

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA DETECÇÃO DE FADIGA ATRAVÉS DE
PADRÕES DE DIGITAÇÃO: ESTRATÉGIAS PROATIVAS CONTRA LESÕES EM
AMBIENTES CORPORATIVOS**

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR FATIGUE DETECTION THROUGH TYPING
PATTERNS: PROACTIVE STRATEGIES AGAINST INJURIES IN CORPORATE
ENVIRONMENTS**

Bruno de Oliveira Silva

Graduando do curso de Ciência da Computação da UNEMAT,
Barra do Bugres/MT.
E-mail: bruno.silva1@unemat.br

Frank Willian Rodrigues da Silva

Professor Orientador: Mestre em Ciência da Computação, UNEMAT,
Barra do Bugres/MT
E-mail: frank@unemat.br

Leandro Avelino Mazurek

Professor Coorientador: Mestre em Ciência da Computação, UNEMAT,
Barra do Bugres/MT
E-mail: leandro.mazurek@unemat.br

Resumo

A fadiga é um fator crítico em ambientes corporativos, frequentemente resultando em lesões ocupacionais e perda de produtividade. Este artigo propõe um sistema inovador baseado em inteligência artificial para detectar sinais precoces de fadiga através da análise de padrões de digitação. A integração de algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais permite a identificação antecipada de indicadores de risco ergonômico, possibilitando intervenções preventivas personalizadas. Esta abordagem não só visa melhorar a saúde e o bem-estar dos funcionários, mas também aumentar a eficiência e a sustentabilidade das operações empresariais. A implementação de tal sistema pode transformar a gestão de saúde ocupacional, promovendo ambientes de trabalho mais seguros e produtivos.

Palavras Chave: Inteligência Artificial; Fadiga; Padrões de Digitação; Prevenção de Lesões; Ambientes Corporativos.

Abstract

Fatigue is a critical factor in corporate environments, often leading to occupational injuries and productivity loss. This paper proposes an innovative AI-based system to detect early signs of fatigue through the analysis of typing patterns. By integrating machine learning algorithms and neural networks, the system enables the early identification of ergonomic risk indicators, allowing personalized preventive interventions. This approach aims not only to enhance employee health and well-being but also to increase the efficiency and sustainability of business operations. Implementing such a system can transform occupational health management, promoting safer and more productive work environments.

Key words: Artificial Intelligence; Fatigue; Typing Patterns; Injury Prevention; Corporate Environments.

1. Introdução

Nos ambientes corporativos modernos, a utilização intensiva de computadores e dispositivos digitais tornou-se uma constante, trazendo consigo desafios significativos para a saúde ocupacional. Entre esses desafios, a fadiga é um dos fatores mais críticos, contribuindo para a ocorrência de lesões por esforços repetitivos e outras condições ergonômicas adversas. A identificação precoce e a prevenção desses problemas são essenciais para promover o bem-estar dos funcionários e manter a produtividade organizacional.

A integração de tecnologias avançadas, como a inteligência artificial, oferece novas possibilidades para abordar esses desafios de maneira proativa. Este artigo propõe um sistema inovador que utiliza a análise de padrões de digitação para detectar sinais de fadiga. A combinação de algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais permite a identificação antecipada de indicadores de risco, possibilitando intervenções preventivas personalizadas que podem reduzir significativamente a incidência de lesões ocupacionais.

O objetivo é propor uma ferramenta que não apenas monitore o comportamento de digitação, mas que também forneça recomendações ergonômicas em tempo real, promovendo pausas regulares e exercícios específicos. Com isso, busca-se criar um ambiente de trabalho mais saudável e produtivo, alinhado com as melhores práticas de ergonomia e saúde ocupacional.

1.1 Objetivos

Desenvolver uma proposta para a implementação de um sistema baseado em inteligência artificial que utilize a análise de padrões de digitação como ferramenta para identificar precocemente sinais de fadiga e outros indicadores de risco ergonômico, com o intuito de prevenir lesões relacionadas ao trabalho em ambientes corporativos.

2. Revisão da literatura

2.1 Ergonomia

Ergonomia é uma ciência dedicada à otimização das interações humanas com sistemas, desempenhando um papel fundamental na prevenção de lesões em ambientes de trabalho, especialmente no que diz respeito ao uso de computadores. Este campo foca no ajuste ergonômico dos ambientes laborais, incluindo a configuração correta de cadeiras, mesas e equipamentos para fomentar posturas adequadas e minimizar movimentos potencialmente lesivos. A ergonomia visa reduzir tanto a tensão física quanto a mental, contribuindo para a saúde, o bem-estar e a produtividade dos funcionários.

De acordo com Laville (1997), a ergonomia pode ser compreendida como o estudo da atuação humana durante suas atividades, utilizando esse conhecimento para aprimorar o desenvolvimento de tarefas, ferramentas, máquinas e sistemas de produção. Esse campo interdisciplinar aplica princípios de várias ciências para criar ambientes que maximizem segurança, conforto e eficiência operacional.

