

CONECTADOS E SOBRECARREGADOS: COMO A INDÚSTRIA 4.0 IMPACTA NA SAÚDE MENTAL OCUPACIONAL?

Kevin Wilgner Costa Santos¹

Ruan Eduardo Carneiro Lucas^{2*}

Ivanildo Fernandes Araújo³

Jader Moraes Borges⁴

Resumo

A Indústria 4.0 trouxe tecnologias para os processos de fabricação, criando as Fábricas Inteligentes. Com essa automatização, algumas atividades tiveram redução das exigências físicas, enquanto a carga mental dos operadores aumentou. Nesse contexto, este artigo investiga a relação entre a quarta revolução industrial e a saúde mental ocupacional. O objetivo foi apresentar um Diagrama de Enlace Causal (DEC), estruturado com base em uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que evidencie as principais conexões entre a Indústria 4.0 e a saúde mental. A metodologia foi dividida em quatro etapas: (1) pesquisa exploratória; (2) RSL seguindo o protocolo PRISMA; (3) análise descritiva e de conteúdo; e (4) desenvolvimento do DEC. Os resultados indicaram que: (i) a adaptação às novas demandas laborais tornou-se fonte de estresse; (ii) o uso de robôs colaborativos aumentou a produtividade, mas criou novas demandas cognitivas e fontes de estresse; e (iii) o estresse está diretamente relacionado à tensão no desempenho das tarefas, ansiedade e exaustão mental. Conclui-se que os novos papéis e demandas decorrentes da quarta revolução industrial podem exceder a capacidade laboral dos trabalhadores, resultando em uma relação direta entre tensão mental e queda no desempenho.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Estresse Mental; Tensão Mental; Estresse Ocupacional; Análise de riscos.

CONNECTED AND OVERLOADED: THE IMPACT OF INDUSTRY 4.0 ON OCCUPATIONAL MENTAL HEALTH

Abstract

Industry 4.0 has reduced the physical effort of workers but intensified mental demands. In this context, this article investigates the relationship between the fourth industrial revolution and occupational mental health. The objective was to present a Causal Loop Diagram (CLD), structured based on a Systematic Literature Review (SLR), that highlights the main connections between Industry 4.0 and mental health. The methodology was divided into four stages: (1) exploratory research; (2) SLR following the PRISMA protocol; (3) descriptive and content analysis; and (4) development of the CLD. The results indicated that: (i) adaptation to new labor demands became a source of stress; (ii) the use of collaborative robots increased productivity but created new cognitive demands and stress sources; and (iii) stress is directly related to task

¹ Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica/UFCG. <https://orcid.org/0009-0001-9448-5699>.

² Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica/UFCG. <https://orcid.org/0000-0003-4749-4610>. *
ruan.eduardo@professor.ufcg.edu.br.

³ Unidade Acadêmica de Engenharia de Produção/UFCG. <https://orcid.org/0000-0002-9491-8415>.

⁴ Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica/UFCG. <https://orcid.org/0009-0008-0131-9845>.



performance tension, anxiety, and mental exhaustion. It is concluded that the new roles and demands arising from the fourth industrial revolution may exceed the labor capacity of workers, negatively affecting their mental health.

Keywords: Industry 4.0; Mental Stress; Mental Strain; Occupational Stress; Risk Assessment.

1. INTRODUÇÃO

Até a terceira revolução industrial, os trabalhadores precisavam aprimorar as habilidades manuais e se especificar em cada ação operacional necessária para sua estação de trabalho, o que resultava em tarefas com menor complexidade (Blandino, 2023). Com a introdução das novas tecnologias nos sistemas produtivos a partir da Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0), a complexidade das tarefas de produção se transformou, exigindo novas habilidades laborais.

A automação inteligente e o processo de digitalização promovidos pela Indústria 4.0 reduziram o desgaste físico dos profissionais. No entanto, o acúmulo de funções, as exigências por novas habilidades para execução das novas tarefas, e o constante monitoramento dos novos sistemas podem causar estresse em trabalhadores, em razão das interfaces mais complexas e da avaliação contínua, em tempo real e de forma integral (Blandino, 2023; Hijry et al., 2024).

Além disso, essa crescente automação dos processos de fabricação gerou maiores exigências de carga mental para os trabalhadores, pois demandou novas exigências laborais, como vigilância prolongada, que exigem altos níveis de atenção, resultando em picos de estresse e esgotamento mental (Wixted; O'riordan; O'sullivan, 2018).

Dessa forma, a inserção tecnológica nos processos pode fazer com que as demandas laborais excedam a capacidade do trabalhador de executá-las ou processá-las, ampliando as exigências cognitivas (Slazyk-sobol et al., 2021). Isso ocorre porque, apesar dos fatores humanos serem considerados junto aos aspectos tecnológicos no design dos ambientes de trabalho, as tarefas têm sido cada vez mais exigentes cognitivamente (Faccio et al., 2023; Rescio et al., 2023).

A literatura científica sobre o tema, reúne pesquisas que exploram a relação entre: (i) as novas condições laborais e a tensão mental; (ii) o trabalho digital e os níveis de estresse; (iii) características do conteúdo do trabalho e os níveis de estresse, e; (iv) o conteúdo do trabalho, tensão e a performance (Kim; Kang; Park, 2021; Mariscal et al., 2023; Hijr et al., 2024; Klump et al., 2024). Entretanto, existe uma lacuna científica quanto a estudos que relacionem, de maneira holística, as características da Indústria 4.0 com a saúde mental dos profissionais.



Logo, a introdução de soluções metodológicas, como diagramas e frameworks, configura-se como uma alternativa importante.

Diante desse cenário, este artigo propõe como problemática a investigação da relação entre a Quarta Revolução Industrial e a saúde mental ocupacional. Para isso, o objetivo geral é apresentar um Diagrama de Enlace Causal (DEC), estruturado a partir de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que evidencie as principais relações entre Indústria 4.0 e a saúde mental.

O DEC representa a abordagem qualitativa da Dinâmica de Sistemas (DS), permitindo uma visualização holística das relações entre variáveis (Lucas et al., 2024). Até o momento, não foram encontrados estudos na literatura científica que utilizem essa abordagem metodológica para explorar a relação entre a Quarta Revolução Industrial e a saúde mental. Além disso, esta pesquisa contribui para o campo ao alinhar-se com o paradigma da Indústria 5.0, que coloca a dimensão humana no central no design de sistemas (Ma et al., 2025). Consequentemente, há uma crescente demanda por estudos que abordem aspectos mentais, como estresse e tensão ocupacional, com o objetivo de prevenir doenças laborais nos novos contextos de trabalho (Tran et al., 2023).

Estruturalmente, este artigo organiza-se em outras cinco seções, além desta introdução. A segunda apresenta a fundamentação teórica desta pesquisa; a terceira seção apresenta os procedimentos metodológicos utilizados; a quarta apresenta os resultados; a quinta, a discussão e, por fim, a sexta seção apresenta as conclusões.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Indústria 4.0 e a Automatização

A quarta revolução industrial é definida, principalmente, sobre a interconexão proporcionada pela Internet das Coisas (*IoT – Internet of Things*) e os avanços no uso das informações de forma inteligente, com tecnologias cada vez mais integradas nas “Manufaturas Inteligentes” (*Smart Manufacturing*) e à automação via emprego de Inteligência Artificial (IA) na automação industrial (Adriaensen; Decré; Pintelon, 2019).

Além das tecnologias mencionadas, observa-se uma tendência crescente na implementação do uso de realidade virtual aumentada e tecnologias de *big data* (Blandino, 2023). Apesar da automação ter sido implementada em larga escala, a presença de trabalhadores humanos ainda se faz indispensável nas indústrias de manufatura (Tran et al., 2023).



Assim, a Indústria 4.0 não envolve apenas a adoção de novas tecnologias e o aumento da automação das fábricas, mas também a transformação de trabalhos tradicionais em redes que interconectam pessoas, tecnologias, informação e unidades de negócios (Adriaensen; Decré; Pintelon, 2019).

