

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP

LILIAN DIAS PEREIRA

**ANÁLISE DOS INDICADORES DE AFASTAMENTOS POR DISTÚRBIOS
MUSCULOESQUELÉTICOS NA CADEIA PRODUTIVA DE PROTEÍNA
ANIMAL: DIFERENÇAS SEGUNDO GÊNERO E OCUPAÇÃO**

SÃO PAULO

2026

LILIAN DIAS PEREIRA

**ANÁLISE DOS INDICADORES DE AFASTAMENTOS POR DISTÚRBIOS
MUSCULOESQUELÉTICOS NA CADEIA PRODUTIVA DE PROTEÍNA
ANIMAL: DIFERENÇAS SEGUNDO GÊNERO E OCUPAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Irenilza de Alencar Nääs

Área de Concentração: Gestão de Sistemas de Operação

Linha de pesquisa: Redes de empresas e planejamento de produção.

Projeto de Pesquisa: Gestão da Produção e Inovação na Agricultura, Indústria e Serviços

SÃO PAULO

2026

Pereira, Lilian Dias.

Análise dos indicadores de afastamentos por distúrbios musculoesqueléticos na cadeia produtiva de proteína animal: diferenças segundo gênero e ocupação / Lilian Dias Pereira. – 2026.

157 f.: il. color. + CD-ROM.

Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2026.

Área de concentração: Gestão de Sistemas de Operação.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Irenilza de Alencar Nääs.

1. Absenteísmo. 2. Ergonomia. 3. Segregação de riscos.
4. Saúde do trabalhador. I. Nääs, Irenilza de Alencar (orientadora). II. Título.

LILIAN DIAS PEREIRA

**ANÁLISE DOS INDICADORES DE AFASTAMENTOS POR DISTÚRBIOS
MUSCULOESQUELÉTICOS NA CADEIA PRODUTIVA DE PROTEÍNA
ANIMAL: DIFERENÇAS SEGUNDO GÊNERO E OCUPAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

_____/_____/_____
Prof.^a Dr.^a Irenilza de Alencar Nääs
Universidade Paulista – UNIP

_____/_____/_____
Prof.^a Dr.^a Ana Lúcia Figueiredo Facin
Universidade Paulista – UNIP

_____/_____/_____
Prof. Dr. José Martim Marques Simas
Universidade Federal de Minas Gerais

DEDICATÓRIA

A Deus, que com sua infinita sabedoria e força me guiou em cada passo desta caminhada.

Aos meus amados pais, por serem o alicerce mais importante, sempre enxergando e incentivando o valor dos estudos em minha vida.

Em especial, dedico este trabalho ao meu marido e minha filha, a razão maior de todo o meu esforço. Vocês são o meu porto seguro e o amor que me inspira a buscar a constante evolução, para que eu possa lhes oferecer sempre a minha melhor versão.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão a todos que tornaram possível a realização desta dissertação, com apoio intelectual, institucional e pessoal.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Irenilza de Alencar Nääs, que é um dos seres mais incríveis que tive o privilégio de conhecer, pela confiança, por seu vasto conhecimento, pela inspiração constante e pela dedicação essencial que guiou cada etapa desta pesquisa.

Aos demais professores da Universidade Paulista e aos colegas de programa, pelo aprendizado, pelas contribuições intelectuais e por compartilharem os desafios e os avanços que enriqueceram minha formação no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

À minha mãe, pelo amor incondicional e por sempre ter sido o primeiro e maior incentivo em minha trajetória de estudos. Ao meu irmão e sobrinhas, pelo carinho e por serem fonte constante de alegria.

Ao meu marido e à minha filha, meus portos seguros e fontes de força, cuja paciência e amor sustentaram os momentos de maior dedicação a este projeto.

Às amigas Erika Tolesano e Amanda Soares, pela participação efetiva e incentivos ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIACÕES.....	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
UTILIDADE	xii
CAPÍTULO I	13
1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
1.1 Introdução	13
1.2 Justificativa.....	19
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo Geral.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos	21
1.4 Metodologia.....	22
1.5 Composição da Dissertação ou Tese	29
CAPÍTULO II	31
2 REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1 Escopo, Objetivos e Estrutura da Revisão	32
2.2 DMRTs: Prevalência e Fatores de Risco em Ambientes de Trabalho Intensivo.....	34
2.3 Medidas de Prevenção e Políticas Regulatórias na Cadeia Produtiva.....	38
2.4 Gênero, Faixa Etária e a Segregação de Riscos Ocupacionais.....	41
2.5 Tecnologia e Mudança no Processo Produtivo	44
2.5.1 Mitigação de Riscos e Benefícios Ergonômicos	44
2.5.2 Barreiras, Limitações e Desafios de Implementação.....	46
2.5.3 Novos Riscos e Impacto Psicossocial da Automação	46
2.5.4 Custo-Benefício, ROI e Implicações na Força de Trabalho.....	47
2.6 Gestão, Prevenção e Monitoramento (RH/Treinamento)	49
2.6.1 Absenteísmo e o Impacto Funcional dos DMRTs.....	49
2.6.2 Notificação de Agravos: CAT e Vigilância Epidemiológica	51
2.6.3 Estratégias de Gestão de Pessoas e Treinamento Ergonômico	53

2.7	Medidas Regulatórias e Panorama Internacional.....	55
2.7.1	Marcos Regulatórios Nacionais e Estratégias de Prevenção	55
2.7.2	Panorama Global de Prevenção.....	58
2.8	Síntese e Lacunas Identificadas	59
2.9	Resumo das Principais Descobertas	64
CAPÍTULO III		67
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
3.1	Artigo 1: Análise Longitudinal de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) em Trabalhadores da Cadeia de Proteína Animal no Brasil: Evidências Baseadas em Função Ocupacional (2006-2024).....	71
3.2	Artigo 2: Distúrbios Musculoesqueléticos em Trabalhadores da Cadeia de Proteína Animal no Brasil (2006–2024): Diferenças de Idade e Gênero	87
3.3	Artigo 3: <i>Work-Related Musculoskeletal Disorders in Brazil's Meat Industry: A 2006–2024 Occupation, Age, and Gender Overview</i>	103
3.4	Artigo 4: Modelagem da Automação Humanizada na Indústria de Processamento de Carne: Implicações Ergonômicas e Organizacionais	123
CAPÍTULO IV		139
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	139
4.1.	Conclusões	139
4.2.	Recomendações de trabalhos futuros	142
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		145
ANEXOS		156

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da Dissertação	30
Figura 2 - Estrutura da Revisão Teórica.....	33
Figura 3 – Certificado de Participação – ENEGEP 2025.....	156
Figura 4 – Certificado de Publicação – Revista Safety.....	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de Definições Operacionais e Bases Normativas do Estudo.....	14
Tabela 2 - Variáveis consideradas no estudo e sua descrição	23
Tabela 3 - Definição das ocupações estudadas.....	25
Tabela 4 - Distribuições dos Códigos CID-10 mais prevalentes na cadeia produtiva de proteína animal (2006–2024)	26
Tabela 5 - Descrição CNAE representativos das atividades da cadeia produtiva de proteína animal	28
Tabela 6 - Síntese dos benefícios esperados das principais medidas preventivas..	41
Tabela 7 - Resumo dos principais requisitos das NR-01, NR-17 e NR-36 aplicáveis à cadeia produtiva de proteína animal	57
Tabela 8: Síntese Integrativa dos Resultados e Contribuições à Saúde do Trabalhador.....	68

LISTA DE ABREVIACÕES

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal
AET- Análise Ergonômica do Trabalho
AHP - *Analytic Hierarchy Process*
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAT- Comunicação de Acidente de Trabalho
CBO - Classificação Brasileira de Ocupações
CID-10 - Classificação Internacional de Doenças
CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas
DMRTs - Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção
ESG - *Environmental, Social, and Governance*
GRH - Gestão de Recursos Humanos
INSS - Instituto Nacional do Seguro Social
ISCO - *International Standard Classification of Occupations*
ML - *Machine Learning*
MPT - Ministério Público do Trabalho
NR-01 - Norma Regulamentadora nº 01
NR-17 - Norma Regulamentadora nº 17
NR-36 - Norma Regulamentadora nº 36
ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OIT - Organização Internacional do Trabalho
OSHA - *Occupational Safety and Health Administration*
PMEs - Pequenas e Médias Empresas
RA - Realidade Aumentada
RH - Recursos Humanos
ROI - Retorno sobre o Investimento
SINAN - Sistema de Informação de Agravos de Notificação
WHO - *World Health Organization*

