



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS – IEG
PROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

JAILMAR OLIVEIRA MIRANDA

**FERRAMENTAS TECNOLÓGICAS PARA DETECÇÃO DE FADIGA NO
CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Santarém – PA



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS – IEG
PROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

JAILMAR OLIVEIRA MIRANDA

**FERRAMENTAS TECNOLÓGICAS PARA DETECÇÃO DE FADIGA NO
CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Ciências e Tecnologia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Ciências e Tecnologia. Orientador: Prof. Me. Gilson Fernandes Braga Júnior.

**Santarém – PA
2023**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

- M672f Miranda, Jailmar Oliveira
Ferramentas tecnológicas para detecção de fadiga no controle de tráfego aéreo: uma revisão de literatura./ Jailmar Oliveira Miranda. - Santarém, 2023.
47 p. : il.
Inclui bibliografias.
- Orientador: Gilson Fernandes Braga Júnior.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Bacharelado em Ciências e Tecnologia.
1. Tráfego aéreo. 2. Detecção de fadiga. 3. Tecnologia. 4. Controlador de tráfego aéreo. I. Braga Júnior, Gilson Fernandes, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 343.0976

JAILMAR OLIVEIRA MIRANDA

**FERRAMENTAS TECNOLÓGICAS PARA DETECÇÃO DE FADIGA NO
CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Ciências e Tecnologia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Ciências e Tecnologia. Orientador: Gilson Fernandes.

Conceito

Data de aprovação ___/___/___

Prof. Me. Gilson Fernandes Braga Júnior
Orientador - Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Profa. Dra. Paula Renatha Nunes da Silva
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Prof. Me. Ubiraelson de Lima Ruela
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Dedico esta monografia aos meus pais, pilares e suportes primordiais ao meu trajeto e minha formação como ser humano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu pai, que já não se encontra entre nós, mas foi peça chave em minha formação moral e intelectual, e sempre a seu lado, minha mãe, que com toda sua tranquilidade e altivez me conduziu em mares calmos, mesmo passando pelas piores tempestades.

Aos meus irmãos e irmã que dispensaram apoio incondicional em minha trajetória.

A meu querido e amado filho, que mesmo inconscientemente foi minha fonte inesgotável de perseverança, assim como sua mãe e irmão que fizeram parte dessa caminhada.

Aos meus colegas de turma, que felizmente, encerraram sua caminhada mais cedo, mas deixaram um exemplo para eu seguir.

Aos meus professores, que pacientemente foram responsáveis pela base desta formação acadêmica, ressalto o professor Gilson, que foi parte fundamental deste trabalho.

E a Deus pela fé que deposito e certeza de seguir.

"Não podemos resolver nossos problemas com o mesmo pensamento que tínhamos quando os criamos". (Albert Einstein)

RESUMO

Esta pesquisa tem por objetivo analisar as tendências de utilização de diferentes tecnologias aplicadas para detecção de fadiga nas atividades do controlador de tráfego aéreo, descrevendo as peculiaridades desta atividade profissional e analisando o fator fadiga, que em dias de hoje passou a ter destaque como preocupação de saúde pública. A fadiga mental reduz o estado de alerta e a habilidade do controlador de tráfego aéreo, fazendo com que haja uma diminuição na eficácia e na segurança da execução de suas tarefas, considerando que o fator humano é um dos fatores determinantes em casos de ocorrências de incidentes e acidentes de tráfego aéreo, mesmo que não intencionais, então, buscou-se realizar um levantamento bibliográfico sobre aplicações práticas de tecnologias aplicadas à detecção de fadiga de trabalhadores de tráfego aéreo, nas bases SciELO e Google Acadêmico, entre 2017 e 2022. O trabalho busca encontrar tecnologias que consigam mitigar e atingir de forma preventiva os efeitos deletérios causados pela fadiga, avaliando-se trabalhos realizados na referida área, assim como, em áreas semelhantes, onde as aplicações de tecnologias são viáveis e alinhadas em aspectos comuns. Contudo, observa-se que é possível a utilização destas técnicas, como as vistas neste trabalho que foram: monitoramento de face, variáveis fisiológicas e extração vocal; e que a combinação entre as técnicas traz um resultado ainda mais preciso na detecção de fadiga. Vale ressaltar que os trabalhos abordados necessitam de um estudo pormenorizado para explorar a viabilidade de adesão em larga escala das tecnologias desenvolvidas até o presente momento.

Palavras-Chave: tráfego aéreo, detecção de fadiga, tecnologia, controlador de tráfego aéreo.

ABSTRACT

This research aims to analyze the trends in the use of different technologies applied to detect fatigue in air traffic controller activities, describing the peculiarities of this professional activity, and also, analyzing the fatigue factor, which nowadays has become prominent as a public health concern. Mental fatigue reduces the alertness and ability of the air traffic controller, causing a decrease in the effectiveness and safety of carrying out their tasks, considering that the human factor is one of the determining factors in cases of incidents occurring. and air traffic accidents, even if unintentional, then, we sought to carry out a bibliographical survey on practical applications of technologies applied to the detection of fatigue in air traffic workers, in the SciELO and Google Scholar databases, between 2017 and 2022. The work seeks to find technologies that can mitigate and preventively achieve the harmful effects caused by fatigue, evaluating work carried out in that area, as well as in similar areas, where technology applications are viable and aligned in common aspects. However, it is possible to use these techniques, such as those seen in this work, which were: face monitoring, physiological variables and vocal extraction; and that the combination of techniques brings an even more accurate result in fatigue detection. It is worth highlighting that the work covered requires a detailed study to explore the feasibility of large-scale adoption of the technologies developed to date.

Keywords: air traffic, fatigue detection, technology, air traffic controller.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Órgãos de controle de tráfego aéreo	21
Figura 2 - Exemplo de características pseudo-haar comuns em detecção de rostos.....	27
Figura 3 - Exemplos de características pseudo-haar de bordas, linhas e círculos.....	28
Figura 4 - Procedimento de voto do HOG.....	29
Figura 5 - Exemplo das distâncias das classes para o elemento no KNN.....	30
Figura 6 - Modelo de pontos no espaço do SVM.....	31
Figura 7 - Fluxograma dos softwares inteligentes.....	33
Figura 8 - Extração de recursos MFCC.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Trabalhos selecionados para análise.....	38
---	----

ABREVIATÖES

ACC - Centro de Controle de Área

APP - Controle de Aproximação

ATCO - Air Traffic Controller

CGNA - Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea

CLR - *clearance*

CRM - Cockpit/Crew Resource Management

CTA - Controlador de Tráfego Aéreo

DCT - Transformada Discreta de Cosina

DFT - Transformada discreta de Fourier

ECG - Eletrocardiograma

EEG - Eletroencefalografia

EOG - Eletrooculograma

GND - ground

HOG - Histograma de gradientes orientados

ICAO - International Civil Aviation Organization

KNN - K-nearest Neighbors

LED - *Light Emitting Diode*

MFCC - Mel-Frequency Cepstral Coefficients

OACI - Organização da Aviação Civil Internacional

PERCLOS - Porcentagem de Tempo de Fechamento dos Olhos

SISCEAB – Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro

SVM - Support Vector Machine

TRM - Team Resource Management

LISTA DE SÍMBOLOS

Equação 1 -	36
Equação 2 -	36

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	JUSTIFICATIVA	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	18
2.3	Estrutura do trabalho	18
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1	Atividade de Controle de Tráfego Aéreo	20
3.2	Fadiga no controle de tráfego aéreo	23
4.	METODOLOGIA	25
5.	RESULTADOS	26
6.	TÉCNICAS PARA DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE OBJETOS	27
6.1	Haarcascade	27
6.2	Histograma de gradientes orientados (HOG)	28
6.3	K-nearest Neighbors	29
6.4	SVM - Support Vector Machine	30
7.	SISTEMAS BASEADOS EM MONITORAMENTO DE FACE	32
7.1	Captura de imagem	32
7.2	Plataforma de Hardware	32
7.3	Software Inteligente	32
8.	SISTEMAS BASEADOS NA FISILOGIA	34
9.	SISTEMAS BASEADOS EM EXTRAÇÃO VOCAL	35
10.	TRABALHOS QUE ABORDAM A DETECÇÃO DE FADIGA	37
11.	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

O advento da fadiga é de conhecimento da humanidade desde a antiguidade. Trata-se de uma patologia que causa dificuldades para o indivíduo desempenhar suas atividades a contento. Seus sintomas são o cansaço, o desânimo, a perda de capacidade de raciocínio, a entrega ao isolamento e a indisposição de desempenhar qualquer atividade com resultados normais. Pode-se definir fadiga como cansaço extremo ou esgotamento, físico ou mental, que tem como causa, o esforço repetitivo ou trabalho intenso, refletindo nos sintomas que se apresentam com dores de cabeça, irritabilidade e falta de atenção (SIGNIFICADOS, 2019).