O advento da quarta revolução transformou profundamente o paradigma do setor industrial. Atualmente, um componente fundamental das fábricas inteligentes é a integração da tecnologia de ponta, como análise de *big data* e análise preditiva, que oferecem oportunidades de melhoria da produção e a eficiência da operação (Arif et al., 2024). São utilizados sensores, dispositivos e máquinas interconectadas para gerar volumes crescentes de *big data* cada vez maiores, possibilitando a identificação padrões, a otimização de processos e melhoria da qualidade dos produtos fornecidos (Hijry et al., 2024).

Como a quantidade de informações geradas em tempo real, surgem algoritmos e sistemas de Inteligências Artificiais que analisam esses dados e auxiliam na tomada de decisão também vem sendo implementadas e se tornando cada vez mais necessárias nas Fábricas inteligentes. Isso acarreta uma crescente pressão competitiva para implementação de soluções que promovam diferencial competitivo (Adriaensen; Decré; Pintelon, 2019).

Neste novo cenário, surgem as preocupações com a saúde e a segurança dos trabalhadores, que passam a enfrentar novas demandas laborais, seja pela substituição por robôs automatizados, seja pela mudança de papéis, deixando de operar linhas de produção para assumir funções de supervisão dos processos de fabricação. Isso exige dos profissionais a capacidade de interpretar grandes volumes de informações geradas pelas máquinas, aumentando, assim, os níveis de fadiga e estresse mental em processos que tradicionalmente, não exigiriam demandas tão exaustivas (Blandino, 2023).

Salienta-se, por último, uma transição para a Indústria 5.0, que surge como uma evolução do paradigma da Indústria 4.0, destacando-se por promover a colaboração entre humanos e máquinas inteligentes, com foco na personalização, sustentabilidade e bem-estar social. Ela valoriza o papel central do ser humano nos processos produtivos, buscando equilibrar avanços tecnológicos com a responsabilidade social e ambiental (Ma et al., 2025).

2.2. Saúde mental: estresse e tensão

O estresse é, em termos médicos, a resposta do corpo humano a pressões físicas, mentais ou emocionais, produzindo alterações químicas que podem acelerar a frequência cardíaca, elevar os níveis de açúcar no sangue ou aumentar a pressão arterial, destacando assim sinais



fisiológicos gerados pelo estresse. Pode provocar sentimentos de frustração, ansiedade, raiva ou depressão (Mariscal et al., 2024).

Também pode ser compreendido como a relação entre uma pessoa e seu ambiente, de modo que o indivíduo perceba uma injustiça, ameaça ou desafio que possa comprometer seu bem-estar (Slazyk-sobol et al., 2021). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o estresse ocorre quando as demandas do trabalho superam as habilidades dos trabalhadores, e essa exposição repetida pode resultar estresse agudo ou crônico, prejudicando tanto a saúde mental quanto física (Tran et al., 2023).

O contexto da indústria 4.0, ao submeter os profissionais a novas exigências gera incertezas, aumenta a incidência do estresse e outros fatores mentais. O trabalho de vigilância constante, por exemplo, que é uma das novas demandas laborais, configura-se como uma fonte de carga de trabalho mental, que esgota rapidamente os recursos cognitivos do trabalhador, gerando elevados níveis de estresse e tensão (Wixted; O'riordan; O'sullivan, 2018). Além disso, também ganhou notoriedade a Síndrome de Burnout, que se trata de um fenômeno psicossocial que está diretamente relacionada ao contexto laboral, provocando uma vivência subjetiva de natureza negativa, despertando pensamentos, sentimentos e atitudes desfavoráveis em relação ao trabalho e às pessoas com quem o trabalhador precisa interagir (Marques; Carlotto, 2024; Gil-Monte, 2010).

As consequências desse quadro são nocivas, resultando na redução da satisfação no trabalho, no aumento de absenteísmo e na diminuição na produtividade dos trabalhadores (Hijry et al., 2024). Altos níveis de estresse e tensão podem levar ao desvio de atenção, causando erros de produção, acidentes de trabalho ou perda de eficiência (Blandino, 2023).

Essa correlação negativa entre a saúde mental e desempenho dos trabalhadores é especialmente relevante, pois, à medida que o estresse ou a tensão aumentam, a qualidade do desempenho tende a cair e o tempo de conclusão das tarefas aumenta, gerando impactos negativos na eficiência do sistema (Blandino, 2023).

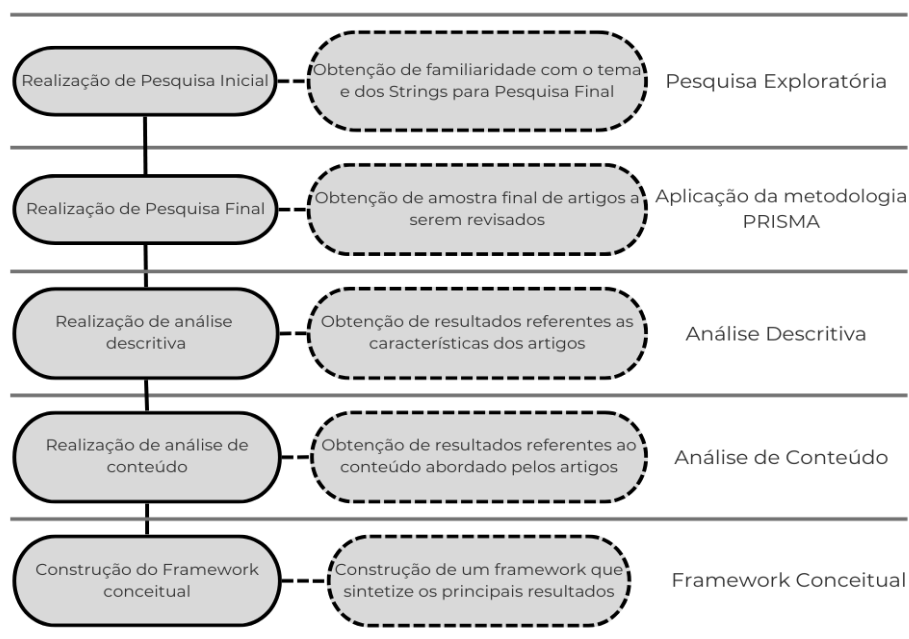
Diante disso, torna-se essencial investigar os níveis de estresse, tensão e outros fatores relacionados a saúde mental no ambiente de trabalho, a fim de promover melhorias à saúde dos trabalhadores, seja por meio da eliminação das fontes de estresse, seja pela oferta de suporte assistivo adequado para mitigação dos níveis existentes (Mariscal et al., 2024).

3. METODOLOGIA



A estrutura metodológica adotada foi baseada em outras pesquisas anteriores (Bispo & Amaral, 2024; Tan et al., 2023; Blandino, 2023) e subdividiu-se em cinco etapas, conforme mostra a Figura 1. Inicialmente realizou-se uma pesquisa exploratória sobre o tema. Em seguida, desenvolveu-se a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) utilizando a metodologia PRISMA. Posteriormente, estruturaram-se a Análise Descritiva e a Análise de Conteúdo. Por fim, elaborou-se o *framework* conceitual para evidenciar as principais relações encontradas entre Indústria 4.0 e saúde mental.

Figura 1: Etapas metodológicas para desenvolvimento da Pesquisa



Fonte: Autoria própria (2025)

3.1. Pesquisa Exploratória

A pesquisa exploratória foi realizada com o objetivo de proporcionar maior familiaridade com a problemática investigada e, principalmente, auxiliar na definição das *strings* que seriam utilizadas na RSL. Essa etapa é relevante pois possibilita aos pesquisadores definir os termos de busca de maneira eficaz, impactando positivamente no desenvolvimento da revisão (Bispo & Amaral, 2024).

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa exploratória nas bases *Web of Science* e *Scopus*, relacionando os dois grupos que estão expressos na Tabela 1. Essas bases foram escolhidas por serem utilizadas em outras pesquisas (Bispo & Amaral, 2024). O Grupo 1 abrangia os termos referentes a Indústria 4.0, enquanto o Grupo 2 inclui os termos referentes a Saúde Mental. Os



grupos foram associados pelo operador OR, com o objetivo de identificar o maior número possível de artigos relacionados a cada grupo e, a partir disso, determinar o conjunto ideal de palavras-chave.