RESUMO

Esta dissertação analisa a ocorrência de Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) na cadeia produtiva de proteína animal no Brasil, com foco nos afastamentos registrados entre 2006 e 2024. O estudo foi motivado pela alta prevalência dessas doenças no setor e pela necessidade de analisar a influência de fatores demográficos e ocupacionais nos padrões de adoecimento. A pesquisa adota uma abordagem quantitativa, descritiva e longitudinal. A análise baseou-se em dados secundários do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), abrangendo o período de 18 anos. Os dados foram estratificados por diagnóstico (CID-10), função ocupacional, gênero e faixa etária. Os achados confirmam a alta prevalência de DMRTs, associada a fatores ergonômicos (movimentos repetitivos e ambientes frios). O diagnóstico M75 (Lesões do Ombro) concentrou-se em funções críticas de corte e de desossa, como magarefe, abatedor e açougueiro. Observou-se uma segregação significativa de riscos ocupacionais e uma inversão nos padrões epidemiológicos a partir de 2022, com as notificações masculinas superando as femininas. Este fenômeno é atribuído ao aprimoramento dos sistemas de vigilância e à maior utilização do código Z57 (Exposição ocupacional a fatores de risco), o que evidencia uma mudança na cultura de notificação e na visibilidade do risco ocupacional. A persistência dos agravos e a desigualdade na exposição exigem que as políticas de saúde do trabalhador sejam sensíveis a gênero e idade, superando o modelo de abordagem única. A prevenção eficaz depende da adoção de estratégias diferenciadas, da gestão psicossocial e do investimento em tecnologia. Recomenda-se a quantificação econômica dos afastamentos, o cálculo do Retorno sobre o Investimento (ROI) da mecanização, bem como análises interseccionais futuras para uma gestão de riscos mais justa.

Palavras chaves: Absenteísmo; Ergonomia; Segregação de riscos, Saúde do trabalhador.

ABSTRACT

This dissertation analyzes the occurrence of Work-Related Musculoskeletal Disorders (WRMSDs) in Brazil's animal protein production chain, focusing on sick leave records from 2006 to 2024. The study was motivated by the high prevalence of these diseases in the sector and the need to analyze the influence of demographic and occupational factors on illness patterns. The research adopts a quantitative, descriptive, and longitudinal approach. The analysis was based on secondary data from the Notifiable Diseases Information System (SINAN), covering the 18 years. Data were stratified by diagnosis (ICD-10), occupational role, gender, and age group. Findings confirm the high prevalence of WRMSDs, strongly associated with ergonomic factors (repetitive movements and cold environments). The M75 diagnosis (Shoulder Lesions) was concentrated in critical cutting and deboning functions, such as slaughterers, butchers, and meat cutters. A significant occupational risk segregation was observed, along with an inversion in epidemiological patterns starting in 2022, with male notifications surpassing those of females. This phenomenon is attributed to improvements in surveillance systems and increased recording of the Z57 code (Occupational exposure to risk factors), indicating a shift in notification culture and the visibility profile of occupational risks. The increase in the Z57 code (Occupational Exposure to Risk Factors) among men suggests greater recognition of environmental and organizational risks in the sector. The persistence of disorders and the inequality in exposure demand that workers' health policies be gender- and age-sensitive, overcoming the one-size-fits-all approach. Effective prevention relies on adopting differentiated strategies, psychosocial management, and investment in technology. Future research should quantify the economic impact of absences, calculate the Return on Investment (ROI) of mechanization, and incorporate intersectional analyses for fairer risk management.

Keywords: Absenteeism; Ergonomics; Risk Segregation; Worker's Health.

UTILIDADE

A presente pesquisa contribui diretamente para a Agenda 2030 da ONU, alinhando se estrategicamente a quatro Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), meta 3.9, é contemplado ao evidenciar a urgência de prevenir doenças relacionadas às condições de trabalho e promover ambientes laborais mais saudáveis. O ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Económico), metas 8.5 e 8.8, conecta se à pesquisa ao demonstrar que a saúde do trabalhador é uma base essencial para o emprego produtivo, a permanência no trabalho e a garantia de condições seguras e justas.

Adicionalmente, o estudo alinha se ao ODS 5 (Igualdade de Género), meta 5.5, ao revelar a segregação ocupacional e a necessidade de políticas de gestão que garantam a participação das mulheres em condições de igualdade, protegendo a sua integridade física através de projetos de engenharia sensíveis às diferenças antropométricas. Por fim, o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), metas 9.4 e 9.5, é atendido na medida em que a pesquisa fornece evidências científicas sobre a insustentabilidade do modelo atual, justificando a necessidade de modernizar e reajustar os processos industriais por meio de inovação tecnológica e de gestão.

Assim, o estudo fortalece a integração entre a produção de ciência e os compromissos internacionais, fornecendo evidências robustas para a construção de ambientes de trabalho mais seguros, inovadores e sustentáveis.

CAPÍTULO I

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A cadeia produtiva de proteína animal é um pilar estratégico da economia brasileira, essencial tanto para a segurança alimentar interna quanto para o comércio exterior, mobilizando uma vasta força de trabalho em atividades que abrangem desde a criação até o processamento e a exportação. Contudo, essa relevância econômica é marcada por uma contradição estrutural: os severos desafios impostos à saúde e segurança dos milhares de trabalhadores envolvidos.

Entre os agravos mais prevalentes e onerosos do setor, destacam-se os Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs). Causados por fatores como movimentos repetitivos, ritmo acelerado, alta demanda física e exposição a ambientes frios, esses agravos resultam em elevadas taxas de absenteísmo e afastamentos prolongados. Tal cenário impõe custos operacionais significativos às empresas e, crucialmente, representa um ônus crescente e insustentável para o sistema de seguridade social e para a sociedade.

Diante deste cenário, esta dissertação se propõe a analisar a ocorrência e a distribuição dos DMRTs na cadeia produtiva de proteína animal, com foco em uma série histórica de 18 anos. Diferenciando-se das abordagens tradicionais, o estudo investiga a segregação de riscos ocupacionais ao cruzar as variáveis de gênero e faixa etária com os diagnósticos clínicos e as funções de maior vulnerabilidade. O objetivo final é fornecer um diagnóstico preciso da dinâmica de adoecimento no setor, subsidiando a formulação de estratégias de intervenção mais justas, eficazes e sustentáveis que integrem as dimensões ergonômica, organizacional e econômica.

1.1 Introdução

Para adentrar na análise dos impactos à saúde na cadeia de proteína animal, torna-se imperativo, inicialmente, estabelecer uma base conceitual sólida. A compreensão das terminologias técnicas e das definições que norteiam a ergonomia

e a saúde do trabalhador é fundamental para garantir o rigor científico na interpretação dos dados que sustentam esta investigação. Nesse sentido, o Quadro 1 apresenta uma síntese dos principais conceitos e fundamentações teóricas que alicerçam o desenvolvimento deste estudo.