A condição de fadiga e exaustão tem se destacado como sintomas resultantes do cotidiano pós-moderno, caracterizando com resultado das novas variantes de exploração da força de trabalho, organização produtiva, estilo de vida e frequentes mudanças tecnológicas, que reconfiguram os aspectos humanos de temporalidade, perspectivas e experiências (CRARY, 2014).

Para reduzir os efeitos deletérios causados pela fadiga é importante implementar um programa de Gerenciamento da Fadiga Humana o qual tem por objetivo garantir uma mitigação dos fatores de risco à fadiga (BRASIL, 2010). Iniciativas de gerenciamento do risco da fadiga corroboram para cuidar da fadiga antes de sua instauração, durante e após eventos que sejam relacionados a ela, com base em necessidades específicas do contexto do trabalho empregado (HONN et al., 2019).

De maneira proativa as tecnologias estão evoluindo no intuito de reduzir os impactos causados pela fadiga. Observa-se que, em diversos ramos da exploração do trabalho empregam-se tecnologias que tentam identificar o estado de fadiga, para a intervenção e ação preventiva de acidentes e incidentes. Diversas tecnologias são observadas, como: as técnicas para detecção e classificação de objetos, os sistemas baseados em monitoramento de face, sistemas baseados em fisiologia e sistemas baseados em extração vocal.

Os métodos para detecção de fadiga para ATCO (Air Traffic Controller – Controlador de Tráfego Aéreo) pode ser dividido em dois modos, sendo um objetivo e outro subjetivo (CHEN et al, 2019). No método objetivo, Chalder et al. (1993) relataram a escala de fadiga de Chalder. Os indivíduos preenchem um questionário

antes e depois do trabalho, de acordo com uma pontuação na escala de fadiga o indivíduo pode ser avaliado. Mesmo sendo um método de fácil implementação, a resposta para a detecção do estado de fadiga não é rápida e precisa, enquanto nos métodos objetivos, registram-se certos indicadores da fisiologia, bioquímica, comportamento ou outras características. Havendo uma subdivisão, neste método, em de contato e sem contato. Os métodos de detecção de contato detectam principalmente o estado de fadiga registrando alterações nos indicadores fisiológicos da pessoa testada (como EEG, ECG). Há também o método proposto por Mandal et al. (2017), onde a classificação de fadiga é baseada no fechamento das pálpebras usando-se software de controle de torre de simulação e um rastreador ocular. Jin Huibin(2018) e outros extraíram seis indicadores, como a taxa de piscamento, o intervalo de tempo de fixação e a Porcentagem de Tempo de Fechamento dos Olhos (PERCLOS) como índice de discriminação de fadiga. Para lidar com estes novos conceitos da condição de fadiga, foram implementadas ferramentas para gerir de maneira mais eficaz o tema, a ICAO (International Civil Aviation Organization - Organização Internacional da Aviação Civil), criou a definição do Sistema de Gerenciamento de Fadiga como sendo um meio organizado com dados para monitorar e gerenciar de maneira contínua os riscos de segurança inerentes à fadiga, derivados de princípios científicos e conhecimentos, assim como experiência operacional que objetiva garantir que o pessoal esteja desempenhando níveis de alerta (BAYER, 2018).

2. JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos a fadiga mental passou a ter destaque como preocupação de saúde pública, por ser rotineiramente observada como comorbidade em quadros clínicos de ansiedade, depressão e *burnout*, apresentado prejuízo ao sujeito acometido, à sociedade e ao Estado (AKERSTEDT et al., 2004, WATANABE ET AL. 2004), em se tratando de sintoma de patologia, pode levar ao adoecimento.

Inicialmente, na sociedade pré-industrial, a fadiga não tinha a conotação de fator prejudicial à saúde, pois o trabalho era encarado de maneira prazerosa. Porém, após a Revolução Industrial, com a migração da vida do campo para a cidade, ocorrem fortes mudanças no contexto social, onde se incluem criações de legislações do trabalho, que versam também sobre o descanso. Contudo, estudos posteriores trazem à tona efeitos danosos da fadiga mental, que se relacionam aos campos perceptivos, comportamental e fisiológicos, apresentando redução acentuada na atenção sustentada, perda da consciência situacional, redução na motivação, aumento de erros e lentidão motora nas respostas (SALEH et al., 2022).

A fadiga mental inibe o estado de alerta, bem como a habilidade que detém o ATCO de realizar suas tarefas com segurança e eficácia. Apesar de todos os investimentos buscando elevar os índices de segurança, os acidentes e incidentes aeronáuticos continuam acontecendo, O fator humano ainda representa uma grande parcela das causas dessas ocorrências (LICATI et. al., 2010, p. 113). Por tanto, a alocação de investimentos tecnológicos para a minimização de fatores evitáveis, agindo de forma preventiva, reduzindo a vulnerabilidade do ATCO, as consequências da fadiga. Ressalta-se que o autor, no decorrer do trabalho, não identificou uma tecnologia utilizada em larga escala para detectar a fadiga em controladores de tráfego aéreo no Brasil, portanto, este trabalho busca identificar a partir de uma revisão de literatura as diversas tecnologias que estão sendo desenvolvidas para detectar a fadiga no trabalho do ATCO.

2.1. Objetivo Geral

Analisar as tendências de utilização de diferentes tecnologias aplicadas para detecção de fadiga nas atividades do controlador de tráfego aéreo.

2.2. Objetivos Específicos

Descrever as principais atividades relacionadas ao controle de tráfego aéreo.

Realizar um levantamento bibliográfico sobre aplicações práticas de tecnologias aplicadas à detecção de fadiga de trabalhadores de tráfego aéreo, nas bases SciELO e Google Acadêmico, entre 2017 e 2022.

Avaliar, a partir dos trabalhos realizados na área, se já há a adesão em larga escala das tecnologias desenvolvidas até o presente momento.

2.3. Estrutura do trabalho

De forma a compor a parte escrita do trabalho, dividiu-se em 10 capítulos, com cada capítulo de forma individual.

- Capítulo 1 – Justificativa – neste capítulo trata-se da justificativa adotada para a abordagem do assunto tratado, em adição, contam também os objetivos, geral e específico.

- Capítulo 2– Referencial teórico – o segundo capítulo segue abordando o referencial teórico que detalha a área em que o trabalho tem sua abrangência, descrevendo a atividade de Controle de Tráfego Aéreo e suas peculiaridades e o objeto que se propõe mitigar com a proposta do estudo, a fadiga no controle de tráfego aéreo.

- Capítulo 3 – Metodologia – no terceiro retrata a metodologia empregada, sendo explicitada a revisão integrativa.

- Capítulo 4 – Resultados – já o quarto capítulo o objeto evidenciado, segue com o resultado da pesquisa encontrada nas bases de dados utilizadas.

- Capítulo 5 – Técnicas para detecção e classificação de objetos – no capítulo 5 são descritas quatro técnicas que podem ser empregadas na detecção e classificação de objetos.

- Capítulo 6 – Sistemas baseados em monitoramento de face – neste capítulo aborda-se os métodos de monitoramento de face, que também se emprega o monitoramento de imagem em que são analisados movimentos faciais, detalhando as fases usadas no decorrer da captura de imagem e seu processamento.

- Capítulo 7 – Sistemas baseados em fisiologia – no capítulo 7 é dissertado sobre os sistemas baseados em fisiologia, são utilizadas variáveis

fisiológicas do indivíduo estudado para a análise e detecção de fadiga, através de parâmetros pré-determinados.

- Capítulo 8 – Sistemas baseados em extração vocal – neste penúltimo apresentam-se os sistemas baseados em extração vocal, onde extraísse a voz do indivíduo para poder determinar certos parâmetros para avaliar seu estado de cansaço.

- Capítulo 9 – Trabalhos que abordam a detecção de fadiga – no último parágrafo abordam-se trabalhos que detém os temas relacionados com a detecção de fadiga, identificando os autores, títulos, anos, objetivos e metodologias de estudo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Atividade de Controle de Tráfego Aéreo

Com cerca de 22 milhões de km², o espaço aéreo brasileiro é um dos maiores do mundo, apresentando um movimento proporcional à sua dimensão, bem como uma importância mundial. Através de dados fornecidos pelo CGNA (Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea), em 2017 foram 1.650.714 voos conhecidos no Brasil (CGNA, 2017). As principais atribuições do sistema de controle do espaço aéreo sob a jurisdição nacional é ordenar, fluir e manter seguro o tráfego aéreo. Com a responsabilidade de gerir eventos de voos comerciais, voos militares, ensaios em voo, lançamentos de sondas e foguetes, voos de asa-delta, salto de paraquedas, treinamentos militares com tiros reais, entre outros.