Além de se concentrar nas configurações físicas, a ergonomia também aborda a organização temporal do trabalho. Isso inclui a definição de horários apropriados para pausas e a variação de tarefas, com o objetivo de mitigar a fadiga. Essas medidas não apenas ajudam a prevenir lesões físicas, mas também promovem um ambiente de trabalho mentalmente saudável e produtivo.

A implementação de estratégias ergonômicas pode, portanto, contribuir significativamente para a redução de doenças ocupacionais, como lesões por esforços repetitivos (LER) e distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT), além de melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores. A integração desses aspectos resulta em um design mais holístico do ambiente de trabalho, que não apenas previne lesões, mas também promove a satisfação e o bem-estar geral dos funcionários.

2.1.1 Ambientes corporativos

Ambientes corporativos são espaços estruturados onde atividades comerciais e administrativas são realizadas, abrangendo desde pequenos escritórios até grandes sedes de empresas. Esses ambientes são projetados para facilitar o fluxo de trabalho e maximizar a eficiência operacional, frequentemente incorporando áreas para trabalho individual e colaborativo, salas de reunião, e espaços de suporte como copas e áreas de descanso. Conforme destacado pela Deloitte (2020), a configuração desses ambientes deve também promover o bem-estar e a sensação de pertencimento dos funcionários, integrando o bem-estar ao design do trabalho como uma prática estratégica para as organizações.

Estes locais são projetados não só para facilitar o fluxo eficiente de trabalho, mas também para promover um ambiente que suporte o bem-estar dos funcionários. A configuração física, que inclui desde a disposição dos escritórios e salas de reunião até os espaços de descanso, é estrategicamente planejada para otimizar tanto a colaboração quanto a capacidade individual de foco e eficiência. Haiken (2021) enfatiza que o design ergonômico dos espaços de trabalho, incluindo a escolha de móveis ajustáveis e a integração de elementos naturais, é fundamental para reduzir o risco de distúrbios musculoesqueléticos e aumentar o bem-estar dos funcionários.

Com a integração das tecnologias digitais, surge a necessidade de uma adaptação ergonômica nos locais de trabalho, a fim de prevenir lesões ocupacionais decorrentes dessa evolução. À medida que a globalização avança, os ambientes corporativos se veem diante do desafio crucial de incorporar práticas ergonômicas eficazes, não apenas para mitigar os riscos de lesões, mas também para promover o bem-estar dos colaboradores e impulsionar a produtividade. Nesse contexto, a ergonomia não é apenas uma consideração periférica, mas sim um pilar fundamental na construção de ambientes de trabalho mais saudáveis, sustentáveis e adaptados às demandas do mundo moderno.

2.1.2 Lesões relacionadas ao ambiente de trabalho

No ambiente de trabalho, especialmente em escritórios onde se usa intensivamente computadores e outros dispositivos eletrônicos, há uma variedade de lesões ocupacionais que podem ocorrer. As lesões mais comuns incluem distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT) (Regis Filho et al., 2006), como

tendinite (Magas et al., 2012), síndrome do túnel do carpo (Karolczak et al., 2005) e outras formas de lesões por esforço repetitivo (LER) (Ribeiro, 1997). Estas condições geralmente surgem devido à repetição de movimentos, posturas inadequadas, e falta de ergonomia adequada no local de trabalho.

Os problemas podem se manifestar de várias formas, dependendo das condições específicas do posto de trabalho e das práticas operacionais. Por exemplo, uma cadeira ou mesa mal ajustada pode forçar o trabalhador a adotar uma postura inadequada, levando a tensões crônicas na região lombar, pescoço ou ombros. Além disso, a falta de pausas adequadas e a repetição incessante de movimentos específicos, como o uso constante do mouse ou teclado, podem aumentar o risco de condições como tendinite ou síndrome do túnel do carpo, caracterizadas por dor, formigamento e, em casos avançados, perda de força e função motora.

Prevenir lesões em ambientes corporativos exige uma estratégia abrangente que combine ergonomia adequada, educação sobre postura, e pausas regulares para aliviar o estresse. Além disso, o uso da tecnologia para monitoramento ajuda a identificar riscos proativamente, melhorando a saúde dos trabalhadores e reduzindo absenteísmo, o que beneficia a operação sustentável das empresas.

Segundo um estudo realizado por Hoe et al. (2018), intervenções ergonômicas como o uso de suportes para braços e mouses alternativos, juntamente com pausas organizadas, mostraram eficácia na redução de distúrbios musculoesqueléticos do pescoço e ombros, demonstrando a importância de adaptações ergonômicas e pausas planejadas no ambiente de trabalho.

2.1.2.1 Lesões por padrões de digitação

No contexto corporativo, onde a utilização de computadores é prevalente, lesões por padrões de digitação emergem como uma significativa preocupação de saúde ocupacional. Este tópico aborda algumas das principais lesões que podem ser mitigadas através de uma análise cuidadosa e intervenções baseadas em inteligência artificial, focando em padrões de digitação e comportamento ergonômico.