Tabela 1: *Strings* para Pesquisa Inicial

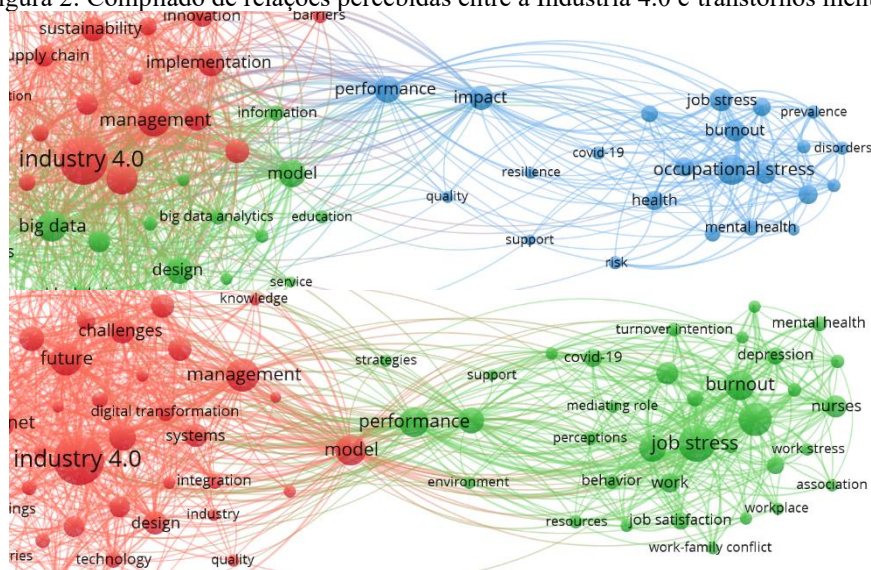
Grupo 1: Indústria 4.0	Grupo 2: saúde Mental
("Industry 4.0" OR "The fourth industrial revolutions" OR "the 4th industrial revolution" OR "Smart Factory" OR "Smart Manufacturing" OR "Factory 4.0" OR "Smart Production" OR "Manufacturing 4.0" OR "Smart Industry" OR "Logistics 4.0" OR "Quality 4.0")	("Occupational Mental Disorders" OR "Workplace Psychological Disorders" OR "Mental Health Disorders in the workplace" OR "Occupational mental Health" OR "Workplace Mental Health" OR "Mental Health in workplace" OR "Occupational Anxiety" OR "Work-related Anxiety" OR "Job Anxiety" OR "Workplace Anxiety Disorder" OR "Occupational Depression" OR "Workplace Depression" OR "Occupational stress" OR "Job stress" OR "Workplace Stress")

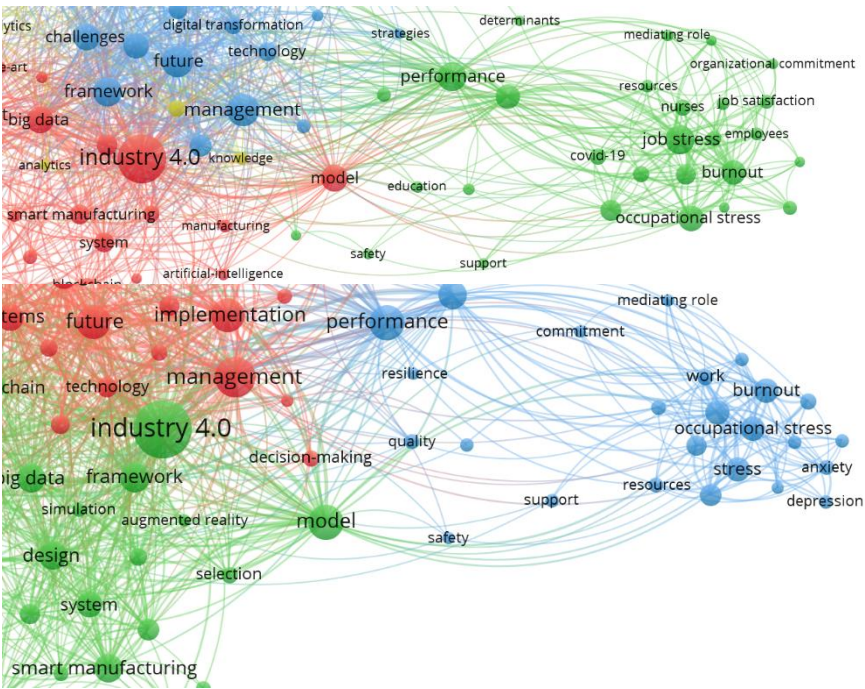
Fonte: Autoria própria (2025)

Com o uso desses termos de busca, foram identificados 7628 documentos na *Web of Science* e 9492 na *Scopus*. Não houve delimitação por período temporal, por tipo de documento ou idioma. A ausência de critérios de inclusão ou exclusão nessa etapa foi proposital, visando oferecer aos pesquisadores o maior número possível de documentos.

De posse dessa amostra, realizou-se uma análise de redes para verificar associação das palavras-chave dos artigos. Essa análise foi realizada com o auxílio do Software VosViewer e está representado na Figura 2. O procedimento permitiu identificar dois aspectos: (i) a formação de *clusters* referentes a Indústria 4.0 e saúde mental, que se conectavam, e; (ii) a identificação de novas palavras-chave que não foram contempladas e estabelecidas na primeira pesquisa realizada.

Figura 2: Compilado de relações percebidas entre a Indústria 4.0 e transtornos mentais





Fonte: Autoria própria (2025)

Com a identificação dessas novas palavras-chave por meio da análise de redes, definiu-se a melhor combinação de termos para realização da RSL. A Tabela 2 apresenta os dois grupos, com destaque na cor vermelha para evidenciar os novos termos que foram incorporados. Esses dois grupos foram conectados pelo operador AND, uma vez que o objetivo passou a ser identificar os artigos que relacionassem os dois conjuntos temáticos.

Tabela 2: Definição dos *strings* para Pesquisa Final

Grupo 1: Indústria 4.0	Grupo 2: Saúde Mental
<i>("Industry 4.0" OR "The fourth industrial revolutions" OR "the 4th industrial revolution" OR "Smart Factory" OR "Smart Manufacturing" OR "Factory 4.0" OR "Smart Production" OR "Manufacturing 4.0" OR "Smart Industry" OR "Logistics 4.0" OR "Quality 4.0" OR "4.0 industry" OR "Industrial revolution 4.0" OR "4.0 revolution" OR "Operator 4.0" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Healthcare 4.0" OR "Automated Manufacturing")</i>	<i>("Occupational Mental Disorders" OR "Workplace Psychological Disorders" OR "Mental Health Disorders in the workplace" OR "Occupational mental Health" OR "Workplace Mental Health" OR "Mental Health in workplace" OR "Occupational Anxiety" OR "Work-related Anxiety" OR "Job Anxiety" OR "Workplace Anxiety Disorder" OR "Occupational Depression" OR "Workplace Depression" OR "Occupational stress" OR "Job stress" OR "Workplace Stress" OR "Worker Stress" OR "Workplace mental health and stress" OR "Workplace mental Stress" OR "Workers stress" OR "Indicative of workers stress" OR "Worker stress levels" OR "Stress management" OR "Stress measurement" OR "Occupational Safety" OR "Workplace safety" OR "Time stress" OR "Working stress" OR "Mental stress" OR "Quantify stress" OR "Psychological stress" OR "Stress Feeling" OR "Experienced stress" OR "Stress factors" OR "Sense of stress" OR "Stress levels" OR "Work-Related Stress")</i>

Fonte: Autoria própria (2025)



Após a definição dos termos de busca na pesquisa exploratória, realizou-se a RSL.