Tabela 1: Matriz de Definições Operacionais e Bases Normativas do Estudo

Conceito	Definição operacional adotada no estudo	Base teórica / normativa
Cadeia produtiva de proteína animal	Conjunto integrado de atividades econômicas que envolvem a criação, o abate, o processamento, a distribuição e a comercialização de proteínas de origem animal, incluindo frigoríficos e plantas de processamento de carnes (aves, suínos, bovinos e pescado).	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Associação Brasileira de Proteína Animal
Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT)	Termo adotado no Brasil para designar um conjunto de agravos que afetam músculos, tendões, articulações e estruturas associadas, decorrentes da exposição ocupacional a fatores como repetitividade, esforço físico, posturas inadequadas e condições ambientais adversas.	Ministério da Saúde; Fundacentro
Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs)	Termo utilizado na literatura internacional (Work-Related Musculoskeletal Disorders – WRMSDs) para descrever o mesmo grupo de agravos ocupacionais referidos no contexto brasileiro como DORT, sendo adotado neste estudo para garantir comparabilidade internacional e alinhamento com a literatura.	Ministério da Saúde; Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021)
CID-10 – Classificação Internacional de Doenças (diagnósticos analisados)	Sistema de classificação padronizado pela Organização Mundial da Saúde (World Health Organization, 2021) utilizado para codificar doenças, condições clínicas e fatores que influenciam o estado de saúde (como exposições a riscos). Neste estudo, focou-se	Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021), Portaria GM/MS nº 5.201/2024

	nos grupos M (Doenças do sistema osteomuscular), G (Doenças do sistema nervoso, como Túnel do Carpo) e Z57 (Exposição ocupacional a fatores de risco).	
Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)	Sistema oficial utilizado para identificar e agrupar as ocupações exercidas pelos trabalhadores da cadeia produtiva de proteína animal, permitindo a análise da distribuição dos afastamentos segundo a função ocupacional.	Ministério do Trabalho e Emprego; Organização Internacional do Trabalho
Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT)	Instrumento legal de notificação utilizado para registrar acidentes e doenças relacionados ao trabalho, servindo como base para vigilância epidemiológica e reconhecimento previdenciário dos agravos ocupacionais.	Ministério do Trabalho e Emprego
Automação Humanizada	Proposta de integração tecnológica em que a robótica e a automação são desenhadas para mitigar riscos ergonômicos e físicos, bem como riscos psicossociais e cognitivos, priorizando o bem-estar e a saúde do trabalhador em sistemas ciberfísicos.	Cunha et al. 2022; Bispo & Amaral (2024); Mason et al. (2021)

Fonte: O autor.

A consolidação dessas terminologias permite uma compreensão contextualizada dos dados apresentados a seguir, subsidiando a análise deste setor no cenário nacional.

A indústria brasileira de produção de carne, que abrange aves, suínos e bovinos, desempenha um papel fundamental tanto na economia nacional quanto no mercado internacional (EMBRAPA, 2023). Para os fins desta dissertação, a cadeia produtiva de proteína animal abrange todas as atividades, desde a criação (avicultura, bovinocultura, suinocultura) até o processamento e a comercialização, incluindo frigoríficos e plantas de processamento de carnes (aves, suínos, bovinos e pescado). Segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal, o Brasil é o segundo maior produtor mundial e o principal exportador de carne de frango, com

aproximadamente um terço das 14,5 milhões de toneladas produzidas destinadas à exportação (ABPA, 2024). Essa liderança global reflete a importância econômica e estratégica da indústria para o Brasil. Recentemente, analistas apontaram que o Brasil pode ampliar ainda mais sua participação no mercado internacional de carnes, aproveitando a instabilidade comercial entre os Estados Unidos e a China para reforçar sua posição como o fornecedor principal para o país asiático (G1, 2025).

Apesar dos avanços na integração de técnicas de produção modernas, cruciais para a competitividade internacional, essas melhorias também geram desafios significativos para a saúde do trabalhador (EMBRAPA, 2023). Além do impacto direto na saúde do trabalhador, os DMRTs representam um desafio crítico para a eficiência operacional e a sustentabilidade financeira das organizações. O afastamento de colaboradores acarreta custos elevados relacionados ao absenteísmo, à perda de produtividade e aos encargos previdenciários (Andersen et al., 2021; WHO/ILO, 2021). Dados da Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2023) reforçam a gravidade deste cenário, posicionando o setor de processamento de carnes como o com maior taxa de lesões ocupacionais entre toda a indústria de manufatura. A persistência desses agravos evidencia falhas nos sistemas sociotécnicos, em que a pressão por metas e a rigidez dos fluxos produtivos comprometem o capital humano (Marra et al., 2019). Como consequência, as empresas enfrentam custos indiretos significativos, incluindo a necessidade de substituir a mão de obra qualificada e a descontinuidade dos processos de produção (Brunner et al., 2019; Ricco et al., 2017). Pesquisadores destacam que o aumento da automação, embora beneficie a produtividade, tem criado novas questões relacionadas à ergonomia e saúde dos trabalhadores (Marra, Cohen e Cardoso, 2019). Nesse cenário, a transição para modelos de Automação Humanizada surge como uma resposta estratégica alinhada aos preceitos da Indústria 5.0. Diferente da automação puramente técnica, que historicamente priorizou sistemas rígidos voltados apenas à redução de custos operacionais (Mason et al., 2021), essa abordagem prioriza a integração sociotécnica, na qual a tecnologia é concebida para atuar como suporte ergonômico e cognitivo (Islam et al., 2025). Busca-se, assim, preencher a lacuna na integração entre as dimensões psicossociais e o bem-estar dos operadores no desenvolvimento de novos sistemas ciberfísicos (Bispo & Amaral, 2024). Essa perspectiva transforma o papel do trabalhador de executor de tarefas repetitivas para supervisor de sistemas colaborativos, visando reduzir a carga física do sistema

muscular. Contudo, essa reconfiguração impõe o desafio de mitigar o surgimento de novas sobrecargas inerentes à interação tecnológica, como o technostress e a fadiga cognitiva (Cunha *et al.*, 2022).

O trabalho no setor de proteína animal, especialmente em ambientes de alta demanda, envolve tarefas fisicamente exigentes e altamente repetitivas. Estudos prévios têm consistentemente demonstrado que essas atividades podem levar a altos índices de absenteísmo e impactos significativos na saúde dos trabalhadores (Andersen *et al.*, 2021). Pesquisas apontam que as mulheres enfrentam desafios adicionais devido a características fisiológicas e papéis sociais acumulados, estando mais vulneráveis a sobrecargas e a distúrbios musculoesqueléticos (França *et al.*, 2023). Por outro lado, trabalhadores mais velhos tendem a apresentar menor capacidade de recuperação física, o que aumenta o risco de afastamentos prolongados (Hancharoenkul *et al.*, 2023). Essa heterogeneidade populacional exige políticas e intervenções ocupacionais mais inclusivas, capazes de considerar tais diferenças (WHO/ILO 2021).

Andersen *et al.* (2021) indicam que as condições rigorosas necessárias para atender às metas de produção frequentemente levam à redistribuição de tarefas quando os funcionários estão ausentes por problemas de saúde. Essa redistribuição não apenas aumenta a carga de trabalho dos empregados restantes, mas também eleva seus níveis de estresse e o risco de lesões ocupacionais. Estudos adicionais indicam que a rápida expansão da indústria exacerbou esses problemas, uma vez que a pressão por maior produção frequentemente limita a viabilidade de ajustes ergonômicos que poderiam mitigá-los (EMBRAPA, 2023). Brunner *et al.* (2019) afirmam ainda que essas condições criam um ciclo de absenteísmo, em que a escassez de mão de obra e a rotatividade limitada de tarefas agravam as perdas de produtividade e os problemas de saúde.

As exigências físicas substanciais no setor contribuíram para uma alta prevalência de DMRTs, afetando particularmente ombros, punhos e costas devido às atividades repetitivas em tarefas como corte, desossa e movimentação de produtos. Dias *et al.* (2020) argumentam que essas demandas sobre os sistemas musculoesqueléticos e nervosos frequentemente levam a enfermidades como bursite, sinovite e síndrome do túnel do carpo. Minghelli *et al.* (2019) sugerem que, sem medidas preventivas, como ferramentas ergonômicas e períodos de descanso programados, essas condições podem evoluir para estados crônicos e

potencialmente incapacitantes. Estratégias como ajustes ergonômicos, promoção de pausas regulares e o aprimoramento do treinamento dos trabalhadores são apontadas como potencialmente eficazes para mitigar os riscos à saúde identificados (Ghasemi *et al.*, 2020). Nesse contexto, emergem modelos de gestão que integram o sensoramento em tempo real para a identificação dinâmica de riscos (Cardoso *et al.*, 2021) à governança participativa, permitindo a adaptação dos postos de trabalho às necessidades e limitações dos trabalhadores (Colim *et al.*, 2021). Ricco *et al.* (2017) reforçam que práticas ergonômicas inadequadas, combinadas ao esforço físico prolongado, contribuem significativamente para as altas taxas de doenças ocupacionais no setor.

