt: *Some effects of 8-vs. 10-hour work schedules on the test performance/alertness of air traffic control specialists*. International Journal of Industrial Ergonomics, 21(3-4):307–321, 1998. 61

- [103] Souza, Sônia Beatriz Coccaro de, Juliana Petri Tavares, Andréia Barcellos Teixeira Macedo, Priscilla Wolff Moreira e Liana Lautert: *Influência do turno de trabalho e cronotipo na qualidade de vida dos trabalhadores de enfermagem*. Revista Gaúcha de Enfermagem, 33:79–85, 2012. 61
- [104] Zerouali, Younes, Boutheina Jemel e Roger Godbout: *The effects of early and late night partial sleep deprivation on automatic and selective attention: An erp study*. Brain research, 1308:87–99, 2010. 62
- [105] Bastien, Célyne H, Émilie Fortier-Brochu, Isabelle Rioux, Mélanie LeBlanc, Meagan Daley e Charles M Morin: *Cognitive performance and sleep quality in the elderly suffering from chronic insomnia: relationship between objective and subjective measures*. Journal of psychosomatic research, 54(1):39–49, 2003. 62
- [106] Boonstra, TW, JF Stins, A Daffertshofer e PJ Beek: *Effects of sleep deprivation on neural functioning: an integrative review*. Cellular and molecular life sciences, 64:934–946, 2007. 62
- [107] Killgore, William DS, Ellen T Kahn-Greene, Nancy L Grugle, Desiree B Killgore e Thomas J Balkin: *Sustaining executive functions during sleep deprivation: a comparison of caffeine, dextroamphetamine, and modafinil*. Sleep, 32(2):205–216, 2009. 63
- [108] Boscolo, Rita A, Isabel C Sacco, Hanna K Antunes, MT de Mello e Sérgio Tufik: *Avaliação do padrão de sono, atividade física e funções cognitivas em adolescentes escolares*. Rev Port Cien Desp, 7(1):18–25, 2007. 63
- [109] Maxim, Bruce R e Marouane Kessentini: *An introduction to modern software quality assurance*. Em *Software quality assurance*, páginas 19–46. Elsevier, 2016. 67
- [110] Sommerville, Ian: *Engenharia de software. 9ª edição, 2011. ed.* 67
- [111] Eckhardt, Jonas, Andreas Vogelsang e Daniel Méndez Fernández: *Are "non-functional" requirements really non-functional? an investigation of non-functional requirements in practice*. Em *Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering*, páginas 832–842, 2016. 68
- [112] Höst, Martin, Björn Regnell e Claes Wohlin: *Using students as subjects—a comparative study of students and professionals in lead-time impact assessment*. Empirical Software Engineering, 5(3):201–214, 2000. 72
- [113] Pmi, Pmbok Guide: *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos*. Pennsylvania: Project Management Institute, 2013. 75
- [114] Brasil: *ICA 100-18 - Habilitação Técnica para Controlador de Tráfego Aéreo*, volume 1. DECEA - Comando da Aeronáutica, 2020. 81
- [115] Park, Jea Bum, Byung Ki Kim, Mi Sung Kim e Dae Seok Rho: *A study on the site acceptance test (sat) evaluation algorithm of energy storage system using li-ion battery*. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 20(6):26–37, 2019. 87

Apêndice A

Questionário Aplicado

Pesquisa sobre Fadiga Humana em Órgãos ATC ou ATS

Prezado(a) Operador(a),

Sou Rodrigo Pereira Gomes, mestrando em Computação Aplicada pela Universidade de Brasília (UnB), sob orientação da Profa. Dra. Simone Borges Simão Monteiro e coorientação da Profa. Dra. Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisic.

Esta pesquisa tem caráter acadêmico como requisito parcial para defesa de mestrado, do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da UnB, em Gestão de Riscos. As perguntas foram extraídas e adaptadas do Doc 9966, da ICAO. A finalidade é coletar informações sobre os hábitos de sono de um operador que se submete a serviços de escalas operacionais 24 horas, em Órgãos ATC ou ATS, bem como investigar as possíveis causas da falta de sono, que poderão provocar fadiga humana.

Ao fim desta, o resultado auxiliará o pesquisador a entender os padrões de sono de um indivíduo que trabalha em Órgão Operacional, assim como as razões que influenciam seus hábitos e as implicações de certas atividades que podem levar a fadiga intensa ou estresse.