- **Síndrome do Túnel do Carpo:** Esta condição resulta da pressão sobre o nervo mediano dentro do túnel do carpo no pulso, frequentemente exacerbada por posturas inadequadas de digitação e movimentos repetitivos. Os sintomas incluem dor, formigamento e fraqueza na mão, afetando significativamente a capacidade de digitação e outras tarefas manuais. A síndrome afeta especialmente digitadores, trabalhadores que lidam com caixas registradoras, telegrafistas, costureiras, açougueiros e trabalhadores em abatedouros de aves ou em linhas de montagem (Oliveira Filho e Oliveira, 2017).
- **Tenossinovite Estenosante de DeQuervain:** Caracterizada pela inflamação dos tendões na base do polegar, esta lesão é influenciada pelo uso repetitivo do pulso e dos dedos, comum entre indivíduos que utilizam intensamente o teclado. Os sintomas incluem dor e dificuldade em mover o polegar e o pulso, particularmente quando se tenta agarrar ou segurar objetos. Estudo realizado por Stahl et al. (2015) demonstra que atividades ocupacionais que exigem movimentos repetitivos e força, tais como

trabalho manual intenso e condições ergonomicamente desafiadoras, estão associadas a uma maior incidência de Tenossinovite de DeQuervain.

- **Epicondilite Lateral do Cotovelo:** Embora mais associada ao uso repetitivo do mouse, a epicondilite lateral também pode ser influenciada pela ergonomia da estação de trabalho relacionada à digitação. A dor se manifesta na parte externa do cotovelo e pode se estender para o antebraço, impactando a capacidade de executar movimentos precisos com as mãos. Além disso, atividades laborativas que envolvem o uso frequente da mão, como carpintaria e digitação, também estão relacionadas à epicondilite, sugerindo que a variação e a intensidade das tarefas manuais podem contribuir significativamente para o desenvolvimento desta condição (COHEN; FILHO, 2012).
- **Tendinite:** A tendinite é uma inflamação ou irritação de um tendão, a fibra que conecta o músculo ao osso. No ambiente corporativo, ela é comumente associada a movimentos repetitivos que ocorrem durante a digitação prolongada ou o uso inadequado do mouse, podendo afetar várias partes do corpo, incluindo pulsos, cotovelos e ombros. Um estudo realizado por Lacerda et al. (2020) encontrou uma prevalência significativa de lesões por esforço repetitivo entre trabalhadores bancários, destacando a tendinite como uma condição comum. A pesquisa enfatiza que atividades repetitivas e a má ergonomia no local de trabalho são fatores-chave que contribuem para o desenvolvimento de lesões (Lacerda et al., 2020).

A implementação de um sistema baseado em inteligência artificial para monitorar e analisar padrões de digitação oferece uma solução proativa para identificar sinais precoces dessas condições. Com essa tecnologia, é possível recomendar ajustes ergonômicos no ambiente de trabalho, sugerir pausas regulares e promover exercícios específicos, visando a redução do risco de lesões. O objetivo é estabelecer um ambiente de trabalho que não só previna lesões, mas também forneça uma conscientização ampliada sobre práticas saudáveis de trabalho, contribuindo para a saúde, bem-estar e produtividade dos funcionários.

2.2 Inteligência Artificial

A Inteligência Artificial (IA) é um campo de computação que desenvolve sistemas computacionais capazes de realizar tarefas que estão associadas à inteligência humana.

Silva traz definição sobre IA como sendo

[...] a subárea da Ciência da Computação responsável por pesquisar e propor a elaboração de dispositivos computacionais capazes de simular aspectos do intelecto humano, ao modo da capacidade de raciocinar, perceber, tomar decisões e resolver problemas (2013, p. 1).

Em sua essência está a capacidade de máquinas aprenderem com os dados e experiências, adaptando-se e melhorando seu desempenho ao longo do tempo. Por meio de algoritmos modernos e complexos, a IA permite que sistemas interpretem informações, tomem decisões, reconheçam padrões e até mesmo desenvolvam a capacidade de raciocinar e solucionar problemas de maneira semelhante ao pensamento humano.

Um estudo de Jong et al. (2020), que explorou como a IA pode ser utilizada para monitorar a dinâmica da digitação e refletir a fadiga mental em ambientes de trabalho reais. Este estudo ilustra a capacidade da IA de analisar comportamentos humanos em tempo real, oferecendo uma base sólida para futuras intervenções que busquem melhorar o bem-estar e a produtividade no ambiente de trabalho.

2.2.1 Aprendizado de máquina

Segundo Schneider (2016), o aprendizado de máquina pertence a uma subárea da ciência da computação que se concentra no reconhecimento de padrões e nas teorias de aprendizado de máquina relacionadas à Inteligência Artificial. Essa técnica utiliza de modelos e algoritmos de aprendizado automático para fazer previsões com base em informações previamente adquiridas.

O aprendizado de máquina se destaca pela sua capacidade de extrair padrões de dados brutos com o uso de algoritmos e modelos, permitindo que sistemas computacionais aprendam com experiências passadas sem depender de programação explícita ou intervenção direta do ser humano.