A partir dessa base terminológica, compreende-se que a magnitude da indústria brasileira não se restringe ao segmento de aves; da mesma forma, os setores de carne suína e bovina posicionam o Brasil entre os principais produtores e exportadores globais, reforçando a importância econômica da indústria e sua contribuição essencial para a cadeia global de proteínas (ABPA, 2024). A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária relata que o setor de carne bovina, por si só, produz cerca de 10 milhões de toneladas, com mais de 20% destinadas aos mercados internacionais, destacando, ainda mais, o papel crucial em escala mundial (EMBRAPA, 2023). A magnitude desses números reitera que qualquer falha na saúde do trabalhador de um setor tão vital acarreta impactos socioeconômicos em larga escala, justificando a urgência desta investigação sobre os padrões de adoecimento que afetam sua força de trabalho.

Apesar da relevância socioeconômica do setor, a persistência de altas taxas de absenteísmo evidencia a necessidade de revisitar as estratégias de mitigação de riscos. Diante desses desafios, esta investigação analisa os Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) no contexto da cadeia produtiva de proteína animal. O presente estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: Como os Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) se distribuem ao longo da cadeia produtiva de proteína animal no Brasil, considerando gênero, faixa etária e ocupação? O objetivo central é identificar a segregação de riscos ocupacionais no setor, integrando a análise dos fatores ergonômicos e organizacionais à distribuição dos agravos por gênero, faixa etária e ocupação.

A investigação visa fornecer *insights* sobre a dinâmica do adoecimento, subsidiando a melhoria da saúde do trabalhador e a promoção de ambientes de trabalho mais inclusivos e equitativos. O foco final é contribuir para a formulação de estratégias preventivas e sustentáveis no setor, integrando fatores ergonômicos e organizacionais, com suporte a tecnologias assistivas, para subsidiar uma gestão de saúde do trabalhador mais equitativa, eficiente e centrada no ser humano.

1.2 Justificativa

As altas taxas de absenteísmo decorrentes dos Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) impactam negativamente não apenas a produtividade das empresas da cadeia produtiva de proteína animal, mas também representam um desafio significativo para a saúde pública e a gestão social (WHO/ILO, 2021). Estudos indicam que tais enfermidades geram a perda de anos de vida saudável e impactam diretamente o Produto Interno Bruto (PIB) das nações, evidenciando que o custo da inação supera os investimentos em prevenção (WHO/ILO, 2021). Evidências indicam que essas doenças geram impactos econômicos, sociais e de saúde pública de longo alcance, exigindo atenção imediata e intervenções eficazes para garantir a sustentabilidade econômica e a proteção da força de trabalho (França *et al.*, 2023). Nesse sentido, justifica-se a necessidade de investigações que utilizem séries históricas extensas para compreender as oscilações nos padrões de notificação, permitindo identificar o momento em que mudanças nas políticas de vigilância passam a se refletir nos registros oficiais de saúde do trabalhador.

Esse cenário de afastamentos elevados representa um desafio para a cadeia produtiva de proteína animal, setor vital para a economia nacional e global, cuja competitividade depende da eficiência e da saúde de seus trabalhadores (ABPA, 2024). Pesquisas recentes indicam que as doenças ocupacionais musculoesqueléticas não são apenas prevalentes, mas também frequentemente subestimadas quanto a seus impactos humanos (Andersen *et al.*, 2021). Esta subestimativa reforça a importância de abordar os agravos não apenas pelo diagnóstico clínico, mas também como Determinantes Sociais de Saúde (SDOH). A literatura indica que o uso de códigos de monitoramento de risco, como o Z57, é uma

ferramenta ainda subutilizada para documentar as necessidades sociais e exposições ocupacionais que antecedem a doença, sendo essencial para uma gestão de saúde mais precisa (Bensken et al., 2022; Ubri et al., 2022). Nesse sentido, a lacuna persistente na integração das dimensões psicossociais e do bem-estar no desenvolvimento de sistemas industriais justifica a investigação de indicadores que antecipem onexo causal, permitindo uma governança participativa e dinâmica dos riscos (Bispo & Amaral, 2024).

Essas enfermidades atingem trabalhadores em diferentes etapas da cadeia produtiva, incluindo abate, processamento e logística, afetando a saúde dos empregados e gerando perdas financeiras tanto para as empresas quanto para os programas de seguridade social (Oliveira et al., 2021). O absenteísmo prejudica diretamente a continuidade das operações, sobrecarregando os trabalhadores remanescentes e aumentando o risco de novas lesões, o que agrava as perdas de produtividade e eleva os custos operacionais (Greggi et al., 2024). Esta realidade é frequentemente exacerbada por sistemas de automação rígidos que, embora aumentem o volume de produção, falham em adaptar o ritmo de trabalho às capacidades físicas dos operadores, criando um ciclo de sobrecarga biomecânica (Mason et al., 2021).

Hancharoenkul et al. (2023) destacam que a dor musculoesquelética relacionada ao trabalho é uma das doenças ocupacionais mais comuns entre os trabalhadores de matadouros, afetando a saúde dos empregados e podendo resultar em incapacidade para o trabalho e em absenteísmo. Oliveira et al. (2021) apontam que, apesar dos problemas de saúde, a maioria dos trabalhadores de matadouros ilegais raramente se afasta do trabalho devido à ausência de direitos trabalhistas e à vulnerabilidade do vínculo empregatício.

Diante desse cenário, o enfrentamento dos Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) por meio de medidas preventivas, como melhorias ergonômicas, treinamentos em saúde do trabalhador e adaptações no ambiente de trabalho, apresenta potencial para reduzir o absenteísmo, aumentar a produtividade e promover o bem-estar dos trabalhadores (Ghasemi et al., 2020). A justificativa para a adoção de tecnologias assistivas e sistemas colaborativos reside na capacidade de transformar postos de alta repetitividade em funções de supervisão

técnica, promovendo a transição para a Indústria 5.0 (Islam *et al.*, 2025). Contudo, essa nova dinâmica exige estratégias de gestão centradas no humano para mitigar o technostress e a sobrecarga cognitiva inerentes à interação tecnológica (Cunha *et al.*, 2022; Islam *et al.*, 2025). Estratégias eficazes podem favorecer a criação de ambientes de trabalho mais inclusivos e sustentáveis; e ampliar a equidade em saúde do trabalhador, considerando as especificidades de gênero, idade e condições de trabalho (França *et al.*, 2023).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar os Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) na cadeia produtiva de proteína animal no Brasil, considerando variáveis sociodemográficas e ocupacionais, de modo a identificar padrões de adoecimento e afastamentos e propor recomendações baseadas em evidências para a prevenção e gestão ergonômica.

1.3.2 Objetivos Específicos

Identificar a associação entre os diagnósticos mais frequentes dos Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) e as ocupações notificadas na cadeia produtiva de proteína animal, caracterizando os grupos funcionais mais vulneráveis.

Explorar as diferenças de gênero na incidência e no impacto dos Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs), avaliando como as desigualdades influenciam o absenteísmo e a permanência no trabalho.

Examinar a distribuição dos afastamentos por Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) segundo gênero, faixa etária e ocupação, destacando padrões epidemiológicos e a segregação de riscos por gênero, de modo a subsidiar políticas preventivas mais inclusivas e sensíveis às características da força de trabalho.