Informo que sua participação será anônima, e por isso, não será coletado seu nome nem seu e-mail.

Desta maneira, solicito a possibilidade de participação voluntária dos senhores, assinalando somente uma opção em cada pergunta de acordo

com a sua percepção sobre o tema.

Em caso de dúvida ou sugestão, meu e-mail é: rodrpg23@yahoo.com.br ou celular: (61) 99112-4994.

Por fim, agradeço a atenção de todos e o tempo dispensado na participação dessa pesquisa.

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Ao responder a esta pesquisa, você permite que o pesquisador obtenha, use e divulgue as informações anônimas fornecidas conforme descrito abaixo.

CONDIÇÕES E ESTIPULAÇÕES

1. Eu entendo que todas as informações são confidenciais. Não serei identificado pessoalmente. Concordo em preencher a pesquisa para fins de pesquisa e que os dados derivados desta pesquisa anônima podem ser publicados em periódicos, conferências e postagens de blog.
2. Eu entendo que minha participação nesta pesquisa é totalmente voluntária e que a recusa em participar não implicará em nenhuma penalidade ou perda de benefícios. Se eu quiser, posso cancelar minha participação a qualquer momento. Também entendo que, se decidir participar, posso recusar-me a responder a qualquer pergunta para a qual não me sinta confortável em responder.
3. Entendo que posso entrar em contato com o pesquisador se tiver alguma dúvida sobre a pesquisa. Estou ciente que meu consentimento não me beneficiará diretamente. Também estou ciente que o autor manterá os dados coletados em perpetuidade e poderá utilizar os dados para trabalhos acadêmicos futuros.
4. Ao clicar no botão abaixo, eu livremente dou consentimento e reconheço meus direitos como um participante voluntário da pesquisa,

conforme descrito acima, e dou consentimento ao pesquisador para usar minhas informações na realização de pesquisas nas áreas mencionadas acima.

*** ESTE FORMULÁRIO LEVA CERCA DE 7 MINUTOS PARA SER PREENCHIDO.**

Tabela A.1: Indicadores e Assertivas

Dimensão	Assertivas	Variável
Quantidade de Sono	No último mês, com que frequência você sentiu sono durante o dia enquanto trabalhava?	QT1
	Com que frequência a duração do seu período de sono foi inferior a 7,5 horas no último mês?	QT2
	Com que frequência seu sono foi interrompido no último mês? (causando, por exemplo, insônia, preocupação, estresse, etc)	QT3
	Com que frequência o mau sono te incomodou no último mês?	QT4
	Em uma escala de 1 a 10, como você classifica a sua quantidade diária de sono? Considere que a escala "1" seja o pior cenário, em que você dorme poucas horas por dia, e "10", a melhor situação, em que você dorme a quantidade em horas necessárias para seu descanso.	QT5
	Você é portador de alguma patologia do sono (apneia, narcolepsia, insônia).	QL1

Continua na próxima página

Tabela A.1 – *Continuação da tabela*

Dimensão	Assertivas	Variável
	Na sua opinião, como você classifica a qualidade do seu sono?	QL2
	Com que frequência você consome álcool?	QL3
	Com que frequência você pratica de atividades físicas?	QL4
	Com que frequência você consome tabaco (cigarros)?	QL5
	Com que frequência você toma remédio para dormir?	QL6
	Em uma escala de 1 a 10, como você classifica a qualidade diária do seu sono? Considere que a escala "1" seja o pior cenário, e "10", o melhor.	QL7
Atenção	No último mês, ocorreu uma situação em que você se concentrou em um problema menor apesar do risco de ocorrer outro maior.	AT1
	No último mês, ocorreu uma situação em que você deixou de avaliar a gravidade da situação.	AT2
	No último mês, ocorreu uma situação em que você deixou de prever o perigo.	AT3
	No último mês, ocorreu uma situação em que você mostrou vigilância degradada, ou seja, teve sua atenção reduzida.	AT4