Com a finalidade de aprimorar as capacidades computacionais, esta abordagem busca desenvolver algoritmos e modelos que permitam aos computadores incorporar informações. Desta forma, possibilitar que esses sistemas identifiquem padrões, realizem previsões e tomem decisões de maneira autônoma, dispensando a necessidade de interação humana direta.

2.2.2 Aprendizado supervisionado

Segundo Ignacio (2021), a técnica de aprendizado supervisionado é notável pela disponibilidade de uma amostra do problema que inclui informações sobre o objeto de estudo, os dados de entrada e os resultados correspondentes obtidos com as informações, ou seja, os dados de saída. Em termos mais abrangentes, essa abordagem proporciona uma base sólida para a construção de modelos com a capacidade de generalizar conhecimentos e efetuar classificações precisas.

O aprendizado supervisionado é essencial do campo de aprendizado de máquina, no qual os modelos são treinados usando conjuntos de dados que já possuem rótulos, associando cada entrada a uma etiqueta que representa a saída correta. Esses rótulos desempenham um papel crucial no processo de treinamento, permitindo que o algoritmo adquira a habilidade de fazer previsões precisas para entradas não rotuladas.

2.2.3 Aprendizado indutivo

O aprendizado indutivo é uma abordagem essencial na área de inteligência artificial e aprendizado de máquina, destacando-se por sua capacidade de extrair padrões e informações de conjuntos de dados, permitindo a generalização para novos cenários.

Segundo Martins, o aprendizado indutivo é definido sendo

[...] a forma de inferência lógica que permite que conclusões gerais sejam obtidas de exemplos particulares. É caracterizada como o raciocínio que parte do específico para o geral, do particular para o universal, da parte para o todo. No Aprendizado por Indução, o aprendiz adquire um conceito fazendo inferências indutivas sobre os fatos apresentados (2003, p. 30).

Essa abordagem permite que máquinas e sistemas de inteligência artificial construam um entendimento abrangente de um determinado domínio. Isso significa que, ao lidar com novos dados ou cenários semelhantes, esses sistemas têm a capacidade de tomar decisões informadas com base nas conclusões gerais extraídas do aprendizado indutivo.

2.2.4 Redes neurais artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são estruturas complexas de neurônios artificiais interconectados, inspiradas no cérebro humano, usadas para resolver problemas complexos. Elas são eficazes em tarefas que envolvem processamento de informações e aprendizado.

SPÖR, Casto e Luchiari (2011, p. 116) referem-se a RNAs como

[...] algoritmos computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes tentando emular em máquinas (computadores) o funcionamento do cérebro humano, ainda que de maneira simplificada. Assim como o cérebro humano, a RNA é capaz de aprender e tomar decisões baseadas em seu próprio aprendizado.

Essas redes têm uma aplicação particularmente poderosa no campo do reconhecimento de padrões, uma tarefa fundamental na inteligência artificial. O reconhecimento de padrões envolve a identificação de regularidades, características ou estruturas em dados que podem ser utilizadas para categorizar, classificar ou interpretar informações. As RNAs se destacam nesse contexto devido à sua notável capacidade de aprender e generalizar a partir de exemplos.

Para Ferneda, explica que a combinação,

[...] diversos neurônios, forma-se uma rede neural artificial. As redes neurais artificiais são modelos que buscam simular o processamento de informação do cérebro humano. São compostas por unidades de processamentos simples, os

neurônios, que se unem por meio de conexões sinápticas. (2006, p.2)

Sua estrutura organizacional e a capacidade de ajustar conexões entre os neurônios permitem que Redes Neurais Artificiais identifiquem regularidade em informações aparentemente caóticas, sendo assim empregadas em diversas aplicações, desde o reconhecimento de objetos em imagens até em análise de padrões.

2.2.5 Reconhecimento de padrões

O reconhecimento de padrões desempenha um papel crucial no campo da inteligência artificial, sendo uma área fundamental responsável por identificar e interpretar regularidades em dados brutos. De acordo com Bishop (2006), o campo do reconhecimento de padrões trata da descoberta automática de regularidades em dados por meio do uso de algoritmos de computador e da utilização dessas regularidades para realizar ações, como classificar os dados em diferentes categorias.

Essa técnica visa extrair informações significativas de conjuntos de dados complexos, permitindo a detecção de semelhanças ou padrões recorrentes. Posteriormente, esses algoritmos podem ser aplicados para classificar novos dados ou identificar comportamentos anômalos.

3. Trabalhos relacionados

Diversos estudos foram realizados para entender como características de digitação podem ser utilizadas para monitorar a saúde mental e física em diferentes contextos, desde ambientes de trabalho até condições médicas específicas. Esta seção apresenta alguns dos principais trabalhos publicados entre 2020 e 2023, comparando seus objetivos e métodos com o presente estudo.