3.2. Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

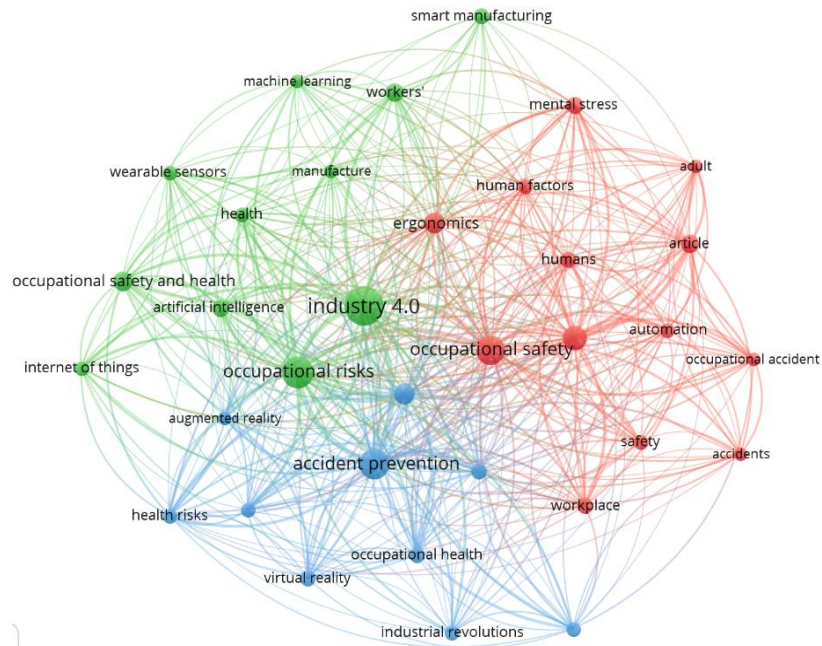
A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi desenvolvida a partir do protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA), que é utilizado por fornecer uma diretriz apropriada para incluir artigos relevantes à discussão do tema, por meio de quatro etapas de seleção: Identificação, Triagem, Elegibilidade e Inclusão (Tan et al., 2023; Blandino, 2023).

Antes de iniciar sua estruturação, foram estabelecidas as perguntas norteadoras da RSL, conforme especificado no estudo desenvolvido por Bispo & Amaral (2014). Foram formuladas três perguntas: (1) Quais os principais aspectos da saúde mental podem ser influenciados pela indústria 4.0? (2) Quais métodos estão sendo utilizados para avaliar a influência da indústria 4.0 na saúde mental? (3) Como acontece a interação relacional entre indústria 4.0, saúde mental e performance?

Os termos de busca definidos na pesquisa exploratória foram utilizados na Web of Science e Scopus, escolhidas por serem amplamente utilizadas em estudos similares (Bispo & Amaral, 2024). A pesquisa realizada, que não incluiu nenhum critério de exclusão ou delimitação temporal, resultou em 106 documentos na Web of Science e 203 na Scopus, totalizando 309 documentos. Para verificar se essas amostras contemplavam efetivamente os dois grupos pesquisados, foram geradas redes de palavras-chave no Software VOSviewer, conforme ilustram as Figuras 3 e 4.

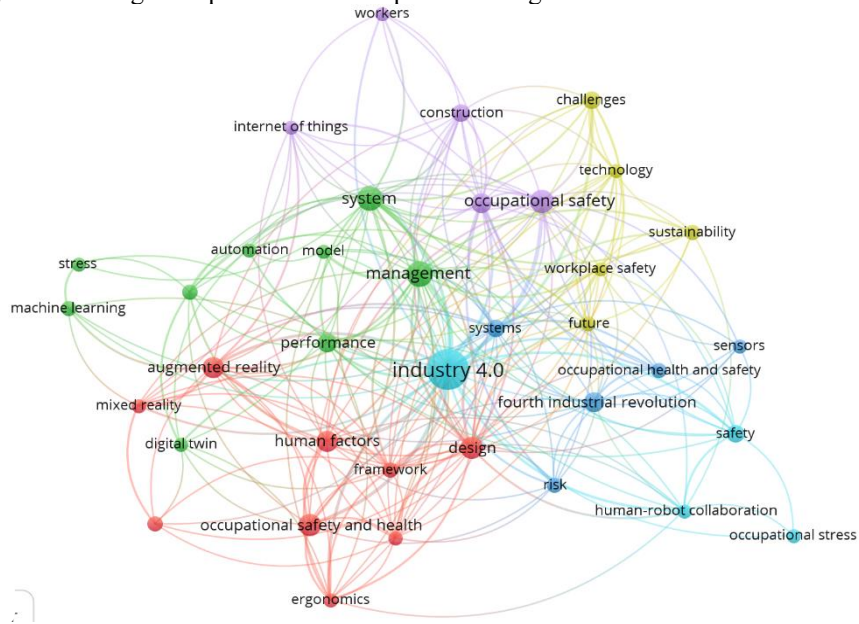


Figura 3: Rede gerada pelo VOSviewer para 203 artigos encontrados na Scopus



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 4: Rede gerada pelo VOSviewer para 106 artigos encontrados na Web of Science



Fonte: Autoria própria (2025)

Para melhor gerenciamento da amostra, os 309 artigos foram importados no Software do Mendeley Reference Manager. Em seguida, realizou-se a remoção de duplicatas, com o objetivo de excluir da amostra documentos repetidos. Após essa exclusão, a amostra foi reduzida para 176 artigos.

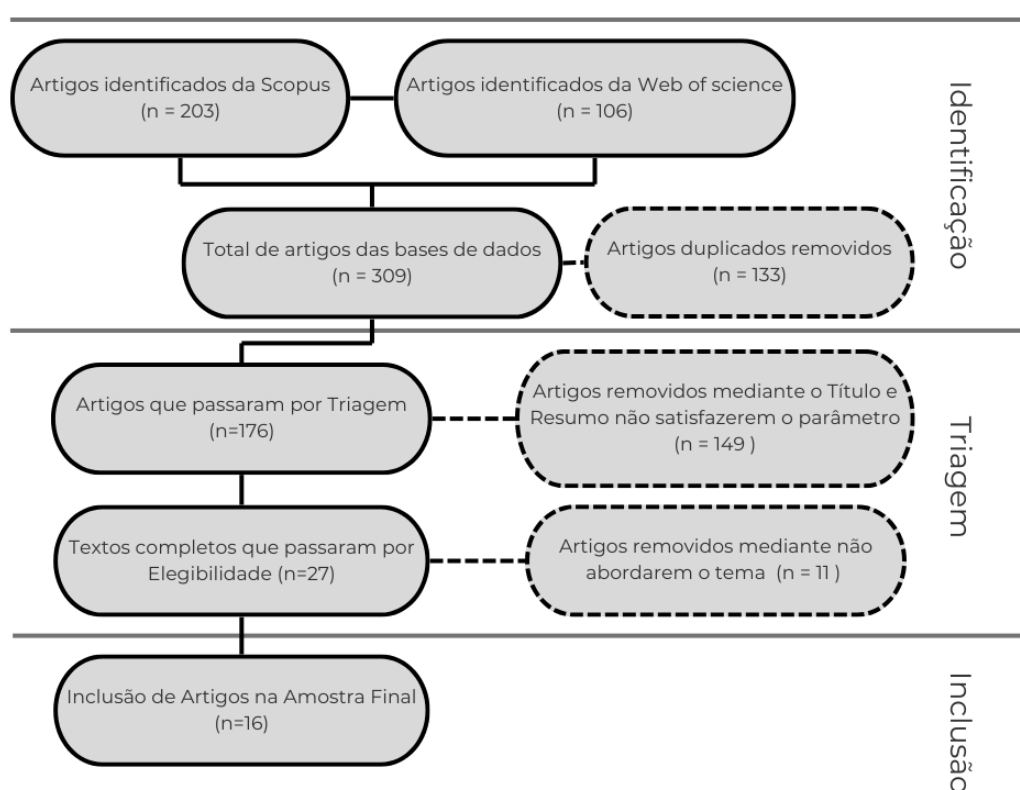
Posteriormente, realizou-se uma triagem por meio da análise dos títulos e resumos de cada artigo. Adotou-se o seguinte critério de inclusão: o artigo precisava abordar, de forma objetiva a relação entre Indústria 4.0 e saúde mental. Assim, artigos que tratavam apenas de um



dos temas ou que não os integrava foram classificados como “fora do escopo da pesquisa”. Com essa triagem, 149 trabalhos foram excluídos, restando uma amostra de 27 artigos.