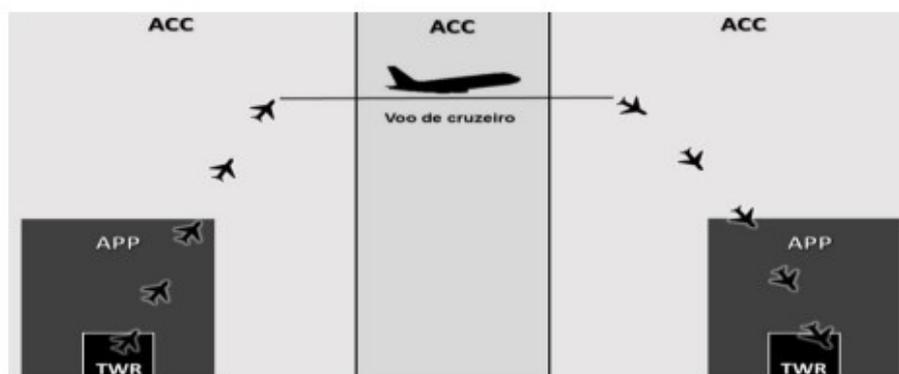
O controlador de tráfego aéreo é o profissional responsável pelo controle das aeronaves em suas diversas fases de voo, cuja finalidade maior do serviço por ele prestado é a segurança. Neste contexto o conceito de segurança apresenta-se como o estado no qual o risco de lesões a pessoas ou danos a propriedades são reduzidos e mantidos em um nível aceitável ou abaixo deste, mediante um contínuo processo de identificação de perigos e gerenciamento de riscos (BRASIL, 2015).

O controlador de tráfego aéreo – CTA trabalha em salas de radar, torres de controle de aeroportos ou em estações aeronáuticas. Alta capacidade de concentração, visão espacial e raciocínio lógico rápido são algumas das habilidades exigidas para atuar nesta função. As principais atividades desempenhadas pelo CTA e suas respectivas responsabilidades são: *Clearance* - responsável pela autorização para o voo; Controle de solo - responsável pela instrução dos pilotos quanto ao taxiamento do avião; Controle de torre - responsável pela autorização de decolagem ou aterrissagem; Controle de Aproximação - responsável pela separação entre as aeronaves próximas ao aeroporto; e Centro de controle de área - responsável pela coordenação do fluxo de aeronaves nas aerovias (FREIRE, 2016).

A primeira referência que se tem ao falar de controle de tráfego aéreo é a torre de controle de aeródromo (TWR), no entanto, outros serviços podem ser divididos quanto a sua área de atuação que são: Serviço de Controle de Área – prestado por um Centro de Controle de Área (ACC) ou Controle de Aproximação (APP); Serviço de Controle de Aproximação – prestado por um APP ou TWR; e

Serviço de Controle de Aeródromo – prestado por uma TWR (BRASIL, 2016b). De modo a ilustrar as aéreas e órgãos de prestação do controle de tráfego aéreo, segue a figura 1.

Figura 1 - Órgãos de controle de tráfego aéreo.



Fonte: (Leal; Luciana,2020)

Abaixo, descrevem-se as atividades de controle constantes na figura 1, de acordo com (PEREIRA e RIBEIRO, 2001).

- **Centro de Controle de Área (ACC)** - ao atuar neste órgão o controlador é responsável pelo serviço de controle de área em voos de cruzeiro dentro de sua área de jurisdição. O serviço prestado consiste em atividades de vigilância e vetoração. A primeira delas, vigilância, caracteriza-se por manter observação sistemática dos tráfegos e das informações prestadas, sem ter a obrigatoriedade do equipamento radar para desempenhar esta atividade; a vetoração assinala o controlador como o responsável pela navegação das aeronaves, prevenindo contra colisões ou aproximações inadvertidas.
- **Centro de Controle de Aproximação (APP)** – de forma geral, este é um órgão de controle de tráfego aéreo que atua em três fases do voo (i) após a decolagem, momento que a aeronave inicia o procedimento de subida; (ii) antes do pouso, na fase de descida da aeronave; e (iii) quando aeronaves em voo de cruzeiro cruzam a sua área de jurisdição. Podendo, tal como o Centro de Controle de Área, o operador desempenhar atividades de vigilância e vetoração. Devido ao tempo reduzido as tomadas de decisões mais rápidas se fazem necessárias.

- **Torre de Controle de Aeródromo (TWR)** – a função do controlador neste órgão operacional é de prestar o serviço de controle de aeródromo, autorização para pousos, decolagens e taxiamento. Havendo a subdivisão em três posições operacionais: (i) autorização de tráfego (CLR – *clearance*), (ii) controle de solo (GND – ground) e (iii) torre de controle. Na posição *clearance* (CLR) são realizados os procedimentos anteriores ao acionamento dos motores das aeronaves, como por exemplo, autorização de plano de voo. Já a posição solo (GND) emite a autorização de acionamento de motores e táxi, controlando a movimentação das aeronaves na área de manobras, e, por conseguinte, atuar no controle de aeronaves, veículos, máquinas, equipamentos e pessoas nas *taxiways* (vias que interligam as pistas de pouso e decolagem aos pátios de estacionamentos) e pistas, utilizando-se de varredura visual de solo para a realização desta atividade. Finalmente, a posição torre de controle (TWR), onde o profissional tem como atribuições emitir autorizações de pousos e decolagens em um aeródromo, sendo imprescindível a varredura visual em toda a área de seu alcance visual, prerrogativa extremamente relevante, pois se faz necessário o contato visual com os tráfegos a serem autorizados para pouso e decolagem.

Basicamente esta é a função de controlador de tráfego aéreo, que atua de forma a prevenir colisões entre aeronaves em voo e entre aeronaves e veículos, pessoas ou obstáculos na área de manobra de um aeródromo no solo, organizando e ordenando o fluxo de tráfego, tornando-o seguro, ordenado e rápido, sendo um dos fatores humanos mais relevantes neste sistema.

Apesar de consolidada, a atividade de controle de tráfego aéreo ainda não possui regulamentação no país, sendo exercida por profissionais que cumprem rodízio em regime de escala rotativa, aos quais são constituídos em turnos (manhã, tarde e noite) que se executam em um órgão operacional, que normalmente tem seu funcionamento durante as 24 horas do dia (BRASIL, 2017). Percebendo-se diferentes equipes que se revezam cobrindo todo o período do dia. Os órgãos operacionais se adequam com uma certa quantidade de estações de trabalho (posição operacional) que são determinadas dependendo do volume de tráfego local, dividindo-se proporcionalmente à quantidade de aeronaves que voam na respectiva região.

Considerando turnos de trabalho, com duração de oito horas, observa-se o rodízio nas posições operacionais, de maneira a prover intervalos de descanso aos operadores. Após a ocupação de duas posições operacionais ininterruptas (aproximadamente duas horas controlando aviões), o ATCO deve deixar a posição operacional e cumprir o descanso previsto, objetivando a sua recuperação física e cognitiva, estes procedimentos estão previstos no gerenciamento da fadiga humana (BRASIL, 2020).

3.2 Fadiga no controle de tráfego aéreo

No ano de 1977 em Tenerife, nas Ilhas Canárias (Espanha), aconteceu um dos mais relevantes acidentes aeronáuticos. Após a investigação da colisão em solo, entre duas aeronaves Boeing 747, resultou na morte de 583 pessoas, evidenciou-se que fatores humanos como a fadiga e o stress dos controladores de tráfego aéreo foram fatores contribuintes significativos para o acidente. O aeroporto de Tenerife foi incrementado com um volume no seu fluxo de tráfego aéreo, uma vez que o aeroporto de Las Palmas havia sofrido um atentado terrorista, ocasionando os desvios dos voos para seu aeroporto de alternativa, Tenerife. Somando-se ao fato de os controladores não estarem habituados a este elevado volume de tráfego de aeronaves, também havia o receio de serem alvos de um atentado (NED, 2016).

Da década de 1970 em diante, o foco da Segurança Operacional mirou nos fatores humanos com o intuito de compreender o desempenho humano e monitorar erro humano, ditando conceitos como a Automação Centrada no Elemento Humano e treinamentos de equipe como o CRM (*Cockpit/Crew Resource Management*) e TRM (*Team Resource Management*). Porém, o erro humano compreendido como erro do indivíduo, permanece sendo um fator contribuinte para acidentes aeronáuticos e incidentes de tráfego aéreo, uma vez que o erro humano é inerente a todos os ambientes de trabalho (BRASIL, 2012a).

Quando se trata de ambiente aeronáutico, tem-se a fadiga como um elemento influenciador na condução das operações e conseqüentemente impactam preponderantemente na segurança operacional.

A Organização da Aviação Civil Internacional (OACI, 2016, p. XVI), define fadiga como "um estado fisiológico de capacidade reduzida de desempenho mental

ou físico resultante de perda de sono ou vigília prolongada, fase circadiana ou carga de trabalho".