1.4 Metodologia

A pesquisa adota uma abordagem quantitativa, de caráter descritivo e exploratório, com um recorte longitudinal baseado na análise de séries históricas de dados secundários provenientes do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), abrangendo o período de 2006 a 2024. Complementarmente, para a fundamentação das propostas de intervenção tecnológica apresentadas no Artigo 4, realizou-se uma revisão integrativa da literatura. Esta etapa permitiu sintetizar as evidências atuais sobre a Indústria 5.0 e a automação humanizada, servindo de base para a análise estratégica e para a proposição de soluções aos riscos ocupacionais emergentes identificados (Bispo & Amaral, 2024; Cunha *et al.*, 2022). A coleta de dados considerou o impacto das mudanças nas políticas de saúde pública sobre a qualidade dos registros, com a análise desenhada para captar variações decorrentes da Portaria GM/MS nº 5.201/2024 que estabeleceu a obrigatoriedade de notificação compulsória para agravos relacionados ao trabalho. A filtragem e a organização da base de dados foram realizadas com foco nas atividades da cadeia produtiva de proteína animal, utilizando os códigos da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO) como critérios de seleção. A seleção via CBO priorizou ocupações diretamente vinculadas às etapas operacionais de abate e processamento, visando delimitar a análise aos postos de trabalho com maior exposição a riscos ergonômicos e biomecânicos típicos da linha de produção.

A base de dados foi organizada de forma a permitir a aplicação de análises descritivas utilizando o *software* Microsoft Excel para o processamento dos dados, construção de tabelas dinâmicas e elaboração de representações gráficas. O objetivo foi a identificação de padrões de afastamento e a distribuição dos agravos por gênero, faixa etária e ocupação. Complementarmente, análises estatísticas inferenciais foram realizadas em Python v.3.10, com o suporte da biblioteca SciPy (versão 1.11.1).

Para avaliar as associações entre as variáveis sociodemográficas e as notificações, aplicou-se o teste do Qui-quadrado (χ^2) com o intuito de verificar a independência entre as categorias. A magnitude dessas associações foi quantificada pelo cálculo do tamanho do efeito Eta Quadrado (η^2), permitindo mensurar a

significância prática das disparidades de gênero e ocupação no padrão de adoecimento.

Os dados utilizados são públicos e anonimizados e, conforme a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, a pesquisa está dispensada de apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa. Os resultados obtidos serviram de base para as interpretações normativas e para a formulação das recomendações apresentadas nos capítulos posteriores da dissertação. Ao final do processo, o banco de dados foi estruturado com 41 colunas, destinadas especificamente à análise dos afastamentos por Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs).

As variáveis de interesse, fundamentadas nas definições operacionais e bases normativas apresentadas anteriormente no Quadro 1, foram padronizadas e categorizadas, incluindo idade (15 a 79 anos), tempo de afastamento (em dias), diagnóstico (CID-10), escolaridade (fundamental a superior), gênero, tipo de ocupação (CBO), atividade econômica (CNAE), evolução do caso, local de ocorrência, sinais e sintomas clínicos, bem como a emissão da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT), conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 2 - Variáveis consideradas no estudo e sua descrição

Variável dependente	Descrição
Idade	De 15 a 79 anos
Tempo de trabalho (dias)	A partir de zero
Afastamento médico	Afastamento médico igual ou superior a 1 dia
Gênero	Masculino e feminino
Escolaridade	Ensino fundamental incompleto ou inferior, Ensino fundamental completo ou superior, Ensino superior completo ou incompleto
Diagnóstico	Doença (conforme a Classificação Internacional de Doenças - CID-10)
Evolução do caso	Curado; Cura não comprovada; qualquer incapacidade (incapacidade temporária, parcial ou permanente total)

Estado e Cidade	Todos os municípios e estados
Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)	Cadeia de Proteína Animal
Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)	Códigos CNAE relacionados às atividades da cadeia produtiva de proteína animal
Sinais e Sintomas e outros laudos clínicos.	Alterações de sensibilidade, diminuição da força muscular, limitações de movimento, presença de dor e incapacidade de realizar tarefas cotidianas
Emissão de Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT)	Sim, não e ignorado

Fonte: O autor.

As variáveis apresentadas na tabela constituem a base para as análises realizadas, permitindo a padronização e a categorização dos dados segundo critérios sociodemográficos, clínicos e ocupacionais, bem como uma compreensão preliminar dos afastamentos por DMRTs na cadeia produtiva de proteína animal. A análise por grupos CNAE permitiu a abrangência da cadeia, embora pesquisas futuras possam se beneficiar de recortes específicos por proteína animal para identificar variações diagnósticas pontuais.

Alguns dos estudos iniciais realizados nesta pesquisa permitiram identificar as ocupações apresentadas na Tabela 2, com base na Classificação Brasileira de Ocupações (CBO) e em sua vinculação aos códigos da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) previamente selecionados para representar as atividades da cadeia produtiva de proteína animal. As descrições agrupam funções relacionadas ao abate, desossa, manipulação e comercialização de carnes, refletindo a diversidade de títulos ocupacionais registrados nas notificações do SINAN.

Tabela 3 - Definição das ocupações estudadas

Ocupação	Descrição	CBO
Abatedor	Abatedor em matadouro, Abatedor de animais, Abatedor de aves, Abatedor de gado, Abatedor de galinha, Abatedor de porco, [...]	8485-05
Açougueiro	Ajudante de açougueiro (comércio), Açougueiro retalhista, Balconista de açougue, Cortador de carne em açougue, [...]	8485-10
Alimentador de linha de produção	Abastecedor de linha de produção, Abastecedor de máquinas de linha de produção, [...]	7842-05
Auxiliar nos serviços de alimentação	Ajudante de churrasqueiro, Ajudante de confeitoiro, Ajudante de cozinha, Ajudante de padeiro, Ajudante de pizzaiolo, [...]	5135-05
Avicultor	Avicultor - empregador, Avicultor avozeiro, Avicultor comercial, Avicultor matrizeiro, Avícola - empregador, Criador de aves, [...]	6133-05
Desossador	Auxiliar de desossador, Açougueiro desossador, Cabeceiro em matadouro, Desnucador em matadouro, Desorelhador em matadouro, [...]	8485-15
Magarefe	Arrancador em matadouro, Arreador em matadouro, Auxiliar de magarefe, Açougueiro classificador (exclusive comércio), [...]	8485-20
Retalhador de carne	Auxiliar de classificador de carne, Açougueiro cortador (exclusive comércio), Carneador em matadouro e açougue, [...]	8485-25

Fonte: Adaptado de CBO/MTE (2025).

As descrições das ocupações apresentadas na Tabela 2 foram sintetizadas com a utilização de “[...]” para indicar a omissão de trechos, com o objetivo de preservar a objetividade e a clareza, evitando a reprodução integral dos textos oficiais da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), que são mais extensos.

Para assegurar a padronização internacional e a comparabilidade dos dados, estas funções foram alinhadas aos seus equivalentes na *International Standard Classification of Occupations* (ISCO-08), abrangendo papéis críticos como o abate (*slaughtering*), a desossa (*deboning*), a manipulação de carnes e a alimentação de linhas de produção, apresentados nos resultados do artigo 3.

Os diagnósticos mais prevalentes identificados nesta pesquisa foram apresentados na Tabela 3. A classificação baseia-se no sistema padronizado pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021) utilizado para codificar doenças,

condições clínicas e fatores que influenciam o estado de saúde. No escopo deste estudo, foram considerados: os códigos do capítulo M, referentes às doenças do sistema musculoesquelético e do tecido conjuntivo; os códigos do capítulo G, relativos às doenças do sistema nervoso, incluindo mononeuropatias; e os códigos do grupo Z, em especial o Z57, Exposição ocupacional a fatores de risco. Ressalta-se que o Z57 não constitui um diagnóstico clínico de doença, mas um código destinado a registrar circunstâncias e exposições ocupacionais capazes de influenciar o risco de adoecimento, sendo uma métrica essencial para a vigilância proativa em saúde do trabalhador. Nesse sentido, o código Z57 foi tratado como uma variável de interesse metodológico central. A sua inclusão no plano de análise objetivou verificar a correlação entre a notificação do agravo clínico e o reconhecimento formal do risco ambiental no registro oficial, servindo como parâmetro para avaliar a sensibilidade do sistema de vigilância ao longo da série histórica. Dessa forma, a Tabela 3 detalha os códigos da CID-10 identificados no escopo desta pesquisa.