A última etapa de triagem consistiu na leitura integral. Nessa fase, foram aplicados dois critérios: (i) o artigo precisava estar publicado em um periódico, e; (ii) o artigo precisava abordar, de maneira objetiva, a relação entre Indústria 4.0 e saúde mental. Após essa triagem, foram excluídos 11 artigos resultando em uma amostra final composta por 16 documentos. A Figura 5 apresenta como o protocolo Prisma foi implementado.

Figura 5: Fluxograma de aplicação do protocolo PRISMA



Fonte: Autoria própria (2025)

Após seleção da amostra final realizou-se a análise descritiva e análise de conteúdo dos artigos.

3.3. Análise descritiva e de conteúdo

Para a realização da análise descritiva, utilizou-se o procedimento de preenchimento apresentado na Tabela 3, por meio do qual foram extraídas informações para caracterização dos artigos, como título, autores, local de publicação, ano, autor e revista. O objetivo dessa análise



foi disponibilizar uma visão geral da amostra, evidenciando aspectos como distribuição das publicações por ano, país, continente e os periódicos onde os artigos estavam indexados.

Tabela 3: Estrutura para realização de Análise Descritiva

Título	Autores	Ano	Revista	Tipo de revista	País

Fonte: Autoria própria (2025)

Para finalizar a análise descritiva foram estruturadas duas redes no software VOSviewer. A primeira teve como objetivo analisar a relação entre as palavras-chave que eram citadas ao menos uma vez. A segunda teve como objetivo realizar a mesma análise, porém as palavras-chave deveriam ser citadas no mínimo duas vezes. As duas análises são complementares e necessárias para conferir maior consistência à identificação das relações existentes.

A Análise de Conteúdo foi realizada após a análise descritiva, por meio da criação e preenchimento da Tabela 5, com o intuito de evidenciar informações centrais dos artigos: (i) objetivos do estudo; (ii) procedimentos metodológicos (perfil dos sujeitos da pesquisa, local de realização, método de análise, metodologias utilizadas); (iii) resultados (todos os pontos relevantes relacionados ao tema da pesquisa); (iv) principais conclusões do estudo (relacionados ao tema da pesquisa); (v) sugestões para pesquisas futuras; e (vi) avaliação da relação com o tema da pesquisa.

Tabela 4: Estrutura para realização de Análise de Conteúdo

Título	Objetivos	Procedimentos Metodológicos	Resultados	Principais Conclusões	Sugestões para pesquisas futuras	Avaliação

Fonte: Autoria própria (2025)

A partir das informações obtidas nas etapas anteriores, tornou-se possível analisar como a Indústria 4.0 se relaciona com a saúde mental. Para sintetizar os resultados obtidos, estruturou-se um *framework* conceitual, cujo objetivo era representar de maneira gráfica e holística a relação investigada nesta pesquisa. Para isso, utilizou-se como procedimento metodológico o Diagrama de Enlace Causal (DEC), que é a vertente qualitativa da Dinâmica de Sistemas e é empregada para representar as relações de causa e efeito entre as variáveis.

4. RESULTADOS



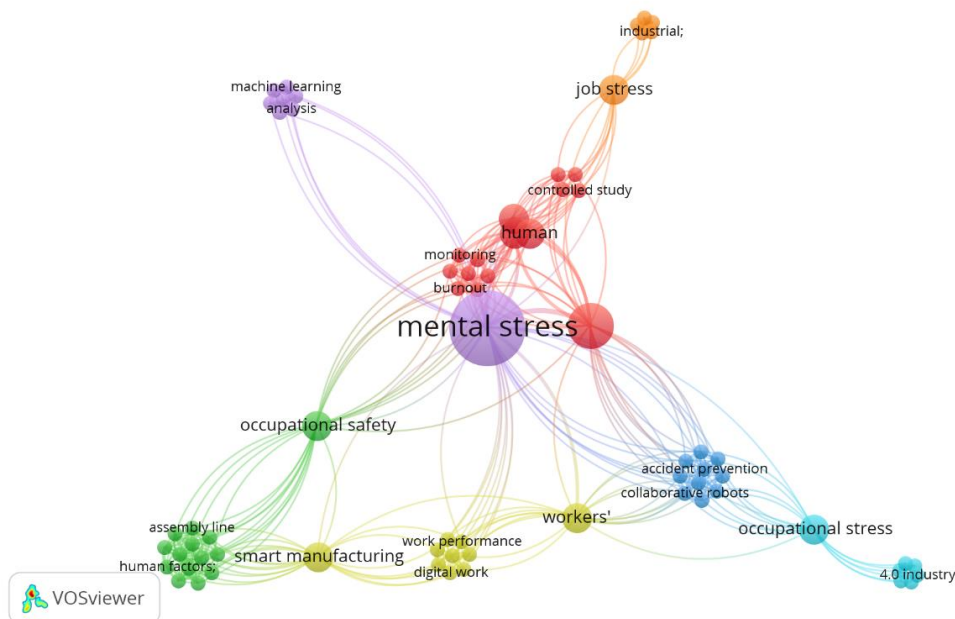
Ao analisar a amostra obtida, observou-se que o interesse científico pelo tema vem crescendo nos últimos dois anos, com 9 artigos (56%) publicados nesse período. O número de artigos publicados em 2023 (n= 5 artigos) e 2024 (n=4 artigos) foi, respectivamente, cinco e quatro vezes maior que o número publicado entre 2019 e 2022.

Geograficamente, constatou-se que a maioria dos estudos foi conduzida e publicada em países europeus, compreendendo 76% da amostra, seguidos por 18% na Ásia e 6% na América do Norte. Entre os dez países representados na amostra, nove apresentam média de idade populacional acima de 40 anos, o que é significativo porque, à medida que os indivíduos envelhecem, seus anos de experiência em tarefas operacionais aumentam, dificultando a adaptação e o uso de novas tecnologias. Isso acarreta maiores demandas e sobrecarga nos trabalhadores, resultando em fadiga mental (Rescio et al., 2023; Slazyk-Sobol et al., 2021).

4.1. Análise de redes

A Figura 6 mostra a rede de coocorrência de palavras-chave citadas pelo menos uma vez. De modo geral, o estresse mental aparece no centro da rede, com cinco agrupamentos diretamente conectados. Especificamente, no que se refere à saúde mental, observam-se termos, tais como: estresse mental, estresse ocupacional, estresse no trabalho, desempenho no trabalho e síndrome de burnout. Em relação à Indústria 4.0, destacam-se os seguintes termos: manufatura inteligente, aprendizado de máquina, trabalho digital, robôs colaborativos e Indústria 4.0.

Figura 6: Rede de coocorrência (1 vez) das palavras-chave



Fonte: Autoria própria (2025)

Entre as conexões-chave observadas na rede, destacam-se:



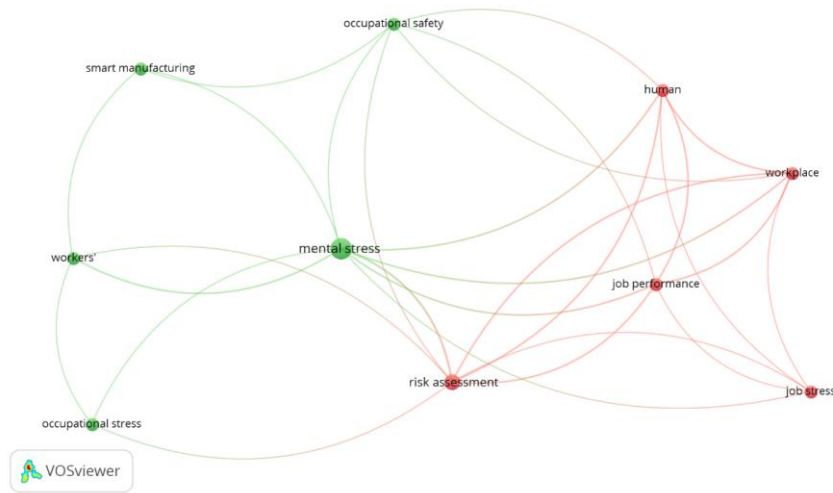
- A manufatura inteligente está diretamente relacionada ao trabalho digital, à linha de montagem e a estruturas tecnológicas mais avançadas, como a Internet das Coisas (IoT).
- Tanto a manufatura inteligente quanto o trabalho digital estão diretamente conectados ao desempenho no trabalho, que, por sua vez, está ligado ao estresse mental.
- O estresse no trabalho ou estresse ocupacional tem conexão direta com a Indústria 4.0 e o uso de robôs colaborativos.
- O uso de robôs colaborativos está diretamente relacionado aos trabalhadores, que também estão conectados ao desempenho no trabalho e ao estresse mental.
- O estresse mental está diretamente ligado à síndrome de burnout, tensão, ansiedade e depressão, todos conectados a fatores humanos, bem como a processos de monitoramento e análise.
- Aprendizado de máquina e robôs colaborativos estão diretamente conectados ao monitoramento e à avaliação de riscos.
- A avaliação de riscos está diretamente relacionada aos fatores humanos, à segurança ocupacional e aos trabalhadores, além de estar interconectada com o monitoramento e estudos controlados.