De acordo com o manual de fatores humanos no gerenciamento da segurança operacional no SISCEAB - MCA 63-15 (BRASIL, 2012), o termo "Fatores Humanos" (FH) deve ser claramente definido de modo a diferenciar o seu uso na aviação daquele do senso comum, no qual se poderia aplicá-lo a fatores muito amplos.

Os casos mais comumente observados nos casos de fadiga nos controladores de tráfego aéreo são: a curta duração do sono, interrupção do ciclo circadiano, escala de serviço, turnos de serviço extra e atividades extras fora da escala de serviços. Por conseguinte, observam-se, como resultante da fadiga nos controladores de tráfego aéreo, a redução da atenção focal, déficit de julgamento das situações, prejuízos no tempo de reação, desatenção, perda de concentração, podendo ser observados erros técnicos que por vezes afetam a segurança no controle de tráfego aéreo (NED, 2016, p. 37).

Seguindo Reason (1990) e Hilgert (2018) que descrevem a falha humana como sendo fruto de condições latentes ou falhas ativas, a primeira representa de maneira geral os erros cujas consequências não são imediatas, podendo permanecer dormentes por tempos até que sejam evidenciadas, normalmente através de um acidente. Transportando essa visão para o tráfego aéreo, onde temos a grande maioria de acidentes derivados do fator humano. Uma vez que a sonolência acarreta diminuição da função cognitiva, motora e a percepção das pessoas, levando ao comprometimento exacerbado da performance do controlador de tráfego aéreo no ato da execução de suas atividades.

4 METODOLOGIA

O estudo consiste em uma revisão integrativa, norteada pela elaboração de uma análise na literatura e que tem por finalidade a síntese de dados publicados, assim com o melhor entendimento da variável analisada.

Segundo Mendes e colaboradores (2008), a revisão integrativa deve preconizar determinadas etapas, que são as seguintes: 1) elaboração da pergunta norteador; 2) busca ou amostragem na literatura; 3) coleta de dados; 4) análise dos estudos incluídos na revisão e 5) discussão e apresentação da revisão integrativa.

Primeira etapa se deu com a elaboração da pergunta norteadora, que foi definida como: Quais os sistemas de detecção de fadiga e suas tecnologias que podem ser aplicadas ao controle de tráfego aéreo, possibilitando a prevenção de acidentes?

Na Segunda etapa, efetuou-se a busca na literatura, realizando buscas nas seguintes bases de dados: *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO) e Google Acadêmico. Utilizou-se o operador booleano "AND" para fornecer a interseção. Assim, os descritores selecionados foram as palavras em português: "tráfego aéreo" AND, "detecção de fadiga".

A pesquisa nas referidas bases de dados, utilizou os seguintes critérios de inclusão: artigos científicos originais, na íntegra que retratem a temática, período determinado entre os anos de 2017 a 2022, na língua portuguesa, inglesa ou espanhola. Foram excluídos os editoriais, carta ao leitor, artigos de revisão, incompletos, duplicados ou indisponíveis. Para a descrição de ferramentas/tecnologias passíveis de serem utilizadas para detecção de fadiga, não houve limitação de período.

5 RESULTADOS

Com a pesquisa, na base de dados citados, evidenciou-se um resultado de 1.667 publicações de modo amplo e diversificado, mediante os filtros aplicados e com os critérios de inclusão e exclusão, mostraram-se 27 publicações dentro da temática estudada. As leituras e análises, no qual se reduziu a 15 artigos para se ter uma leitura pormenorizada, destes 15 artigos, 11 apresentam uma resposta para a pergunta norteadora da pesquisa e que passaram a compor os resultados desta pesquisa. A seguir, são apresentadas tecnologias passíveis de serem utilizadas para detecção de fadiga.

6 TÉCNICAS PARA DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE OBJETOS

Para realizar a detecção do estado de fadiga de um profissional de controle de tráfego aéreo se fazem necessárias as aplicações de algumas técnicas, que podem ser a partir de visão computacional (através da detecção e classificação de objetos), sistemas de monitoramento da face, monitoramento de variáveis fisiológicas e monitoramento da voz. Estas técnicas foram identificadas no processo de revisão de literatura e são descritas nas seções a seguir.

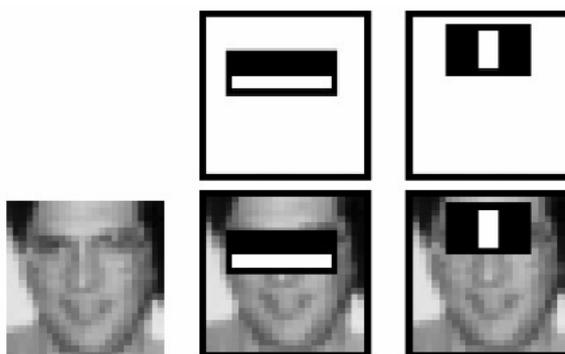
6.1 Haarcascade

Na literatura pode-se encontrar uma gama de técnicas para detecção de objetos, tem-se na técnica Haar Cascade uma das mais rápidas, tendo sua aplicação recorrente em aplicações de computação visual para detectar faces e outros objetos.

Uma forma mais proveitosa de extração de características da imagem, foi proposta por Papageorgiou et al (PAPAGEORGIOU; OREN; POGGIO, 1998), com um custo computacional menor, esta alternativa proposta utiliza o método baseado nas Haarwavelets ou “Transformada de Haar” que é um tipo de transformada matemática discreta usada no processamento e análise de dados.

O ajuste dessa definição foi realizado por Viola e Jones (VIOLA; JONES, 2001), usaram as haarwavelets para definir as chamadas características pseudo-haar. Categorizam a imagem em subsecções que delimitam a fronteira do objeto que se deseja detectar. Como exemplo, em detecção de um rosto humano, uma característica comum é a região mais escura dos olhos em relação as demais partes do rosto, que segue como ilustração a figura 2.

Figura 2 – Exemplo de características pseudo-haar comuns em detecção de rostos.

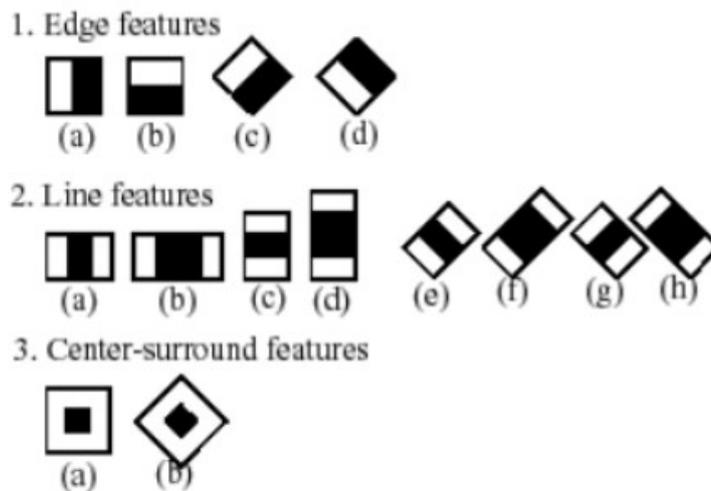


Fonte: (Viola; Jones, 2001)

Com esta proposta de detecção, a “janela de detecção” com tamanho aproximado do objeto do qual será detectado, que “desliza” pela imagem (como uma convolução) e para cada subseção da imagem, diversas características pseudo-haar são calculadas, como estas características são bem simples, não se tem confiabilidade suficiente para descrever o objeto detectado, fazendo-se necessário um número considerado de características para isso.

Por definição, “cascata”, neste contexto, deixa explícita que a classificação resultante consiste em alguns classificadores bem simples que agem como estágio de classificação, sendo aplicados reiteradamente em uma região de interesse, sendo que em algum estágio o candidato seja rejeitado ou aceito nas etapas, como é mostrado na figura 3.

Figura 3 – Exemplos de características pseudo-haar de bordas, linhas e círculos.



Fonte: (Viola; Jones, 2001)

As características do tipo haar, tem sua maior vantagem, desempenho. Onde imagens integrais, podem ser facilmente calculadas em tempo curto e constante pelo processador.

6.2 Histograma de gradientes orientados (HOG)

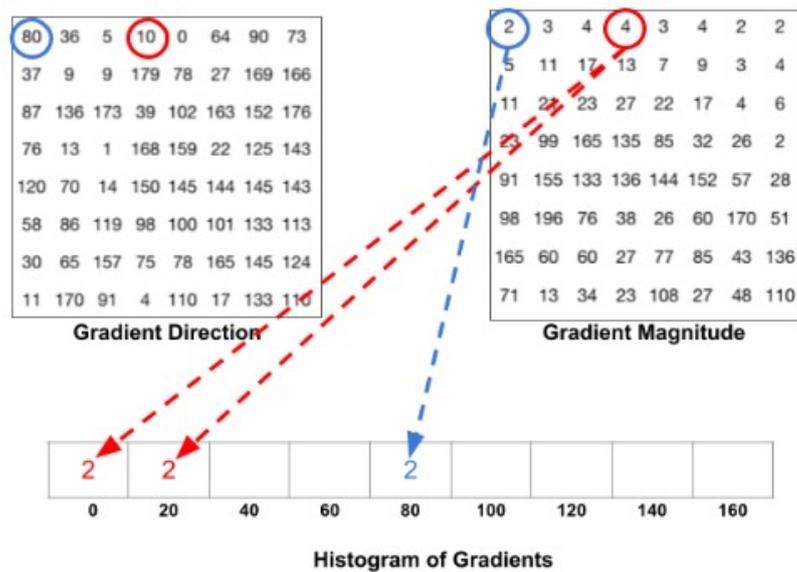
O descritor de características, histograma de gradientes orientados (HOG), usado com foco principal na detecção de objetos. É considerado um descritor denso, uma vez que extraí características de todas as regiões de uma imagem, podendo selecionar apenas áreas de interesse.