Tabela 4 - Distribuições dos Códigos CID-10 mais prevalentes na cadeia produtiva de proteína animal (2006–2024)

CID-10	Descrição
M75	Lesões do ombro
Z57	Exposição ocupacional a fatores de risco
M54	Dorsalgia
M65	Sinovite e tenossinovite
G56	Mononeuropatias dos membros superiores
M79	Outros transtornos dos tecidos moles, não classificados em outra parte
M51	Outros transtornos de discos intervertebrais
M77	Outras entesopatias
M25	Outros transtornos articulares não classificados em outra parte
M70	Transtornos dos tecidos moles relacionados com o uso, uso excessivo e pressão

Fonte: O autor.

A seleção dos diagnósticos priorizou os Capítulos M e G da CID-10, devido à sua relação direta com sistemas produtivos de alta repetitividade. Nesse contexto, atribuiu-se relevância ao código Z57 (Exposição ocupacional a fatores de risco) como ferramenta de contextualização do nexos causal (parâmetro para validar a relação entre o diagnóstico clínico e a exposição aos riscos ergonômicos e biomecânicos). Embora a CID-10 categorize o grupo Z57 de forma abrangente, incluindo desde exposições ao ruído (Z57.0) até agentes tóxicos (Z57.4 e Z57.5) e vibrações (Z57.7), o escopo desta pesquisa analisou o grupo Z57 visando captar tanto as exposições ergonômicas e ao frio (Z57.8 e Z57.6), predominantes no processamento industrial, quanto possíveis exposições a agentes específicos das etapas de criação e manejo animal (Z57.4 e Z57.5), garantindo uma visão integral da saúde do trabalhador ao longo de toda a cadeia de proteína animal (WHO, 2021; Ricco *et al.*, 2017).

Sob esta ótica, o Z57 é compreendido como um Determinante Social de Saúde (SDOH), atuando como um registro formal de vulnerabilidades ocupacionais que impactam diretamente a utilização dos serviços de saúde e a sustentabilidade do capital humano (Bensken *et al.*, 2022; Ubri *et al.*, 2022). Ao tratar o Z57 como um indicador de risco e contexto, a análise complementa os diagnósticos clínicos codificados nos capítulos M e G, permitindo uma visão de vigilância proativa sobre a integridade física da força de trabalho.

Como parte da caracterização das atividades que integram a cadeia produtiva de proteína animal, identificaram-se e categorizaram-se os principais códigos da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) presentes nos registros analisados. A seleção considerou não apenas os CNAEs tradicionalmente associados às etapas industriais de abate e processamento, mas também atividades comerciais não especializadas, desde que associadas a funções ocupacionais diretamente vinculadas à cadeia produtiva, como a manipulação, corte e venda de produtos de origem animal. A Tabela 4 sintetiza os principais códigos CNAE identificados na base de dados, representando os diversos segmentos da cadeia produtiva de proteína animal envolvidos nas notificações analisadas.

Tabela 5 - Descrição CNAE representativos das atividades da cadeia produtiva de proteína animal

Código CNAE	Descrição da Atividade
1011-2/05	Abate de aves e outros pequenos animais e preparação de produtos de carne.
1013-9/01	Abate de reses, preparação de produtos de carne.
4623-1/01	Comércio atacadista de animais vivos.
4634-6/01	Comércio atacadista de carnes e produtos da carne.
4633-8/01	Comércio atacadista de hortifrutigranjeiros.
4634-6/03	Comércio atacadista de pescados.
4722-9/01	Comércio varejista de carnes e açougues.
4729-6/02	Comércio varejista de mercadorias em geral, com predominância de produtos alimentícios industrializados, lojas de conveniência.
4711-3/02	Comércio varejista de mercadorias em geral, com predominância de produtos alimentícios, supermercados.
4712-1/00	Comércio varejista de mercadorias em geral, com predominância de produtos alimentícios.
4711-3/01	Comércio varejista de mercadorias em geral, hipermercados.
0155-5/04	Criação de aves
0151-2/01	Criação de bovinos
0159-8/99	Criação de outros animais
0152-1/02	Criação de outros animais de grande porte
0153-9/02	Criação de ovinos
0154-7/00	Criação de suínos
1099-6/99	Fabricação de outros produtos alimentícios
1013-9/01	Preparação de carne, banha e produtos de salsicharia não associada ao abate
1051-1/00	Preparação do leite

Fonte: Elaboração própria com base na Classificação Nacional de Atividades Econômicas, CONCLA/IBGE.

Os códigos estudados refletem a diversidade de setores que compõem a cadeia produtiva de proteína animal, abrangendo desde atividades industriais de abate e processamento até funções de distribuição e comercialização, cuja inclusão se justifica pela exposição ocupacional a riscos ergonômicos e ambientais relevantes para esta pesquisa. A análise integrada destes setores fundamenta-se na

necessidade de preservar o capital humano da cadeia produtiva, reduzindo o adoecimento e preparando o terreno para futuras intervenções tecnológicas que minimizem a sobrecarga física e o *technostress* (Bispo & Amaral, 2024; Islam *et al.*, 2025).

1.5 Composição da Dissertação ou Tese

Esta dissertação está estruturada no formato de compilação de artigos científicos, desenvolvidos de modo a atender aos objetivos específicos da pesquisa e apresentar evidências e resultados que sustentam o alcance do objetivo geral. É composta pelos seguintes capítulos:

Capítulo 1: Considerações Iniciais: apresenta a introdução ao tema, a justificativa, os objetivos: geral e específicos, a metodologia adotada e a utilidade da pesquisa, situando o estudo no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Capítulo 2: Referencial Teórico: sistematiza estudos sobre prevalência e fatores de risco dos DMRTs, desigualdades associadas a gênero e ocupação, normativas e políticas de prevenção, efeitos da automação na organização do trabalho e lacunas persistentes na literatura nacional e internacional.

Capítulo 3: Resultados e Discussão: apresenta os artigos científicos que compõem o núcleo da dissertação, cada um com objetivos próprios, fundamentação teórica, metodologia, resultados e discussão.

Capítulo 4: Considerações Finais: sintetiza os principais achados, contribuições acadêmicas e práticas, limitações e sugestões para pesquisas futuras.

Referências e Anexos: relacionam as obras e documentos utilizados, bem como materiais complementares, como certificados dos artigos publicados.