A pesquisa de KH Lam et al. (2020) destaca o uso da dinâmica de digitação para avaliar incapacidades clínicas em pacientes com Esclerose Múltipla (EM), demonstrando que características temporais da digitação, como latências entre pressionamentos e liberações de teclas, podem ser indicadores de incapacidade física. Esses resultados sugerem que a dinâmica de digitação tem potencial para ser uma ferramenta no monitoramento remoto de condições clínicas.

Jong et al. (2020) examinam como a fadiga mental afeta o desempenho da digitação no local de trabalho. O estudo monitorou o desempenho de digitação de funcionários ao longo de seis semanas, analisando indicadores como o intervalo entre teclas e o uso da tecla de retrocesso (*Backspace*) para avaliar a velocidade e a precisão da digitação. Os resultados mostraram que a velocidade e a precisão diminuem com o prolongamento das tarefas, especialmente à tarde, indicando o acúmulo de fadiga mental ao longo do dia. Além disso, observou-se que os trabalhadores adotam diferentes estratégias de digitação ao longo da semana, priorizando a velocidade nas segundas e sextas-feiras. A pesquisa conclui que o monitoramento contínuo da dinâmica de digitação é uma ferramenta eficaz para

detectar fadiga mental no ambiente de trabalho, proporcionando *insights* valiosos para a gestão da saúde e bem-estar dos funcionários.

Virk et al. (2023) propõe uma abordagem não intrusiva para a detecção de fadiga induzida pela privação de sono, utilizando fusão de recursos multimodais. A metodologia envolve a extração de características de quatro domínios: imagens visuais, imagens térmicas, dinâmica de digitação e características vocais. O sistema proposto atribui pesos empíricos apropriados às características obtidas de cada domínio, e os resultados foram comparados com classificadores como K-vizinhos mais próximos (kNN), Máquinas de Vetores de Suporte (SVM), Árvore Aleatória e Perceptron multicamadas. O estudo foi feito com 60 voluntários jovens e saudáveis, que se abstiveram de hábitos e substâncias que pudessem impactar seus padrões de sono, a técnica obteve uma precisão média de detecção de 93,33% em validação, destacando-se como uma solução capaz de identificar situações relacionados à fadiga.

Durante a pandemia de COVID-19, o aumento da adoção de tecnologias de ensino a distância destacou a necessidade de soluções eficazes para garantir a integridade dos exames online. Kohegurova e Zateev (2022) exploram o uso da dinâmica de digitação para autenticação contínua e monitoramento em sistemas de online, visando combater fraudes acadêmicas, como a falsificação de identidade. A pesquisa propõe uma tecnologia de autenticação baseada na dinâmica de digitação, que coleta e atualiza perfis de digitação dos usuários continuamente. Este sistema oferece uma solução prática e eficaz para assegurar a integridade acadêmica em ambientes de ensino online, combinando monitoramento discreto com métodos de reconhecimento contínuo.

Hasegawa et. al (2021) investigam como a vibração da digitação e a dinâmica do teclado podem ser usadas para estimar o estado afetivo dos usuários durante a comunicação online. O objetivo é superar a ausência de informações não-verbais, como tom de voz e expressões faciais, na comunicação digital, que são cruciais para entender corretamente o conteúdo das mensagens. Utilizando um dispositivo de medição de vibração conectado via USB, os pesquisadores coletaram dados de digitação e vibração de teclas de participantes enquanto discutiam relatórios em um chat de negócios. Esses dados foram usados para extrair características específicas, que foram então analisadas usando uma máquina de vetores de suporte (SVM) para classificar os níveis de valência e excitação. Os resultados mostraram uma precisão de 69,8% para a estimativa de valência e 71,1% para a estimativa de excitação, indicando que a combinação de informações de digitação e vibração pode fornecer uma estimativa precisa do estado emocional dos usuários durante a CMC, sem a necessidade de dispositivos intrusivos.

Van Slooten (2021) focou em identificar sinais de fadiga mental entre estudantes usando dinâmicas de digitação e aprendizado de máquina. A pesquisa destaca a complexidade de medir a fadiga mental em ambientes menos controlados, como a rotina estudantil, e a necessidade de adaptar as ferramentas de detecção às necessidades específicas dos usuários. O estudo utilizou um protocolo de amostragem de experiência combinado com medições contínuas das características de digitação e diários de sono dos participantes. Apesar de não encontrar uma relação significativa entre as características de digitação e a fadiga mental, a pesquisa identificou questões importantes, como a homogeneidade da amostra e a curta

duração da coleta de dados. O estudo sugere que futuras pesquisas devem explorar diferentes medidas temporais e envolver amostras mais heterogêneas e períodos de coleta de dados mais longos.

A pesquisa de Mitsou (2021) foca no desenvolvimento de um sistema de monitoramento multimodal para reconhecer atividades e comportamentos humanos que causam fadiga, estresse e ansiedade no ambiente de trabalho. Utilizando uma combinação de fontes de informação de periféricos de computador e sensores de resistência sensíveis à força, Mitsou implementa técnicas de aprendizado de máquina supervisionado para identificar essas atividades. O sistema proposto inclui a coleta de dados de sensores de teclado, mouse e cadeira, e a extração de características desses dados para detectar estresse e fadiga através de padrões de uso e comportamento. O estudo enfatiza a importância de um sistema integrado que pode monitorar discretamente a saúde mental dos funcionários, oferecendo uma ferramenta potencialmente valiosa para a gestão de bem-estar no local de trabalho.