A Figura 7 ilustra a rede de coocorrência de palavras-chave citadas pelo menos duas vezes. Essa rede enfatiza aquelas com maior destaque. Entre as principais relações, destacam-se:

- A manufatura inteligente está diretamente conectada ao estresse mental.
- O local de trabalho está ligado ao desempenho no trabalho, o qual, por sua vez, está conectado ao estresse mental.
- Os trabalhadores estão diretamente conectados tanto ao estresse mental quanto ao estresse ocupacional.
- Os fatores humanos estão diretamente relacionados ao estresse mental, estresse no trabalho e desempenho no trabalho.
- A avaliação de riscos tem relação direta com a segurança ocupacional e o desempenho no trabalho, além de estar interconectada com estresse ocupacional, estresse no trabalho e estresse mental.



Figura 7: Rede de coocorrência (2 vezes) das palavras-chave



Fonte: Autoria própria (2025)

4.2. Análise de conteúdo

4.2.1 Análise por fatores individuais

O estudo desenvolvido por Klumpp et al. (2024) demonstrou que profissionais como idade média superior a 40 anos (41,65 anos) estavam sendo submetidos a uma maior carga mental em comparação com a carga física, quando diante das novas transformações nos ambientes de trabalho. Identificou-se que 76% dos trabalhos realizados pela amostra consistia em trabalho mental e 24% trabalho físico (Klumpp et al., 2024).

Conhecer a idade média amostral permite identificar se o perfil profissional analisado foi submetido a condições laborais anteriores a Indústria 4.0, período em que predominava maiores exigências físicas do que cognitivas. Esse fato é relevante, pois profissionais com maior experiência, ambientados e submetidos por longos períodos a demandas predominantemente físicas, podem apresentar maior dificuldade de adaptação às novas exigências oriundas da Quarta Revolução Industrial (Rescio et al., 2023; Faccio et al., 2023).

Nas novas configurações do ambiente de trabalho, além de exigências relacionadas à supervisão, monitoramento e vigilância, os profissionais precisam trabalhar com robôs colaborativos. Nesses casos, exige-se um processo de aprendizagem e adaptação, o que pode aumentar a duração da atividade e o número de erros cometidos, conforme identificado na pesquisa de Mariscal et al. (2024).

Esse processo de adaptação às novas exigências independe de gênero ou idade (Mariscal et al., 2024). Todos os profissionais, no contexto atual, precisam lidar com a ampliação das funções cognitivas, que, associada a necessidade por resultados, pressão temporal e processo



de adaptação podem impactar nos níveis de estresse e, consequentemente, no nível de desempenho entregue (Klumpp et al., 2024; Mariscal et al., 2024; Slazyk-sobol et al., 2021).

4.2.2 Análise relacional entre as variáveis

A pesquisa desenvolvida por Klumpp et al. (2024) revelou uma relação estatisticamente significativa entre o trabalho digital (digital work) com: (i) o tecno-estresse (*technostress*), estado de ansiedade, tensão ou sofrimento causado pelo uso de tecnologias; (ii) a pressão temporal (*time pressure*), que se refere ao curto espaço de tempo para execução das demandas, e; (iii) e a carga de trabalho (Workload – amount of work), que se refere ao conjunto de tarefas, responsabilidades e atribuições inerentes às práticas laborais.

Também foi identificada uma relação direta e estatisticamente significativa entre o trabalho digital (digital work) e a tensão mental (*mental strain*) (Klumpp et al., 2024). Este último fator requer atenção, pois essa tensão apresentou uma relação estatisticamente significativa com o tecnoestresse (*technostress*) e a incidência da síndrome de burnout (Klumpp et al., 2024).

O processo de digitalização e o trabalho digital configuram-se como uma das características oriundas da Indústria 4.0. Essas atividades, demandam a compreensão dos níveis de tecnologia a que os profissionais estão expostos, como ocorre no monitoramento sistemático e do nível de pressão por resultados, o que pode influenciar diretamente na saúde mental dos trabalhadores (Klumpp et al., 2024; Adriaensen; Decré; Pintelon, 2019; Wixted; O’riordan; O’sullivan, 2018).

O monitoramento sistemático em tempo real é um dos benefícios oriundos da Quarta Revolução Industrial, demanda atenção, pois ele pode gerar tensão e estresse mental por dois fatores principais: (i) pela pressão temporal criada para alcance dos resultados esperados e metas específicas; e, (ii) pela indução natural de concorrência entre os trabalhadores à medida que eles veem os desempenhos uns dos outros (Kim; Kang; Park, 2022).

A pesquisa desenvolvida por Klumpp et al. (2024) identificou, ainda, uma relação inversa e estatisticamente significativa entre tensão mental (*mental strain*) e performance no trabalho (*work performance*), que foi avaliada a partir de cinco variáveis: vigor, dedicação, capacidade de absorção, satisfação e positividade.

Por fim, identifica-se uma relação diretamente inversa entre tensão mental e fatores emocionais relacionados ao bem-estar, como satisfação, engajamento, positividade e dedicação no trabalho. Essa relação decorre da automação avançada e do monitoramento contínuo do desempenho dos trabalhadores, induzindo a problemas como altos níveis de absenteísmo,



diminuição da produtividade e exaustão emocional dos trabalhadores (Hijry et al., 2024; Faccio et al., 2023; Klumpp et al., 2024).

4.2.3 Análise das tecnologias utilizadas na identificação do estresse mental

Para a identificação dos sinais fisiológicos que indicam estados de estresse mental, observa-se o avanço no desenvolvimento tecnológico, de modo que as ferramentas e métodos se tornem cada vez mais precisos e menos invasivos, evitando a indução de estresse apenas por estar utilizando o equipamento (Rescio et al., 2023; Mariscal et al., 2024).

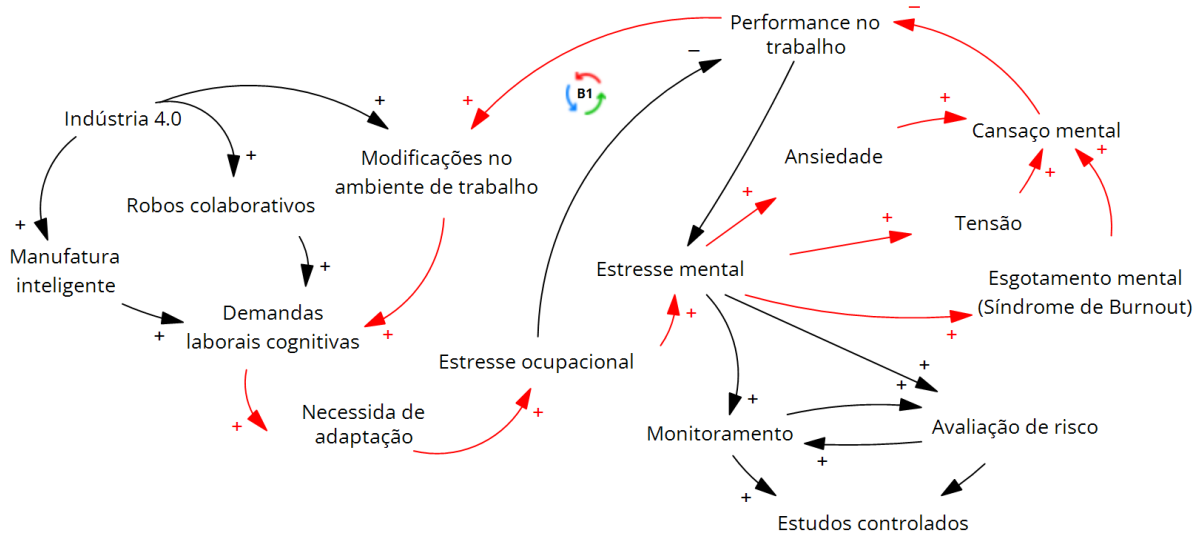
Identificou-se o desenvolvimento de um protótipo de equipamento vestível, capaz de coletar dados da Atividade Electrodermal (EDA) e a variação na frequência cardíaca (HR), ambos considerados indicadores precisos de estresse mental, e que também utilizam parâmetros ambientais para auxiliar nessa avaliação (Rescio et al., 2023; Blandino, 2023).