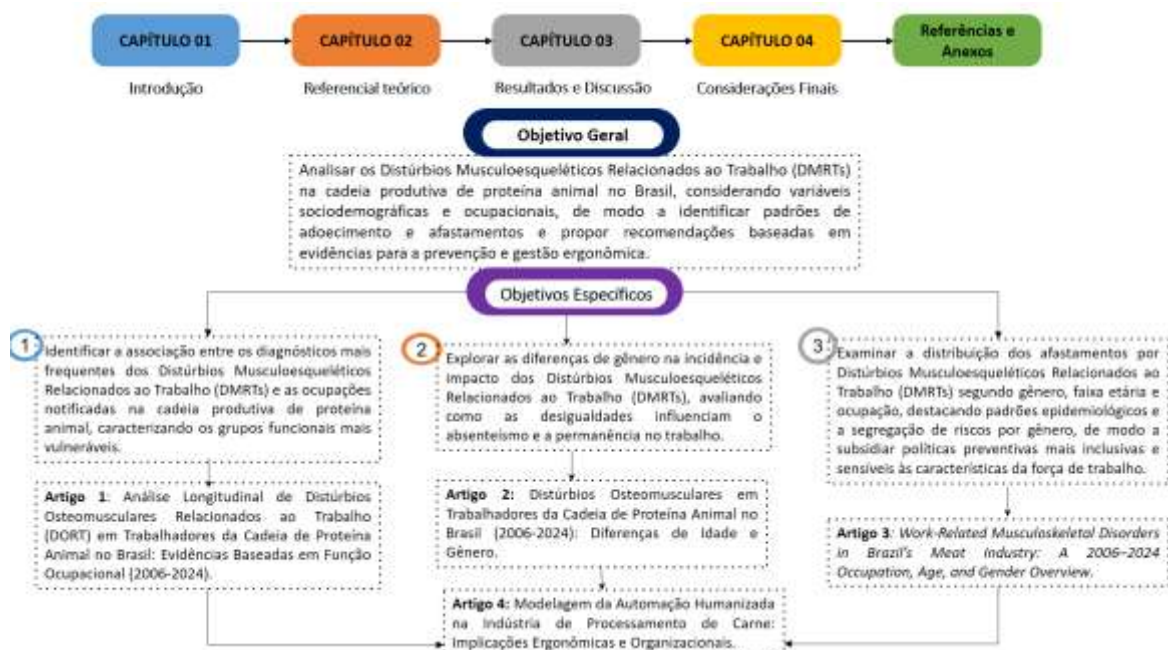


Figura 1 - Estrutura da Dissertação

CAPÍTULO II

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção explora os desafios de saúde do trabalhador associados a ambientes de trabalho intensivos, com ênfase nas Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs), uma questão de preocupação crescente na indústria brasileira de processamento de carne. A literatura reconhece a importância dos DMRTs como um problema significativo para a saúde pública e a produtividade econômica, reforçando a necessidade de abordagens preventivas. A revisão avalia a incidência e os fatores de risco dos DMRTs, incluindo elementos ergonômicos, físicos e organizacionais, que frequentemente interagem para agravar os impactos na saúde dos trabalhadores. Também são discutidas as intervenções ergonômicas como medidas preventivas capazes de reduzir a incidência de DMRTs e de melhorar a segurança dos trabalhadores.

Ao integrar estudos relevantes, a revisão destaca lacunas no conhecimento atual e identifica potenciais avanços nas práticas de saúde do trabalhador, oferecendo uma base sólida para compreender os desafios enfrentados por trabalhadores em instalações de processamento de carne.

Esta seção estabelece o fundamento teórico para analisar os desafios de saúde do trabalhador em ambientes de trabalho intensivos, com foco nos DMRTs na indústria brasileira de processamento de carne. A literatura existente reconhece os DMRTs como um problema crítico para a saúde pública, a gestão da força de trabalho e a sustentabilidade operacional, reforçando a necessidade de abordagens preventivas e estratégicas. A revisão avalia a incidência e os multifacetados fatores de risco dos DMRTs, incluindo elementos ergonômicos, físicos e organizacionais e, em alinhamento com a pesquisa, aprofunda-se na análise da segregação de riscos segundo gênero e ocupação.

Adicionalmente, esta seção incorpora discussões sobre o papel da Gestão de Recursos Humanos e do treinamento como ferramentas preventivas, bem como as implicações da automação e mecanização dos processos na mitigação e criação de

novos riscos. Sob essa ótica, a transição para a Indústria 5.0 requer a integração da ergonomia cognitiva no desenvolvimento das interfaces tecnológicas, garantindo que o convívio com sistemas automatizados não se converta em uma nova fonte de adoecimento e alienação no ambiente de trabalho (Cardoso *et al.*, 2021; Islam *et al.*, 2025). Ao integrar esses eixos (gênero, gestão e tecnologia), o referencial teórico oferece uma base importante para a compreensão dos desafios e para a proposição de intervenções ergonômicas e preventivas mais inclusivas e eficazes.

2.1 Escopo, Objetivos e Estrutura da Revisão

A presente revisão bibliográfica tem como escopo a análise dos Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) no contexto da cadeia produtiva de proteína animal, com atenção às especificidades dos ambientes laborais caracterizados por alta intensidade produtiva, como frigoríficos, unidades de corte e processamento, centros de distribuição e transporte. Esses ambientes frequentemente apresentam fatores de risco ergonômico, físico, biológico e psicossocial, cuja interação favorece o surgimento de lesões por esforços repetitivos, sobrecarga biomecânica e quadros dolorosos persistentes, comprometendo a capacidade laborativa e a saúde funcional dos trabalhadores (Tirloni *et al.*, 2019). Este cenário é frequentemente agravado por modelos de automação rígidos que priorizam a velocidade produtiva em detrimento das capacidades e dos limites biomecânicos dos operadores (Mason *et al.*, 2021).

O objetivo central da revisão é fornecer uma fundamentação científica para a análise da frequência, das causas e das consequências das DMRTs, examinando não apenas os fatores ocupacionais diretos, mas também aspectos sociodemográficos, a segregação de riscos por gênero, o impacto da tecnologia no trabalho e fatores organizacionais e institucionais que influenciam a ocorrência dos agravos e os desfechos associados, como o absenteísmo e a rotatividade.

Para orientar a leitura, a revisão foi organizada em nove seções temáticas, conforme ilustrado na Figura 1. A primeira seção apresenta o escopo, os objetivos e a estrutura da revisão. A segunda discute a prevalência dos DMRTs e os fatores de

risco ocupacional em ambientes intensivos. A terceira aborda as Medidas de Prevenção e Políticas Regulatórias na Cadeia Produtiva, com foco na eficácia das intervenções. A quarta analisa a influência de Gênero, Faixa Etária e Ocupação na segregação de riscos. A quinta analisa o papel da Automação, Mecanização e Inovação Tecnológica na prevenção ou mitigação de DMRTs, com foco na Automação Humanizada e na integração sociotécnica para a promoção do bem-estar. A sexta detalha as estratégias de Gestão de Recursos Humanos (GRH), Treinamento e Notificação de Agravos (CAT) no controle do absenteísmo. A sétima examina os Marcos Regulatórios Nacionais e o Panorama Internacional. A oitava sintetiza as principais lacunas teóricas e metodológicas identificadas na literatura. Por fim, a nona seção resume os achados iniciais da revisão, que fundamentam as análises subsequentes desta dissertação.



Figura 2 - Estrutura da Revisão Teórica

Ao seguir essa organização, o presente estudo adota uma abordagem integrada, conforme recomendado pelas diretrizes internacionais em saúde do trabalhador, que indicam a necessidade de articular evidências epidemiológicas, análises ergonômicas e avaliações institucionais, além de modelos de governança participativa, para o enfrentamento efetivo das doenças ocupacionais no setor de proteína animal (OSHA, 2023).

2.2 DMRTs: Prevalência e Fatores de Risco em Ambientes de Trabalho Intensivo

A prevalência dos Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) na cadeia produtiva de proteína animal reflete a interação entre demandas físicas elevadas, ritmos de produção intensificados e condições ambientais adversas, como baixas temperaturas e espaços reduzidos (Wu *et al.*, 2021). Essas características estruturais e organizacionais contribuem para agravar a sobrecarga biomecânica dos trabalhadores, especialmente nas regiões dos ombros, punhos e costas, frequentemente afetadas pelas atividades repetitivas (Dias *et al.*, 2020). Historicamente, essa sobrecarga é exacerbada por sistemas de produção desenhados sob uma lógica de automação rígida, que prioriza a cadência das máquinas em detrimento das capacidades fisiológicas e cognitivas dos operadores (Colim *et al.*, 2021; Cunha *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a literatura aponta que a análise da carga de morbidade por doenças musculoesqueléticas deve considerar não apenas as lesões diagnosticadas, mas também o impacto da vigilância epidemiológica na visibilidade desses agravos (Hancharoenkul *et al.*, 2023). O fortalecimento dos sistemas de notificação compulsória é um fator determinante para que o perfil de adoecimento real da categoria emergja nos dados oficiais (WHO/ILO, 2021). O monitoramento sistemático das exposições permite que o setor de saúde pública e as organizações identifiquem grupos de risco específicos, orientando intervenções ergonômicas mais precisas (Andersen *et al.*, 2021). Nesse sentido, Garcia *et al.*, 2022 argumentam que crises sanitárias de grande magnitude, como a pandemia de COVID-19, podem sobrecarregar os serviços de saúde e alterar temporariamente os padrões de

notificação de doenças ocupacionais. Essa instabilidade no fluxo de dados, conforme reforçam Ursachi *et al.* 2021, pode gerar lacunas na detecção precoce de agravos, exigindo uma análise cautelosa de séries históricas que atravessem tais períodos de crise.