Marrone e Sansone (2022) investiga o uso da dinâmica de digitação para reconhecer estados emocionais dos usuários durante sessões de escrita, especialmente em contextos de mídia social onde as mensagens trocadas são geralmente curtas e o ritmo de digitação é rápido. A abordagem proposta utiliza uma técnica de janela temporal para analisar sessões de escrita em diferentes lotes, permitindo a previsão contínua dos estados emocionais dos usuários. Os resultados indicam que mesmo janelas de escrita curtas de 30 segundos são suficientes para reconhecer o estado emocional dos usuários com a mesma precisão de sessões de escrita mais longas. A pesquisa sugere que a dinâmica de digitação pode ser uma ferramenta eficaz para o reconhecimento de emoções, oferecendo potencial para melhorar a experiência do usuário e apoiar a detecção de problemas como *cyberbullying* e para o apoio à identificação de estados psicológicos complexos.

Maaleja, Kallela e Javier Medina (2022) investigaram o uso da dinâmica de digitação para o reconhecimento em tempo real de emoções, abordando as limitações dos métodos atuais que são intrusivos, caros e pouco aplicáveis no mundo real. A pesquisa desenvolveu uma aplicação web chamada EmoSurv para coletar dados de digitação de texto livre e fixo, rotulados com os estados emocionais dos participantes entre raiva, felicidade, tristeza, calma e neutro. Os dados coletados foram usados para treinar modelos de aprendizado de máquina, alcançando uma taxa de precisão de 93,922%. O estudo oferece uma solução prática e de baixo custo para o reconhecimento de emoções, sugerindo que a dinâmica de digitação pode ser uma ferramenta eficaz para melhorar a interação humano-computador e adaptar as interfaces às necessidades emocionais dos usuários.

4. Sistema de detecção de fadiga utilizando dinâmica de digitação

O presente trabalho propõe um sistema para a detecção de fadiga em ambientes corporativos que utiliza exclusivamente o teclado como ferramenta de monitoramento. Diferenciando das abordagens que dependem de múltiplos sensores ou dispositivos externos, este sistema se baseia na análise detalhada de padrões de digitação, fornecendo uma solução não intrusiva e altamente eficiente. A coleta de dados de digitação inclui a medição da latência entre teclas e a frequência de erros,

monitorando o uso da tecla de retrocesso e tempo de repouso para identificar sinais de cansaço.

O sistema proposto integra tecnologias avançadas de inteligência artificial e aprendizado de máquina para analisar os dados de digitação de forma abrangente. Algoritmos de aprendizado de máquina identificam padrões complexos de digitação associados à fadiga, enquanto modelos preditivos preveem a fadiga antes que os sintomas se tornem críticos, permitindo intervenções proativas. Redes neurais artificiais capturam correlações sutis nos dados enquanto se adaptam ao comportamento único de cada usuário para oferecer detecções personalizadas.

O *feedback* em tempo real do sistema fornece recomendações para pausas regulares, exercícios de alongamento e ajustes na postura, visando reduzir a fadiga. Este sistema é pensado para ser facilmente implementado em qualquer ambiente corporativo, sem a necessidade de hardware adicional, e oferecer alta precisão na detecção de fadiga através da análise detalhada de padrões de digitação. A ausência de sensores físicos torna o sistema mais acessível e de baixo custo, sendo ideal para empresas de todos os tamanhos. Em conclusão, o sistema proposto representa um avanço significativo na saúde ocupacional, oferecendo uma solução não intrusiva, precisa e de baixo custo que pode melhorar o bem-estar dos funcionários e aumentar a produtividade geral da organizacional.

A tabela abaixo apresenta uma comparação entre os trabalhos discutidos no tópico anterior e o sistema proposto neste estudo.

Tabela 1 - Comparação entre os trabalhos relacionados e o sistema proposto

Autor	Trabalho citado	Sistema proposto
KH Lam et al. (2020)	Avaliação da dinâmica de digitação como biomarcador de incapacidade clínica em pacientes com Esclerose Múltipla (EM).	Utiliza dinâmica de digitação para detectar fadiga mental, focando especificamente na prevenção de lesões ocupacionais.
Jong et al. (2020)	Investiga como a fadiga mental afeta a dinâmica de digitação.	Utilização IA para identificação preventiva de lesões ocupacionais.
Virk et al. (2023)	Detecção de privação de sono através de imagens visuais, térmicas, digitação e voz.	Análise de padrões de digitação usando técnicas de inteligência artificial.
Kochegurova e Zateev (2022)	Análise de digitação para prevenção de fraudes acadêmicas.	Análise de padrões de digitação para prevenção de fadiga no ambiente de trabalho.
Hasegawa et.al (2021)	Uso de sensores para coleta de dados e vibrações de teclas pressionadas. Classificação de emoções via SVM.	Detecção de fadiga por padrões de digitação com aplicação de IA para prevenção de lesões em ambientes corporativos.