Para a construção de gradientes orientados tem início com o cálculo dos gradientes (mudanças direcionais na intensidade dos pixels) de uma determinada imagem. Com filtros verticais e horizontais.

O HOG procura obter dados a respeito de estruturas na imagem, então, extrai estas informações dividindo a imagem em quadrantes menores de 8x8 e reduzindo a blocos de 3x3 células, em que cada célula possui um número fixo de orientações com um voto proporcional à magnitude do pixel, ajusta-se de acordo com o objeto que a característica está sendo extraída.

Na figura 4, ilustra-se a criação de vetor de gradientes, onde os valores de magnitude e direção de cada quadrante 8x8 tem sua seleção vinculado na direção e valor a ser colocado no vetor de gradientes, com base na magnitude.

Figura 4 – Procedimento de voto do HOG



Fonte: (Rodrigues, Danilo, 2018)

6.3 K-nearestNeighbors

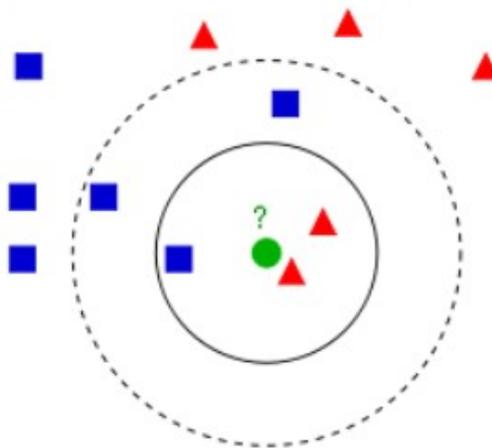
O método de reconhecimento de padrões usados para classificação e regressão é chamado de algoritmo K-nearest Neighbors (KNN), (ALTMAN, 1992), que tem por objetivo encontrar um número pré-definido de amostras de treino mais próximas do novo ponto e medir a distância entre estes, baseado nesta distância, pode-se prever a classe a qual este ponto pertence.

Por não ser um método métrico, apresenta bons resultados em situações em que a fronteira de classificação é irregular. Seu treinamento é feito com vetores em espaço multidimensionais.

A distância é medida normalmente utilizando a distância euclidiana, mais apropriada para valores contínuos. Um problema comum do KNN é que quando alguma classe é mais comum do que outras, ela tende a ser sempre a maioria dos votos. O que pode acarretar classificações incorretas. Uma solução é utilizar pesos inversamente proporcionais à distância. O KNN é pertence à família IBL (Instance-Based Learning), sendo um tipo de algoritmo que compara o elemento a ser classificado com instâncias vistas no treino, que são armazenadas em memória. A desvantagem disso é que a classificação da hipótese cresce de acordo com a quantidade de dados do treinamento (RUSSELL; NORVIG; INTELLIGENCE, 1995).

De modo que, o KNN é uma forma simples de verificar o funcionamento do sistema, que está ilustrado na figura 5.

Figura 5 – Exemplo das distâncias das classes para o elemento no KNN.



Fonte: (Rodrigues, Danilo, 2018).

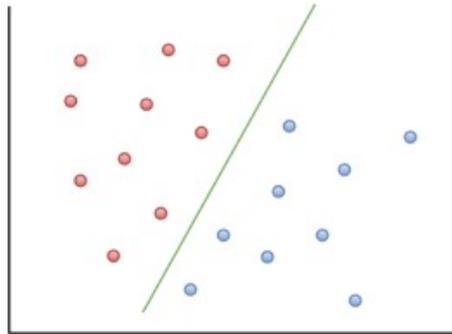
6.4 SVM - Support Vector Machine

Este método de aprendizado supervisionado associado com algoritmos de aprendizagem por classificação ou regressão. Teve sua origem proposta por Cortes e Vapnik (1995), com publicação neste mesmo ano.

Simplificadamente pode-se dizer que o SVM antevê a qual entrada fornecida pertence, um dado grupo de dados de duas classes existentes, tornando o SVM em um classificador linear binário não probabilístico. Exibido um conjunto de treino, que contenha exemplos rotulados para cada classe, é possível obter a predição.

No modelo SVM é criada uma arrumação dos pontos no espaço, agrupados de maneira que se tenham os exemplos de cada classe separados por uma distância máxima, como visto na figura 6. Onde a linha de separação entre as classes é chamada de hiperplano.

Figura 6 – Modelo de pontos no espaço do SVM.



Fonte:(Rodrigues, Danilo, 2018).

O principal objetivo do classificador de algoritmo SVM é organizar os dados linearmente separáveis, percebendo-se que este classificador não lida bem como dados ruidosos ou ainda classes muito semelhantes.

7 SISTEMAS BASEADOS EM MONITORAMENTO DE FACE

Analogamente, estes sistemas podem ser referidos como sistemas baseados em monitoramento de imagens. Utiliza-se a detecção por hipovigilância. Podendo determinar o estado do indivíduo analisando os estados dos olhos (piscadas), bocejos e movimentação da cabeça. Então, esses sistemas detectam estados de hipovigilância como distração, fadiga e sonolência.

O sistema é basicamente composto por três elementos: captura de imagem, plataforma de hardware e software inteligente.

7.1 Captura de imagem

Está é a principal interface de entrada de dados deste sistema. A escolha do método de iluminação de ser eficiente para proporcionar o funcionamento satisfatório do sistema, sem causar desconforto para o indivíduo. As câmeras configuradas para capturar o espectro infravermelho são as mais utilizadas, e tem maior aplicabilidade em ambientes noturnos. Onde se faz necessário o uso de luz infravermelho, que, em geral, tem essa fonte de luz obtida através de faróis infravermelho de LED (*Light Emitting Diode*, Diodo Emissor de Luz)(Santos, 2022).

7.2 Plataforma de Hardware

A atribuição primordial da plataforma de hardware é processar as imagens capturadas pelas câmeras que através de um software inteligente específico detecta os estados de hipovigilância. Os processadores dos computadores usados no sistema podem ser de arquitetura convencional atuais, que devem suportar os algoritmos de processamento de imagens e reconhecimento de padrões que geralmente tem alto grau de complexidade computacional (Santos, 2022).

7.3 Software Inteligente

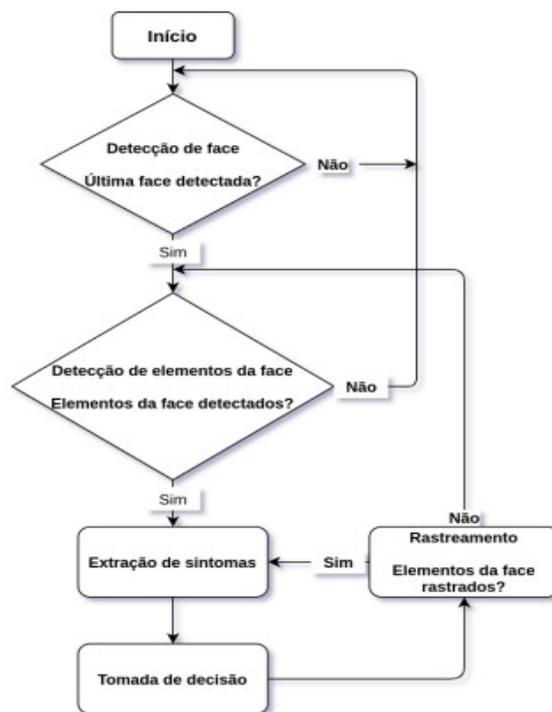
O software inteligente tem a função de executar os algoritmos de processamento de imagem, assim como executar os algoritmos de tomada de decisão. Os passos para o processamento de imagens incluem: pré-processamento, detecção de face, olhos e outros elementos de face e rastreamento de face e seus elementos. A precisão do sistema e o advento de estar sendo executado em tempo real possuem grande dependência do algoritmo. Estes algoritmos são responsáveis

por extrair corretamente os sintomas de hipovigilância do monitorado. O algoritmo de tomada de decisão deve detectar a fadiga e a distração baseando-se nos sintomas extraídos do processamento de imagens.