Continua na próxima página

Tabela A.1 – *Continuação da tabela*

Dimensão	Assertivas	Variável
	No último mês, ocorreu uma situação em que você não observou sinais de aviso na prestação do serviço de tráfego aéreo.	AT5
Memória	No último mês, ocorreu uma situação em que você esqueceu de uma tarefa ou de procedimentos operacionais importantes.	MM1
	No último mês, ocorreu uma situação em que você lembrou dos eventos operacionais de maneira incorreta.	MM2
Estado de Alerta	Em horário de trabalho no último mês, você já passou por situações de sono incontrolável, em que acabou cochilando.	EA1
	No último mês, a iluminação no local de trabalho interferiu no seu estado de alerta.	EA2
Tempo de Reação	No último mês, ocorreu uma situação em que você respondeu lentamente a estímulos normais.	TR1
	No último mês, ocorreu uma situação em que eu falhei em responder de forma completa a estímulos normais, como estímulos visuais e audíveis, por exemplo.	TR2
	No último mês, ocorreu uma situação em que você não respondeu de maneira nenhuma a estímulos normais.	TR3

Continua na próxima página

Tabela A.1 – *Continuação da tabela*

Dimensão	Assertivas	Variável
Capacidade de Solução de Problemas	No último mês, com que frequência ocorreram situações em que você demonstrou lógica incorreta.	CP1
	No último mês, com que frequência ocorreram situações em que você aplicou uma ação corretiva inadequada.	CP2
	No último mês, com que frequência ocorreram situações em que você interpretou incorretamente uma situação durante a prestação do serviço.	CP3
	No último mês, com que frequência ocorreram situações em que você mostrou julgamento deficiente de distância, velocidade e/ou tempo, durante seu turno de trabalho.	CP4
Humor	No último mês, você esteve menos conversador do que o normal.	HM1
	No último mês, você não executou tarefas de baixa demanda.	HM2
	No último mês, você estava irritadiço.	HM3
	No último mês, você sentiu desconforto ao tentar se concentrar.	HM4
Atitude	No último mês, você não mostrou disposição para assumir riscos.	AD1
	No último mês, você ignorou procedimentos normais e de rotina.	AD2

Continua na próxima página

Tabela A.1 – *Continuação da tabela*

Dimensão	Assertivas	Variável
	No último mês, você demonstrou atitudes de "não se importar" em seu ambiente de trabalho.	AD3
Desempenho Operacional	Você acredita que seu desempenho operacional é menor no turno da madrugada.	DO1
	Você acredita que o débito de sono influencia negativamente seu desempenho nas operações.	DO2
	Você acredita que se o seu estado de alerta for afetado pela fadiga, seu desempenho operacional ficará prejudicado.	DO3
	Você acredita que a falta de sonecas e cochilos estratégicos e controlados podem prejudicar o seu estado de alerta e desempenho.	DO4
	Em uma escala de 1 a 10, como você classifica o seu desempenho operacional, tomando como base o estresse peculiar da profissão e a conseqüente fadiga humana? Considere a escala "1" como a pior situação, e "10" a melhor.	DO5
Fadiga Humana	Você acredita que a fadiga humana tem impacto negativo e direto no desempenho operacional.	FH1

Continua na próxima página

Tabela A.1 – *Continuação da tabela*

Dimensão	Assertivas	Variável
	A sua percepção sobre a fadiga humana tem diminuído e impactado negativamente seu desempenho operacional.	FH2
	Atualmente, ocorreram situações em que você poderia ter evitado a fadiga humana.	FH3
	Em uma escala de 1 a 10, como você classifica o seu estado de fadiga humana? Considere a escala "1" como a pior situação, em que você se sente extremamente cansado física e mentalmente, e "10" a melhor situação, em que você se encontra em perfeitas condições operacionais de trabalho.	FH3

Fim da tabela

Anexo I

Formulários do Sistema de Gerenciamento de Riscos da Fadiga

O SGRF está disponível no domínio: <https://sgrf.online/>, contendo os seguintes *links* de formulários para preenchimento:

1. <https://sgrf.online/reporte-voluntario-de-fadiga-rvf/>
2. <https://sgrf.online/reporte-individual-de-fadiga-rif/>
3. <https://sgrf.online/diario-de-sono-e-vigilia/>

O Sistema apresenta, ainda, as seguintes telas para análise de riscos e emissão de relatórios:

1. <https://sgrf.online/1294-2/>
2. <https://sgrf.online/relatorio-de-analise-de-fadiga/>
3. <https://sgrf.online/relatorio-de-investigacao-do-controle-do-espaco>

Por fim, o SGRF disponibiliza o redirecionamento para consulta de publicações do DECEA e para o Módulo Escala:

1. <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/mca-81-1>
2. <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/circea-100-89>

3. <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-81-1>

4. <https://sgpo.decea.mil.br/escala/sign-in>

5. <https://sigcea.decea.mil.br/#/>