Observou-se também a utilização do equipamento *eye-tracker* (rastreador de olho), que é uma ferramenta tecnológica utilizada para analisar a dilatação pupilar e avaliar o estresse mental (Rescio et al., 2023; Mariscal et al., 2024).

O avanço tecnológico e o aumento da aplicabilidade da Internet das Coisas (IoT) contribuem para a melhoria na identificação de sinais indicadores de estresse mental e contribuem para o monitoramento e intervenção, nos casos mais preocupantes, sejam efetuados de maneira rápida e precisa, apresentando assim a importância da tecnologia aplicada ao dia a dia dos trabalhadores, de uma forma menos invasiva (Blandino, 2023; Hijry et al., 2024).

4.3. Digrama de Enlace Causal (DEC)

Com base nas relações encontradas na análise de redes geradas pelo software VOSviewer e nas relações estabelecidas na Análise de Conteúdo, construiu-se o *framework* que sintetiza essas relações por meio do Diagrama de Enlace Causal (DEC). Esse diagrama identifica as relações se determinado fator contribui para o aumento ou decréscimo dos fatores relacionados. A representação está disposta na Figura 8.

Figura 8: *Framework* conceitual que sintetiza as relações encontradas

Fonte: Autoria própria (2025)

Entre as relações identificadas no *framework*, citam-se:

- A Indústria 4.0, a partir de processos como a digitalização e manufatura inteligente, promoveu alterações nos ambientes laborais que transformaram as demandas laborais e aumentaram as demandas cognitivas, como: maior volume de informações, maior interação com dispositivos e necessidade de tomada de decisão mais rápida.
- A utilização dos robôs colaborativos aumentou a produtividade nos ambientes laborais e reduziu, principalmente, as demandas físicas. Entretanto, isso acarretou novas demandas cognitivas oriundas da interação homem-máquina;
- As novas exigências decorrentes da Indústria 4.0, evidenciam maiores cargas cognitivas (ex.: interação com maior volume de informações, maior interação com dispositivos e necessidade de tomada de decisão mais rápida) e necessidade de adaptação, ampliaram os níveis de estresse ocupacional e, consequentemente, estresse mental dos trabalhadores.
- As novas demandas cognitivas demandaram um processo de adaptação, pois, anteriormente, estavam inseridos em um contexto laboral que predominava exigências físicas. Consequentemente, quanto maior a necessidade de adaptação, mais dificultoso é o processo de aprendizagem e, consequentemente, maiores são os níveis de estresse dos trabalhadores.
- A incidência de estresse apresentou uma relação direta com quadros de tensão, ansiedade e esgotamento mental associados à síndrome de burnout.

A estrutura gráfica criada possibilitou identificar um ciclo fechado de causa e efeito (loop B1), denominado de “Influência das demandas cognitivas”. Percebeu-se que as



modificações decorrentes da Indústria 4.0 ampliaram as demandas cognitivas dos trabalhadores. Com essa ampliação, resultante das novas necessidades laborais e da constante necessidade de adaptação a um novo contexto, os profissionais ficaram mais suscetíveis ao estresse ocupacional.

O aumento do nível de estresse, intensificou a tensão mental na realização das tarefas, a ansiedade e esgotamento mental tornaram-se mais recorrentes. A existência desses aspectos, consequentemente, ampliou as exigências mentais e, principalmente, o cansaço mental ao longo da jornada laboral.

Esse novo contexto pode influenciar negativamente o desempenho dos profissionais, como, por exemplo, no aumento do tempo de execução da tarefa e no número de erros cometidos. Essa queda de desempenho, associada a inserção cada vez mais rápida dos robôs e estruturas tecnológicas, amplia as preocupações com a estabilidade no cargo, ampliando também os níveis de tensão e ansiedade dos trabalhadores.

5. DISCUSSÃO

O trabalho digital exerce influência significativa sobre a ampliação da tensão mental (Klumpp et al., 2024). Uma das características desse tipo de atividade, conectada com os altos níveis de tensão mental, é a carga de trabalho, devido ao aumento das funções cognitivas e da quantidade de tarefas desempenhadas simultaneamente (Klumpp et al., 2024; Faccio et al., 2023).

Existe também impacto no número de erros humanos, decorrente da sobrecarga de trabalho, sobretudo quando a carga de trabalho excede a capacidade operacional do profissional (Wixted; O’riordan; O’sullivan, 2018). Isso ocorre, quando um trabalhador tem que lidar com mais funções em um tempo reduzido ou quando precisa lidar com uma grande quantidade de informações, características essas proporcionadas pelo avanço dos trabalhos digitais (Mital; Pennathur, 2004; Wixted; O’riordan; O’sullivan, 2018; Klumpp et al., 2024).

Outras fontes de erro, decorrentes da interação e do estresse induzido pela relação com robôs colaborativos. O estudo desenvolvido por Mariscal et al. (2024), identificou o aumento de erros na interação humano-robô foi 38% maior. Os processos de espera nessa relação, seja do robô em relação ao colaborador ou o contrário, aumenta o tempo de realização da atividade, repercute na pressão temporal, diminui a produtividade e amplia os fatores de estresse induzido (Mariscal et al., 2024).



As novas formas de interação entre trabalhadores e máquinas, aliadas a problemas tecnológicos e à necessidade de adaptação, têm gerado novas fontes de estresse. Entre os principais fatores destacam-se:

1. A intensificação do trabalho promovida pelas tecnologias de informação e comunicação;
2. A sobrecarga de dados fornecidos por máquinas inteligentes, resultando em volumes crescentes de *big data*;
3. O aumento das exigências de qualificação para gerenciar grandes quantidades de informação;
4. As mudanças na organização do trabalho, com escopos de atuação cada vez mais amplos.

Esses elementos, quando combinados, tendem a elevar os níveis de estresse ocupacional, favorecendo o surgimento de transtornos mentais relacionados ao trabalho e reduzem a satisfação profissional. Como consequência, há prejuízos para as fábricas, como o aumento do absenteísmo e a queda na produtividade dos trabalhadores (Angerer et al., 2018; Wixted, O’Riordan & O’Sullivan, 2018; Blandino, 2023).

Além disso, as novas modalidades de trabalho, com a integração das tecnologias digitais para monitoramento sistemático e em tempo real, constituem uma das principais fontes de estresse para os trabalhadores (Kim; Kang; Park, 2022). Os indicadores-chave de desempenho (KPIs) são fornecidos em tempo real por meio das novas máquinas e tecnologias interligadas, criando involuntariamente uma pressão temporal, induzindo a tensão e o estresse decorrentes das preocupações dos trabalhadores com a performance e desempenho.

Também torna-se importante destacar os impactos que o esgotamento mental (Síndrome de Burnout) pode acarretar nos profissionais, tais como: prejuízos emocionais, cognitivos e físicos, afetando a saúde mental e o desempenho profissional. Paralelamente, também podem resultar em exaustão, desmotivação, baixa produtividade e dificuldades nas relações interpessoais no ambiente de trabalho (Marques; Carlotto, 2024; Gil-Monte, 2010).