Os alertas a pessoa monitorada podem ser dados de três formas: visual, sonora ou tátil. Mais comumente são usados os alertas sonoros, onde podem ser atribuídos sons diferentes para cada sintoma verificado. Para alertas visuais podem ser utilizados displays ou luzes de alerta. Já para os alertas táteis, geralmente são utilizados sensores vibratórios (Santos, 2022).

Na figura 7, mostra-se basicamente o funcionamento o fluxograma de um sistema de software inteligente de monitoramento de face.

Figura 7 - Fluxograma dos softwares inteligentes.



Fonte:(Santos, Ricardo, 2022).

8 SISTEMAS BASEADOS NA FISILOGIA

Os sinais eletrofisiológicos são fenômenos elétricos relacionados aos eventos fisiológicos, a saber: batimentos cardíacos, contração muscular e descargas elétricas cerebrais. A classificação destes sinais pode ser dada em sinais voluntários e sinais involuntários e são o fundamento para o funcionamento dos sistemas baseados em fisiologia. Para a medição do estado do indivíduo são utilizados sensores. Ao monitorar a atividade biométrica da pessoa e ao detectar padrões de anormalidade, neste caso, relacionado a fadiga, são capazes de detectar o estado de hipovigilância.

A Eletroencefalografia (EEG) que mede a atividade cerebral do indivíduo através de impulsos elétricos gerados na zona cerebral pode ser utilizada para medir o nível de alerta do controlador de voo. Para tal, são fixados eletrodos no couro cabeludo por meio de uma pasta condutora de eletricidade.

Outro método fisiológico usado é o Eletrooculograma (EOG), que tem por base medir a evolução potencial do descanso da retina, consiste na conexão de eletrodos postos colados em torno dos olhos, que por sua vez mede o potencial elétrico entre a retina e a córnea.

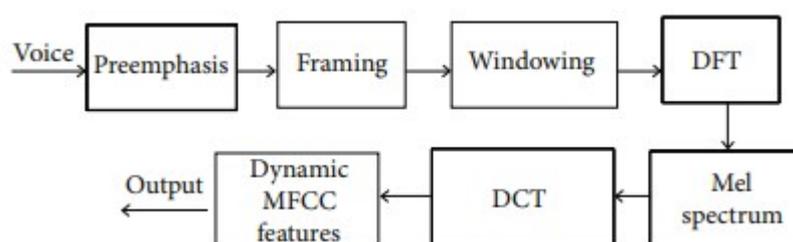
Por fim, o Eletrocardiograma (ECG) que tem por função monitorar as variações dos potenciais elétricos gerados pela atividade elétrica cardíaca, fazendo-se a necessidade de colocação de eletrodos na região do peitoral do avaliado.

Geralmente estes métodos fisiológicos são invasivos, uma vez que, necessitam estar conectados através de eletrodos a pessoa estudada, tornando-se pouco viáveis. Adicionalmente, ainda temos o problema relacionado à dificuldade de detecção de distração, uma vez que não há alteração fisiológica caso a pessoa comece a usar um celular, por exemplo. Porém, a fadiga pode ser detectada com mais rapidez e acurácia que outros métodos estudados (LAL et al. 2003) (KOKONOZI et al. 2008).

9 SISTEMAS BASEADOS EM EXTRAÇÃO VOCAL

É fundamental extrair os recursos de sinal de voz mais representativos para detecção de fadiga. No artigo estudado (Hu et al., 2022), empregou-se a extração de recursos MFCC (*Mel-Frequency Cepstral Coefficients* - Coeficientes Cepstrais de Frequência Mel) de sinais de voz, pois este método único de extração baseado em espectro e está mais em acordo com o princípio da audição humana, e também é o algoritmo de extração de recursos de fala mais comum e eficaz. O processo de extração do MFCC é ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Extração de recursos MFCC.



Fonte:(Hu et al., 2022)

Como mostrado na Figura 8, o MFCC consiste em sete etapas, cada uma das quais tem sua própria função e abordagem matemática, conforme discutido brevemente abaixo:

Etapa 1- Pré-ênfase. A pré-ênfase é um método de filtragem que enfatiza frequências mais altas para equilibrar a especificação de sons que têm um roll-off acentuado na região de alta frequência.

Etapa 2 - Enquadramento. Para facilitar a análise da fala, o sinal de voz pode ser dividido em pequenos segmentos, que são chamados de frames. Cada quadro contém N pontos de amostragem em uma unidade de observação. Normalmente, N é definido como 256 ou 512, e o tempo coberto é de cerca de 20-30 ms.

Etapa 3 - Janelas. A voz está em constante mudança a longo alcance e não pode ser processada sem características fixas. Portanto, cada quadro é substituído em uma função de janela e o valor fora da janela é definido como 0. As funções de janela comumente usadas incluem janela quadrada, janela Hamming e janela suspensa. Considerando as características de uma função de janela no domínio da frequência, a janela de Hamming é frequentemente usada.

Etapa 4 - Transformada discreta de Fourier (DFT). Cada quadro em janela é convertido em espectro de magnitude aplicando DFT, calculado como:

$$X(x) = \sum_{i=0}^{N-1} x(n) e^{(-j2\pi nk)/N} , 0 \leq K \leq N - 1 \quad (1)$$

onde N é o número de pontos usados para calcular a DFT

Etapa 5 - Espectro de Mel. O espectro do mel é calculado pela passagem do sinal transformado de Fourier através de um conjunto de filtros passa-banda conhecido como banco de filtros Mel. A escala de Mel é aproximadamente um espaçamento linear de frequência abaixo de 1 kHz e espaçamento logarítmico acima de 1 kHz. A aproximação de Mel da frequência física é calculada como:

$$f_{Mel} = 2569 \log_{10} \left(1 + \frac{f}{100} \right) \quad (2)$$

onde f denota a frequência física em Hz, e f mel denota a frequência percebida.

Etapa 6 - Transformada Discreta de Cosina (DCT). DCT é aplicado aos coeficientes de frequência de Mel transformados para produzir um conjunto de coeficientes cepstrais, sendo estes geralmente referidos com características estáticas, uma vez que contêm apenas informações de um determinado quadro.

Etapa 7 - características MFCC dinâmicas. A informação extra sobre a dinâmica temporal do sinal é obtida calculando-se a primeira e a segunda derivadas dos coeficientes cepstrais.

10 TRABALHOS QUE ABORDAM A DETECÇÃO DE FADIGA

Na Tabela 1 a seguir, são apresentados os autores, o título do trabalho, o ano, o objetivo e a metodologia de estudo, relacionados aos trabalhos que abordaram diretamente a detecção de fadiga em profissionais, não somente relacionados ao controle de tráfego aéreo, mas também outros profissionais que também necessitam de um foco e atenção intensos (como pilotos e motoristas), sendo as metodologias de pesquisa passíveis de também serem utilizadas para detecção de fadiga no controle de tráfego aéreo, seguindo de um resumo dos trabalhos identificados na literatura.

Os trabalhos analisados neste estudo, na maioria das vezes não possuem um estudo específico em relação ao controle de tráfego aéreo, identificado como o foco principal, porém, pode-se relacionar as tecnologia utilizadas podendo facilmente ser aplicada em diversos ramos, incluindo-se no controle de tráfego aéreo.

Tabela 1 - Trabalhos selecionados para análise.

Autores	Título	Ano	Objetivo	Metodologia de Estudo	Resumo
Vasconcelos, Carla Aparecida de; Vieira, Maurílio Nunes; Kecklund, Göran; Yehia, Hani Camille	Análise acústica da fala para detecção de fadiga e sonolência em aviador	2018	Descrever um estudo retrospectivo da comunicação oral entre piloto e torre de controle de tráfego aéreo em um caso de acidente.	Análises estatísticas	Basicamente, tem-se na avaliação da fala um método não invasivo promissor para a detecção de fadiga e sonolência em setores da vida real. Porém, há a necessidade de aprofundar estudos de validação em grande escala para determinar se as respostas que indicam o presente estudo de caso, tem validade para serem replicados nos demais indivíduos e outras línguas.
LEAL, Luciana da Costa	Atenção visuoespacial em controladores de tráfego aéreo: efeitos da estimulação transcraniana por corrente contínua no córtex parietal direito associada ao treino cognitivo	2020	Investigar o efeito de sessão única de tDCS no córtex parietal direito associada ao treino cognitivo na atenção visuoespacial de controladores de tráfego aéreo	Foi realizado um ensaio clínico cruzado, simples cego e controlado por simulação (Sham).	Nesta pesquisa buscou avaliar o efeito de sessão anódica de estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) parietal direita associada a treino cognitivo na atenção visuoespacial de 21 controladores de tráfego aéreo (ATCO). Com métodos de delineamento cruzado.