Van Slooten (2021)	Detectar fadigas em estudantes através da dinâmica de digitação	Dinâmica de digitação para detecção e prevenção de lesões em ambientes corporativos.
Mitsou (2021)	Uso de sensores físicos e dados de interação com dispositivos.	Uso de inteligência artificial para análise de padrões.
Marrone e Sansone (2022)	Identificação de estados emocionais através de janelas de tempo.	Detecção de fadigas e prevenção de lesões relacionadas ao trabalho.
Maaleja, Kallela e Javier Medina (2022)	Reconhecimento de emoções.	Detecção de fadiga.

5. Considerações finais

A implementação de um sistema baseado em inteligência artificial para a detecção de fadiga através de padrões de digitação representa um avanço significativo na prevenção de lesões ocupacionais em ambientes corporativos. A capacidade de identificar sinais precoces de fadiga e outros riscos ergonômicos permite a adoção de medidas preventivas que podem melhorar substancialmente a saúde e o bem-estar dos funcionários.

Este sistema não apenas promove a saúde ocupacional, mas também contribui para a eficiência e sustentabilidade das operações empresariais. Funcionários saudáveis e bem cuidados são mais produtivos e menos propensos a ausências e erros, o que, por sua vez, beneficia a organização como um todo. A aplicação de tecnologias de inteligência artificial neste contexto demonstra o potencial transformador da inovação tecnológica na criação de ambientes de trabalho mais seguros e eficientes.

Diversos estudos recentes reforçam a relevância e a eficácia do uso da dinâmica de digitação e outras técnicas multimodais para monitorar a saúde mental e física dos trabalhadores. Pesquisas demonstram que a análise da dinâmica de digitação pode ser uma ferramenta eficaz não apenas para detectar fadiga, mas também para monitorar estados emocionais e prevenir fraudes, mostrando sua versatilidade e aplicabilidade em diferentes contextos. A integração de múltiplas fontes de dados, como imagens térmicas e análise de voz, também tem se mostrado eficaz na melhoria da precisão das detecções.

Portanto, a adoção de ferramentas tecnológicas avançadas para monitoramento e intervenção ergonômica não deve ser vista apenas como uma opção, mas como uma necessidade estratégica para empresas que buscam excelência operacional e um ambiente de trabalho saudável. O futuro da saúde ocupacional está intrinsecamente ligado à capacidade de integrar soluções tecnológicas que promovam a prevenção proativa e o bem-estar contínuo dos funcionários.

Referências

- ARMSTRONG, T. J. et al. **Ergonomic considerations in hand and wrist tendinitis**. The Journal of Hand Surgery, v. 12A, n. 2 Pt 2, p. 830-837, 1987.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). **Ergonomics and Musculoskeletal Disorders**. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/ergonomics/>. Acesso em: 07 maio 2024.
- COHEN, M.; FILHO, G. R. M. **Epicondilite lateral do cotovelo**. Revista Brasileira de Ortopedia, São Paulo, v. 47, n. 4, p. 414-20, 2012.
- DELOITTE. **Designing work for employee well-being**. Deloitte Insights, 2020. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/human-capital-trends/2020/designing-work-employee-well-being.html>. Acesso em: 07 maio 2024.
- DE JONG, M. et al. **Dynamics in typewriting performance reflect mental fatigue during real-life office work**. PLoS ONE, v. 15, n. 10, e0239984, out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239984>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- FERNEDA, E. **Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação**. Ciência da Informação, Brasília, v. 35, n. 1, p. 25-30, jan./abr. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ci/a/SQ9myjZWLxnyXfstXMgCdch/#>. Acesso em: 22 set. 2023.
- FILHO, J. R. de O.; OLIVEIRA, A. C. R. de. **Síndrome do túnel do carpo na esfera trabalhista**. Revista Brasileira de Medicina do Trabalho, v. 15, n. 2, p. 182-192, 2017. Disponível em: <https://cdn.publisher.gn1.link/rbmt.org.br/pdf/v15n2a09.pdf>. Acesso em: 07 maio 2024.
- HAIKEN. **The impact of office design on productivity & well-being**. Haiken, 2021. Disponível em: <https://www.haiken.com/insights/impact-of-office-design-on-productivity-and-wellbeing>. Acesso em: 07 maio 2024.
- HASEGAWA, K. et al. **Estimation of Affective State based on Keystroke and Typing Vibration during Computer-Mediated Communication**. Development of Human and Engineered Environmental Studies, The Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Kashiwa, Chiba, Japão. Disponível em: <https://www.scitepress.org/PublishedPapers/2021/102675/102675.pdf>. Acesso em: 08 maio 2024.
- HOE, V. C. W. et al. **Ergonomic interventions for preventing work-related musculoskeletal disorders of the upper limb and neck among office workers**. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2018, n. 10, art. CD008570. Disponível em: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD008570.pub3/full>. Acesso em: 07 maio 2024.
- IGNACIO, L. F. F. **Aprendizado de máquina: da teoria à aplicação**. 2021. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Matemática) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2021.
- JONG, M. et al. **Dynamics in typewriting performance reflect mental fatigue during real-life office work**. PLoS ONE, v. 15, n. 10, e0239984, out. 2020. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0239984>. Acesso em: 07 maio 2024.
- KAROLCZAK, A. P. B.; VAZ, M. A.; FREITAS, C. R.; MERLO, A. R. C. **Síndrome do túnel do carpo**. Revista Brasileira de Fisioterapia, v. 9, n. 2, p. 117-122, 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/61877>. Acesso em: 17 jun. 2024.