Esse cenário ficou evidenciado com o DEC, que mostrou que a ampliação das demandas cognitivas dos trabalhadores, resultante das novas necessidades laborais e da constante necessidade de adaptação ao contexto da Indústria 4.0, tornaram os profissionais mais suscetíveis ao estresse ocupacional, esgotamento mental e riscos psíquicos. Tal cenário reforça um impacto direto na saúde e, paralelamente, na performance profissional. Em função disso,



demanda-se a utilização de estratégias mitigadoras, como, por exemplo, treinamentos focados em adaptação e redesenho de interfaces homem-máquina.

6. CONCLUSÕES

As novas tecnologias implementadas na Indústria 4.0 podem trazer benefícios sobre a diminuição de carga física dos trabalhadores nos processos de fabricação, no entanto apresenta o surgimento de novas fontes de carga mental devido ao aumento de funções exercidas por cada operador, o processo de adaptação às novas exigências e a interação contínua com dispositivos tecnológicos, como os robôs colaborativos.

O acúmulo de funções e tarefas exige cada vez mais da capacidade cognitiva e mental dos trabalhadores, podendo exceder a capacidade laboral dos operadores e induzir o surgimento ou ampliação do estresse mental ocupacional.

Na avaliação do estresse mental, são utilizados estudos empíricos baseados em questionários e entrevistas os quais apresentam confiabilidade relativamente baixa. Como alternativa, vem se difundindo na comunidade acadêmica o desenvolvimento de equipamentos para medição e monitoramento de sinais fisiológicos, como a frequência cardíaca, pressão arterial, atividade eletrodérmica e rastreamento de dilatação pupilar, como parâmetros mais confiáveis, apesar de serem aplicados, majoritariamente, em ambientes controlados.

Portanto, os fatores da Indústria 4.0, como automatização das fábricas, manufatura inteligente, implementação de máquinas interconectadas e monitoradas constantemente, se relacionam diretamente com o estresse mental e o estresse ocupacional devido ao aumento da demanda de funções cognitivas, da carga de trabalho mental, da exigência por alta produtividade e da avaliação constante dos trabalhadores.

Sendo assim, como o modelo de produção da Indústria 4.0 exige uma maior performance e uma maior produtividade, que são influenciadas negativamente pela implementação das novas máquinas e novos sistemas de produção, a carga mental exigida afeta fatores emocionais pessoais devido ao esgotamento mental decorrente da nova demanda de trabalho, afetando o sentimento de satisfação, dedicação e positividade em relação ao trabalho, levando ao desenvolvimento de patologias como a síndrome de burnout, ansiedade e depressão.

Conclui-se, portanto, que a Indústria 4.0 ampliou às exigências cognitivas, demandando dos profissionais uma adaptabilidade ao novo contexto laboral. Com isso, os profissionais tornaram-se mais suscetíveis ao estresse ocupacional, esgotamento mental e riscos psíquicos.



Evidenciando-se, assim, um impacto direto na saúde e, paralelamente, na performance profissional.

Levando em consideração as limitações da pesquisa, como o fato de ser um assunto mais recentemente introduzido na comunidade acadêmica, além de haver poucos estudos relacionados ao tema e vários dos resultados serem expressos por meio de validações empíricas e em ambientes e estudos controlados, estudos futuros são, portanto, recomendados.

Para futuras pesquisas, sugere-se a avaliação das diversas fontes de estresse em sistemas de manufatura aplicada a uma situação real, em uma fábrica inteligente do Brasil, com o objetivo de identificar outros fatores de indução ao estresse no trabalho além dos já discutidos, Dessa forma os processos de previsão e tratamento adequado ao estresse sejam melhor desenvolvidos e direcionados, tendo em vista que a fundamentação teórica da presente revisão da literatura não foram identificados estudos realizados em países latino-americanos, o que pode comprometer a efetividade de aplicação dos resultados em contextos reais no Brasil, dadas as diferenças culturais e sociais existentes.

Referências

Adriaensen, A., Decré, W., & Pintelon, L. (2019). Can complexity-thinking methods contribute to improving occupational safety in Industry 4.0? A review of safety analysis methods and their concepts. *Safety*, 5(4).

Angerer, P., Schmook, R., Elfantel, I., & Li, J. (2018). Psychological risk assessment for the digitalised workplace: The DYNAMIK 4.0 system [Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung für die digitalisierte Arbeit: Das System DYNAMIK 4.0]. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin*, 53(11), 718–722.

Arif, A., Mehmood, R. M., Latif, S., Ashraf, H., & Rauf, A. (2024). Neurophysiological approach for psychological safety: Enhancing mental health in human-robot collaboration in smart manufacturing setups using neuroimaging. *Information*, 15(10).

Blandino, G. (2023). How to measure stress in smart and intelligent manufacturing systems: A systematic review. *Systems*, 11(4).

Diebig, M., Müller, A., & Angerer, P. (2017). Psychosocial stressors in the digital transformation of industry: A selective literature review on (new types of) stressors [Psychische



Belastungen in der Industrie 4.0: Eine selektive Literaturübersicht zu (neuartigen) Belastungsbereichen]. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin*, 52(11), 832–839.

Faccio, M., Caputo, F., Galizia, F. G., & Mazzetto, A. (2023). Human factors in cobot era: A review of modern production systems features. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34(1), 85–106.

Gil-Monte, P. R.; Carlotto, M. S.; Câmara, S. G. Validação da versão brasileira do “Cuestionario para la Evaluación del Síndrome de Quemarse por el Trabajo” em professores. *Revista de Saúde Pública*, v. 44, n. 1, p. 140-147, 2010.

Hijry, H., Khan, A., Alhindi, A., & Khan, A. (2024). Real-time worker stress prediction in a smart factory assembly line. *IEEE Access*, 12, 116238–116249.

Kim, S., Kang, M., & Park, J. (2022). Digital industrial accidents: A case study of the mental distress of platform workers in South Korea. *International Journal of Social Welfare*, 31(3), 355–367.

Klumpp, M., Kohl, H., & Knop, M. (2024). “Under pressure!”: Digital work, mental strain, and work performance. *International Journal of Technology and Human Interaction*, 20(1).

Lucas, R. E. C., Merino, E. A. D., Merino, G. S. A. D., Silva, L. B. da, Leite, W. K. dos S., Silva, J. M. N., & Júnior, J. F. R. (2024). Simulation model to analyze the impact of work on absenteeism. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 1, 1–17.

Ma, L., Zhong, R. Y., Yuan, M., Wang, J., & Xu, X. (2025). A human-centric order release method based on workload control in high-variety make-to-order shops towards Industry 5.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 94, 102946.

Mariscal, M. A., Casado-Lumbreras, C., Colomo-Palacios, R., & García-Peñalvo, F. J. (2024). Working with collaborative robots and its influence on levels of working stress. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 37(7), 900–919.

Marques, Vanessa da Silva; Carlotto, Mary Sandra. Demandas e recursos para predição da síndrome de burnout em psicólogos clínicos = Demands and resources for burnout syndrome on clinical psychologists. *Psicologia: Ciência e Profissão*, v. 44, p. 1–17, 2024.



Mital, A., & Pennathur, A. (2004). Advanced technologies and humans in manufacturing workplaces: An interdependent relationship. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33(4), 295–313.

Rescio, G., Leone, A., Siciliano, P., & Malcangi, M. (2023). Ambient and wearable system for workers' stress evaluation. *Computers in Industry*, 148, 103922.

Slazyk-Sobol, M., Tucholska, K., Sobol, M., & Kwiatkowski, S. (2021). Stress and self-efficacy as specific predictors of safety at work in the aviation sector. *Medycyna Pracy*, 72(5), 479–487.

Tan, C.-H., Wang, H.-L., Ong, W.-M., & Zainuddin, N. (2023). Workplace wellness, mental health literacy, and usage intention of e-mental health amongst digital workers during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Mental Health Promotion*, 25(1), 99–126.

Tran, T.-A., Nguyen, T. H., Do, T. N., & Nguyen, H. T. (2023). Heart rate variability measurement to assess acute work-content-related stress of workers in industrial manufacturing environment: A systematic scoping review. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 53(11), 6685–6692.

Wixted, F., O'Riordan, C., & O'Sullivan, L. (2018). Inhibiting the physiological stress effects of a sustained attention task on shoulder muscle activity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1), 86.

Recebido: 07/07/2025

Aprovado: 14/07/2025

Editor-Executivo: Ítalo Neto