Autores	Título	Ano	Objetivo	Metodologia de Estudo	Resumo
Vasconcelos, Carla Aparecida	Fadiga e sonolência em aviadores: análise de variações da voz, fala e linguagem	2019	Desenvolver métodos de análise para detecção da fadiga humana do tipo central e da sonolência baseado nos correlatos acústicos de voz, fala e linguagem	Foi utilizado coleta de dados, com posterior análise, bem como aplicação de análise estatística.	Este estudo visou desenvolver métodos para detecção da fadiga e da sonolência em aviadores baseado nos correlatos acústicos de voz, fala e linguagem. Uma vez que em acidentes aeronáuticos, apenas 19 deles foi dado como fator contribuinte este tema. Então, dividiu-se esta pesquisa em 5 subestudos. Em nove variáveis observadas em sete apresentaram variação significativa ao longo do tempo, com aumento dos índices de fadiga e sonolência.
Pereira, Douglas De Borba	Os riscos da fadiga à segurança de voo	2020	Desenvolver uma pesquisa sobre a fadiga de forma didática, técnica e orgânica.	Pesquisa caracteriza-se como descritiva, com procedimento bibliográfico e com abordagem qualitativa.	Como resultado desta monografia, foi constatado como a privação de sono, o acúmulo de noites mal dormidas, escalas de trabalho mal elaboradas e regulamentação trabalhista falha propiciam à fadiga, e o quanto esta condição pode afetar a rotina de um indivíduo, causando transtornos motores, fisiológicos e cognitivos graves, além de erros significativos nos critérios de tomadas de decisão e alerta situacional das atividades onde se exige alto grau de atenção, como a dos aeronautas, podendo levar a consequências catastróficas.

Autores	Título	Ano	Objetivo	Metodologia de Estudo	Resumo
Baganha, Pedro Puttini	A influência da fadiga na comunicação de cabine de voo	2020	Identificar fatores que contribuem para a fadiga no tripulante técnico e abordar possibilidades de mitigar os efeitos da fadiga que acometem os tripulantes em longas jornadas de trabalho.	Este trabalho caracterizou-se como uma pesquisa descritiva, na qual se fez uso de material bibliográfico, artigos de autorias diversas e documentos oficiais de domínio público e 14 publicados por órgãos reguladores da aviação.	Ao final da pesquisa, observou-se que o indivíduo sob condições de fadiga apresenta mudanças na organização temporal da fala, no perfil de fluência, variações nos parâmetros de voz entre outros indicadores relacionados à comunicação alterados. Há de se observar limites em jornadas de trabalho e períodos de descanso, pois dentre outros, contribuem para a fadiga, que possui relevante contribuição para ocorrência de desvio operacional não intencional.
Santos, Ricardo Creonte Câmara De Meira	Um sistema embarcado de detecção de fadiga e distração de motoristas	2022	Desenvolvimento de um sistema capaz monitorar o estado de alerta do motorista enquanto conduz o veículo através de processamento de imagens da face dos motoristas em tempo real.	Revisão bibliográfica	Neste trabalho é mostrada uma comparação de diferentes plataformas de desenvolvimento embarcado ao executar algoritmos de detecção e classificação de face e olhos. Os testes realizados neste estudo mostraram que alertas de áudios aos motoristas reduzem situações de risco.

Autores	Título	Ano	Objetivo	Metodologia de Estudo	Resumo
Melão, Luiz Fernando Correa e, Castro	Fadiga humana: prejuízos à segurança de voo	2018	Compreender as causas e as consequências da fadiga humana para a atividade aérea.	Pesquisa descritiva através de bibliografia científica	Com intuito de compreender as causas e consequências provenientes da fadiga humana. Nesta pesquisa, extrai-se da leitura e análise dos dados, que a fadiga traz consequências para a atividade aérea e que o estudo da fadiga vem evoluindo ao longo do tempo, passando de uma relação homem-máquina para uma abordagem mais psicológica, visando à qualidade de vida daqueles que trabalham na atividade aérea.
Furlan, Fernando Henriques Esteves	Os riscos da exposição ao estresse e à fadiga na aviação civil	2019	Conhecer os riscos da exposição ao estresse e à fadiga nos pilotos da aviação civil e medidas a fim de minimizá-los.	Obtenção de dados descritivos mediante contato direto e interativo do pesquisador com a situação que é o objeto de estudo	O foco central da pesquisa foi tratar de duas patologias que mais ameaçam da atividade da aviação civil: estresse e fadiga. Os detalhes encontrados nos diferentes autores consultados esclareceram pontos essenciais para os conhecimentos propostos no objetivo geral desta pesquisa, somando-se isso com a prática e, mantendo-se atualizado com novos estudos que vão surgindo, muitos deles com alicerces na prática cotidiana dos pilotos, tem-se a possibilidade de melhores resultados alcançados na segurança de voo.

Autores	Título	Ano	Objetivo	Metodologia de Estudo	Resumo
Silva, Klayton Luís de Araújo	A capacitação profissional do controlador de tráfego aéreo como fator contribuinte para a prevenção e a mitigação de acidentes aeronáuticos	2019	Compreender como a capacitação do controlador de tráfego aéreo contribui para a prevenção e mitigação de acidentes aeronáuticos.	A presente pesquisa caracteriza-se como descritiva, com procedimento bibliográfico e documental e com abordagem qualitativa.	Este trabalho visou compreender como a capacitação do controlador de tráfego aéreo contribui para a prevenção e mitigação de acidentes aeronáuticos. Um de seus objetivos foi descrever como se dá o processo de seleção e de capacitação do controlador de tráfego aéreo brasileiro, comparar as grades curriculares dos cursos de formação. Uma das constatações foi que há um tratamento diferenciado, dividindo os controladores entre militares de carreira, e civis voluntários ao serviço militar temporário.
Rodrigues, Danilo Nogueira	Detecção de fadiga baseada no monitoramento dos olhos	2018	Construir um método inteligente capaz de identificar fadiga em faces humanas em tempo real.	A metodologia proposta detecção e classificação do estado dos olhos, através de captura de imagens.	Nesta monografia foi apresentado um método para detecção de fadiga em motoristas com a utilização de técnicas de processamento de imagem e aprendizado de máquina.
Hu, Yi; Liu, Zhuo; Hou, Aiqin; Wu, Chase; Wei, Wenbin; Wang, Yanjun; Liu, Min	<i>On Fatigue Detection for Air Traffic Controllers Based on Fuzzy Fusion of Multiple Features</i>	2022	Proposta de um modelo que combina voz e face, para a detecção de fadiga.	Neste artigo, foi proposto um método de detecção de fadiga por meio de fusão multicaracterística baseada em aprendizado conjunto, denominado Empilhamento Facial e de Voz (FV-Stacking).	A detecção de fadiga para controladores de tráfego aéreo é um problema importante, e desafiador, a maioria dos métodos existentes para este problema baseia-se nas características faciais. Neste estudo usa-se um método de aprendizado conjunto.

11 CONCLUSÃO

A composição do estudo partiu de uma gama de artigos que foram selecionados através da base de dados, o que resultou em uma amostra inicial de 1.667 publicações de modo amplo e diversificado, mediante os filtros aplicados e com os critérios de inclusão e exclusão, mostrou-se 27 publicações dentro da temática estudada. Com a leitura e análise pormenorizada, chegou-se a um universo de 11 artigos, que apresentaram uma resposta mais apropriada a pergunta norteadora da pesquisa.

Pode-se destacar, no entanto, que as produções nacionais ainda são escassas quanto ao tema específico de tecnologias para a aplicação na detecção de fadiga para o controle de tráfego aéreo. Notam-se estudos no campo psicológico que tem como intuito atingir o propósito de detectar a fadiga, onde o indivíduo é estudado usando-se métodos de preenchimento de formulários e afins, o que foge um pouco o tema principal, que seria o uso da tecnologia, porém determina variáveis que são aproveitadas em comparação com outros métodos. A de se destacar algumas produções relacionadas, que tratam de sistemas embarcados para aplicação de detecção de fadiga em motoristas, com grande potencial de migrar para outros ramos e ter sua aplicação para a redução de riscos causados por sonolência e distração.

Dentre as tecnologias para a detecção de fadiga que foram estudadas, temos: monitoramento de face, sistemas baseados em fisiologia e sistemas baseados em extração vocal. Não se conseguiu identificar o uso em grandes escalas de nenhum destes métodos, apenas estudos esporádicos em pequena escala com aplicação em amostragem reduzidas. Porém atinge-se um bom resultado em um estudo internacional onde usa-se um modelo de aprendizagem conjunta que combina características faciais e de voz, neste estudo chegam a alcançar uma precisão de 97%.