KOCHEGUROVA, E. A.; ZATEEV, R. P. **Hidden Monitoring Based on Keystroke Dynamics in Online Examination System**. Program Computing Software, [S.l.], v. 48, n. 6, p. 385–398, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S0361768822060044>. Acesso em 15 jun. 2024.

LACERDA, E. M. et al. **Prevalence and associations of symptoms of upper extremities, repetitive strain injuries (RSI) and 'RSI-like condition'**. A cross-sectional study of bank workers in Northeast Brazil. BMC Public Health, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16219095/>. Acesso em: 18 maio 2024.

LAVILLE, A. **Ergonomia**. São Paulo: EPU, 1977.

MAGAS, V.; NEVES, E. B.; MOURA, M. A. M. de; NOHAMA, P. **Avaliação da aplicação da termografia no diagnóstico de tendinite de punho por LER/DORT**. In: XXIII Congresso Brasileiro em Engenharia Biomédica – XXIII CBEB. Anais. Curitiba: CBEB, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1644.0642>. Acesso em: 17 jun. 2024.

MAALEJA, A.; KALLELA, I.; SANCHEZ MEDINA, J. J. **Investigating Keystroke Dynamics and their Relevance for Real-time Emotion Recognition**, 2022. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4250964>. Acesso em: 17 jun. 2024.

MARRONE, S.; SANSONE, C. **Identifying Users' Emotional States through Keystroke Dynamics**. Proceedings of the 3rd International Conference on Deep Learning Theory and Applications (DeLTA 2022), Napoli, Italy, 2022, p. 207-214. Acesso em: 17 jun. 2024.

MARTINS, P. S. **Aprendizado de máquina para otimização de parâmetros em sistemas baseados em conhecimento**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, 2003. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30366865.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.

MITSOU, A. **Multimodal Workplace Monitoring for Work-Related Fatigue Recognition**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência de Dados) – University of the Peloponnese & NCSR “Democritos”, Atenas, 2021. Disponível em: https://labs-repos.iit.demokritos.gr/MagCIL/theses/2021_Mitsou_Multimodal_Workplace_Monitoring_for_Work_Related_Fatigue_Recognition.pdf. Acesso em: 17 jun. 2024.

REGIS FILHO, G. I.; MICHELS, G.; SELL, I. **Lesões por esforços repetitivos/distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho em cirurgiões-dentistas**. Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 9, n. 3, p. 346-359, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2006000300009>. Acesso em: 17 jun. 2024.

RIBEIRO, H. P. **Lesões por Esforços Repetitivos (LER): uma doença emblemática**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 13, Supl. 2, p. 85-93, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1997000600008>. Acesso em: 17 jun. 2024.

SCHNEIDER, P. H. **Análise preditiva de Churn com ênfase em técnicas de Machine Learning: uma revisão**. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) - Escola de Matemática Aplicada, Fundação Getúlio Vargas - FGV, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10438/17269>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SILVA, R. **Inteligência Artificial**. Enciclopédia da Conscienciologia. Amigos da Enciclopédia, 2013. Disponível em: <http://repositorios.org/jspui/handle/123456789/3737>. Acesso em: 28 set. 2023.

SPÖRL, C.; CASTRO, E.; LUCHIARI, A. **Aplicação de redes neurais artificiais na construção de modelos de fragilidade ambiental**. Revista do Departamento de Geografia, [S. l.], v. 21, p. 113-135, 2011. DOI: 10.7154/RDG.2011.0021.0006. Disponível em:

<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47233>. Acesso em: 28 out. 2023.

VAN SLOOTEN, M. **Identifying fatigue using keystroke dynamics**. 2021. Tese (Mestrado em Engenharia Industrial e Ciências da Inovação) – Universidade de Tecnologia de Eindhoven,

Eindhoven, 2021. Disponível em:

https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/174846273/Master_Thesis_Report_Mirna_van_Slooten.pdf.

Acesso em: 13 jun. 2024.

VIRK, J. S. et al. **A Multimodal Feature Fusion Framework for Sleep-Deprived Fatigue Detection to Prevent Accidents**. *Sensors*, [S.l.], v. 23, n. 8, p. 4129, 20 abr. 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/s23084129>. Acesso em: 17 jun. 2024.