O estudo sobre a fadiga, que é um fator inibidor do estado de alerta, bem como da habilidade que detém o ATCO de realizar suas tarefas com segurança e eficácia, levando o fator humano a ser um dos fatores presentes em ocorrências e por conseguinte, em acidentes e incidentes aeronáuticos. Então, faz-se necessário buscar meios para mitigar os efeitos causados pela fadiga. Em análise à literatura, constatou-se que as tecnologias aplicadas em outras atividades

estressantes, também podem ter o direcionamento para a atividade de controle de tráfego aéreo trazendo resultados animadores. Mesmo em relação à atividade estudada, não foi localizada aplicações em larga escala, apenas em escopo reduzido, mas com resultados satisfatórios. Levando a conclusão que, futuramente poderão ser aplicados com maior abrangência, obtendo uma detecção eficiente de fadiga e minimizando os riscos que são provocados pela redução da atenção do controlador de tráfego aéreo, propiciando um fluxo de tráfego seguro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTMAN, N. S. An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression. *The American Statistician*, Taylor & Francis, v. 46, n. 3, p. 175–185, 1992. Citado na página 18.

AKERSTEDT, T., KUTSSIN, A., THEORELL, T., ALFREDSSON, L., KECKLUND, G. Mental fatigue, work, and sleep. *Journal of Psychosomatic Research*, 57, 427-433, 2004.

Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo. CGNA, 2017. Disponível em: <http://portal.cgna.gov.br/files/uploads/anuario_estatistico/anuario_estatistico_2017.pdf>. Acesso em: 26 de nov. 2018.

BAGANHA, Pedro Puttini, A influência da fadiga na comunicação de cabine de voo, 2020.

BAYER, Karynne Cordeiro. Amamos o que fazemos, mas precisamos de um tempo para nós mesmos! Retrato da Qualidade de Vida no Trabalho dos Pilotos do Transporte Aéreo Público Regular de Passageiros no Brasil. 2018. 260 f. Dissertação (Mestrado em Psicologia Social) – Programa de Pós-Graduação em Psicologia Social, do Trabalho e das Organizações, Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília – UnB, Brasília/DF, 2018. Disponível em: Acesso em: 15 nov. 2018.

BRASIL. Atividades de Fatores Humanos, Aspecto Psicológico, no Gerenciamento da Segurança Operacional (ICA 63-36). Rio de Janeiro: Ministério da Defesa. Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2015.

BRASIL. Programa de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos do Departamento de Controle Aéreo para 2016 (ICA 63-16). Rio de Janeiro: Ministério da Defesa. Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2016a.

BRASIL. Comando da Aeronáutica, Departamento de Controle do Espaço Aéreo, Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA 63-33) Horário de Trabalho do Pessoal ATC, CNS, MET, AIS SAR e OPM. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. DECEA. MCA 63-15: Manual de Fatores Humanos no Gerenciamento da Segurança Operacional no SISCEAB. 2012a. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.gov.br/download.cfm?d=3838>>. Acesso em: 16 mai. 2019

BRASIL. Comando da Aeronáutica, Departamento de Controle do Espaço Aéreo, Manual do Comando da Aeronáutica (MCA 81-1) Manual do Gerenciamento de Risco à Fadiga no ATC. Rio de Janeiro, 2020.

CRARY, Jonathan. 24/7-Capitalismo tardio e os fins do sono. São Paulo: Cosac Naify. 2014

FREIRE, C. Tragédia: relembre oito acidentes aéreos que chocaram o BRASIL. 2016. Disponível em: < <http://www.altoastral.com.br/acidentes-aereos-brasileiros/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

FURLAN, Fernando Henrique Esteves, Os riscos da exposição ao estresse e à fadiga na aviação civil, 2019.

HAN, Byung-Chul. Sociedade do cansaço. Tradução de Enio Paulo Giachini. 2 ed. Ampl. Petrópolis, Vozes, 128 pp. 2017.

HILGERT, R. L. Erro Humano: A Influência de Fatores Pré Voo nos Acidentes Aeronáuticos. Palhoça: Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, 2018. ICAO. Doc 9824, Human Factors Guidelines for Aircraft Maintenance Manual. Montreal, Canadá: ICAO, 2003. Disponível em: https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/suppot_documentation/icao_hf_guidelines_2003.pdf. Acesso em: 08 mar. 2020.

HONN, K.A.; VAN DONGEN, H.P.A; DAWSON D. Working Time Society consensus statements: Prescriptive rule sets and risk management-based approaches for the management of fatigue-related risk in working time arrangements. *Ind Health*. 2019 Apr 1;57(2):264-280.

HU, Yi; LIU, Zhuo; HOU, Aiqin; WU, Chase; WEI, Wenbin; WANG, Yanjun; LIU, Min. On Fatigue Detection for Air Traffic Controllers Based on Fuzzy Fusion of Multiple Features, 2022.

INFRAERO. Edital de abertura de inscrições para concurso público da Infraero/2011. Brasília, DF, Edital 2, mai. 2011. Disponível em: Acesso em: 08 ago. 2016.

KOKONOZI, A., MICHAEL, E., CHOUVARDA, I., et al. “A study of heart rate and brain system complexity and their interaction in sleep-deprived subjects”. In: *Computers in Cardiology*, 2008, pp. 969–971. IEEE, 2008.

LAL, S. K., CRAIG, A., BOORD, P., et al. “Development of an algorithm for an EEG-based driver fatigue countermeasure”, *Journal of safety Research*, v. 34, n. 3, pp. 321–328, 2003.

LEAL, Luciana da Costa, Atenção visuoespacial em controladores de tráfego aéreo: efeitos da estimulação transcraniana por corrente contínua no córtex parietal direito associada ao treino cognitivo, 2020.

M.-L. Chen, S.-Y. Lu, and I.-F. Mao, “Subjective symptoms and physiological measures of fatigue in air traffic controllers,” *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 70, pp. 1–8, 2019.

MANDAL, B., LI, L., WANG, G. S., et al. "Towards detection of bus driver fatigue based on robust visual analysis of eye state", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, v. 18, n. 3, pp. 545–557, 2017.

MELÃO, Luiz F. C. e Castro, Fadiga humana: prejuízos à segurança de voo, 2018.

MENNA-BARRETO, Luis. Cronobiologia Humana. In: Trabalho em Turnos e Noturno. São Paulo: Editora Atheneu, 2004

MOREIRA, S. L. B. Fatores Humanos e Modelos Conceituais. In: PEREIRA, M. C. e RIBEIRO, S. L. O. Os Voos da Psicologia no Brasil: estudos e práticas na aviação. Rio de Janeiro: DAC, 2001.

NED, Gustavo Carney. Fadiga nos Controladores de Tráfego Aéreo: Uma Realidade. Revista Conexão Sipaer, Vol.7, No. 1, pp. 35-43. 2016. Disponível em: <<http://conexaosipaer.cenipa.gov.br/index.php/sipaer/article/viewFile/382/325>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

PAPAGEORGIU, C. P.; OREN, M.; POGGIO, T. A general framework for object detection. In: IEEE. Computer vision, 1998. Sixth International Conference on. [S.l.], 1998.p. 555–562. Citado na página 13.

PEREIRA, Douglas de Borba, Os riscos da fadiga à segurança de voo. 2020.

RODRIGUES, N. Danilo, Detecção de fadiga baseada no monitoramento dos olhos, 2018.

RUSSELL, S.; NORVIG, P.; INTELLIGENCE, A. A modern approach. Artificial Intelligence. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, v. 25, p. 27, 1995. Citado na página 18.

SALEH, et al. The Development of a Work Stress Model for Air Traffic Controllers in Indonesia. Kesmas: Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional (National Public Health Journal), 2022; 17 (1): 40-47.

SANTOS, RICARDO, Um sistema embarcado de detecção de fadiga e distração de motoristas, 2022. p. 39-41.

SIGNIFICADOS, Conceitos e Definições. Significado de Fadiga. 2019. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/fadiga/>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

SILVA, Klayton Luís de Araújo, A capacitação profissional do controlador de tráfego aéreo como fator contribuinte para a prevenção e a mitigação de acidentes aeronáuticos, 2019.

T. Chalder, G. Berelowitz, T. Pawlikowska et al., "Development of a fatigue scale," Journal of Psychosomatic Research, vol. 37, no. 2, pp. 147–153, 1993.

VASCONCELOS, Carla A.; VIEIRA, Maurílio N.; KECKLUND, Göran; YEHIA, Hani C., Análise acústica da fala para detecção de fadiga e sonolência em aviador, 2018.

VASCONCELOS, Carla A Fadiga e sonolência em aviadores: análise de variações da voz, fala e linguagem. 2019.

VIOLA, P.; JONES, M. Rapid object detection using a Boosted cascade of simple features. In: IEEE. Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on. [S.l.], 2001. v. 1, p. I–I. Citado 3 vezes nas páginas 12, 14 e 15.

WATANABE, K.; SASAKI, A. T.; TAJIMA, K.; MIZUSEKI, K.; MIZUNO, K.; & WATANABE, Y. Mental fatigue is linked with attentional bias for sad stimuli. Scientific Reports Nature, 19:9(1):8797. Doi: 10.1038/s41598-019-45428-0, 2019.