A repetitividade nas tarefas, associada à ausência de pausas estruturadas, é amplamente reconhecida como um dos principais fatores predisponentes aos Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho, devido ao acúmulo progressivo de micro traumas nos membros superiores (Bouzigon *et al.*, 2021). Esse efeito se intensifica em contextos produtivos com metas elevadas e ritmo acelerado de execução, que reduzem os mecanismos naturais de recuperação fisiológica entre ciclos de trabalho (Hancharoenkul *et al.*, 2023). Em análises específicas sobre os membros superiores, Minghelli *et al.* (2019) observaram prevalências elevadas de síndrome do túnel do carpo e tendinites em tarefas repetitivas sem alternância de funções. De forma semelhante, Taibi *et al.* (2021) destacam que a ausência de pausas estruturadas agrava a sobrecarga muscular e reduz os mecanismos naturais de recuperação fisiológica.

A exposição prolongada a ambientes frios, característicos de etapas de processamento e armazenagem na cadeia de proteína animal, contribui para o aumento do risco de lesões Musculoesqueléticas devido à redução da flexibilidade articular e da sensibilidade tátil (França *et al.*, 2023). Esse ambiente exige maior esforço físico compensatório durante o manuseio de produtos e ferramentas, elevando a probabilidade de acidentes e fadiga muscular (Januário, 2021). De acordo com Wu *et al.* (2021), a exposição a ambientes de frio extremo provoca respostas fisiológicas que reduzem a sensibilidade tátil e a destreza manual. Tirloni *et al.*, 2024, complementam que essa perda de sensibilidade, especialmente no uso de ferramentas como a faca, obriga o trabalhador a aplicar uma força de preensão excessiva, acelerando a fadiga neuromuscular e o risco de lesões em membros superiores. Nesse sentido, a revisão sobre a instrumentação de ferramentas manuais em frigoríficos demonstra que a força de corte varia significativamente entre os trabalhadores, sendo drasticamente aumentada pela perda de afiação da lâmina, o que intensifica o início da fadiga (Tirloni *et al.*, 2021). Isso exige que as intervenções de engenharia considerem a variabilidade biomecânica ao longo da jornada e a

influência de fatores ambientais, como o frio, na saúde do operador (Tirloni *et al.*, 2021).

A inadequação das bancadas e do mobiliário é apontada como fator relevante para a ocorrência de posturas forçadas e desconforto prolongado, aumentando a carga biomecânica sobre os segmentos corporais (Bispo *et al.*, 2022). Observa-se que espaços restritos e a má organização das ferramentas obrigam os trabalhadores a realizar movimentos de alcance excessivo, elevando o risco de tendinites e bursites (Fundacentro, 2023).

A manutenção inadequada das ferramentas e máquinas contribui para o aumento dos esforços físicos necessários durante a execução das tarefas, pois equipamentos desgastados ou desregulados exigem maior força manual e compensações posturais (Ricco *et al.*, 2017). Esse cenário é frequentemente associado a quadros de dor crônica e limitação funcional, dificultando a continuidade das atividades laborais e aumentando o risco de afastamentos prolongados (Ghasemi *et al.*, 2020). Para mitigar esses esforços compensatórios, a literatura recente propõe a transição para tecnologias assistivas e sistemas colaborativos, capazes de reduzir a carga física e o risco musculoesquelético em tarefas de corte altamente repetitivas (Cunha *et al.*, 2022; Maithani *et al.*, 2021; Romanov *et al.*, 2022). Reis *et al.* (2015) concluíram que a maioria dos trabalhadores de frigoríficos está exposta a riscos ergonômicos decorrentes de movimentos repetitivos, apresentando maior probabilidade de desenvolver distúrbios musculoesqueléticos nos membros superiores, especialmente em tarefas classificadas com risco moderado ou elevado.

O esforço físico contínuo necessário para o manuseio de peças pesadas e para o desempenho de atividades em altura inadequada eleva o risco de sobrecarga na coluna lombar e nas articulações dos membros inferiores (WHO e ILO, 2021). Esse esforço exacerbado contribui para quadros de dor lombar crônica. (Greggi *et al.*, 2024). Márquez Gómez (2020) destaca que os Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho possuem uma natureza multifatorial, resultante da combinação de variáveis físicas, psicossociais e pessoais, as quais proporcionam previsões mais precisas do que análises realizadas de forma isolada.

Os fatores psicossociais, como alta demanda por produtividade, baixa autonomia decisória e supervisão intensiva, atuam como elementos que potencializam o impacto

dos riscos ergonômicos, agravando a percepção de fadiga e o risco de acidentes (Taibi *et al.*, 2021). Nesse sentido, a adoção de tecnologias vestíveis e algoritmos de *machine learning* permite uma avaliação rápida e precisa que os sistemas observacionais tradicionais têm dificuldade em prover de forma contínua, automatizando a detecção de posturas de risco e da perda de afiação das ferramentas ao longo da jornada (Villalobos & Mac Cawley, 2022). Variáveis psicossociais e organizacionais, como apoio social, possibilidades de desenvolvimento, estima, falta de autonomia, insegurança e dupla presença, são apontadas como preditoras relevantes, assim como características individuais, como índice de massa corporal, hábitos de tabagismo, prática de atividades físicas, histórico médico e tempo de trabalho (Márquez Gómez, 2020).

A combinação de repetitividade elevada, esforço físico contínuo, ambiente frio, manutenção inadequada e fatores psicossociais estabelece um quadro de vulnerabilidade à saúde musculoesquelética na cadeia produtiva de proteína animal (Wu *et al.*, 2021). Esse contexto evidencia a necessidade de intervenções integradas que contemplem ajustes ergonômicos, reorganização das tarefas e estratégias de mitigação da sobrecarga repetitiva para prevenir o agravamento das DMRTs (Bouzigon *et al.*, 2021). Christiansen *et al.*, (2022) indicam que os elementos culturais do clima de saúde musculoesquelética são relevantes para a compreensão tanto da dor musculoesquelética quanto do absenteísmo por doença, ressaltando a necessidade de investigações adicionais com foco em estratégias preventivas. Consequentemente, a evolução para a Indústria 5.0 demanda uma abordagem sociotécnica, unindo as tecnologias de avaliação de risco em tempo real à inclusão dos trabalhadores, com vistas a estabelecer uma verdadeira simbiose humano-máquina em fábricas socialmente sustentáveis (Cardoso *et al.*, 2021; Romero *et al.*, 2020). Diante desse cenário multifatorial de risco, a literatura converge em torno da necessidade de estratégias sistematizadas de prevenção, que serão discutidas na seção seguinte.

2.3 Medidas de Prevenção e Políticas Regulatórias na Cadeia Produtiva

A literatura indica que as estratégias preventivas mais eficazes no enfrentamento dos Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) envolvem a combinação de componentes ergonômicos, organizacionais e regulatórios. No entanto, apesar da solidez normativa estabelecida por instrumentos como as Normas Regulamentadoras brasileiras, diversos estudos apontam que sua efetividade depende menos da existência das regras do que da cultura organizacional que condiciona sua implementação prática (WHO, 2021; OSHA, 2023). Nesse contexto, intervenções como pausas programadas, rodízio de funções e ajustes nos postos de trabalho mostram resultados positivos quando articuladas com mecanismos de participação dos trabalhadores e com o comprometimento gerencial (Bouzigon *et al.*, 2021). Nessa perspectiva, Benson *et al.*, (2023) reforçam que intervenções direcionadas ao ambiente de processo têm um impacto direto e positivo na tríade saúde, segurança e ambiente. Complementarmente, a literatura destaca que a eficácia dessas intervenções exige uma abordagem sociotécnica, integrando o sensoramento de riscos em tempo real por meio de tecnologias vestíveis (Villalobos & Mac Cawley, 2022) à governança participativa, o que legitima a percepção do trabalhador e permite ajustes dinâmicos no posto de trabalho (Bispo & Amaral, 2024; Colim *et al.*, 2021).

A adoção de medidas preventivas fundamentadas em ergonomia é uma estratégia central para reduzir os riscos de distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho (DMRTs) na cadeia produtiva de proteína animal, considerando os desafios físicos e ambientais impostos em diferentes etapas produtivas (Wu *et al.*, 2021). Segundo Sundstrup *et al.* (2020), os resultados das intervenções não dependem exclusivamente de sua eficácia intrínseca, mas também da estratégia de implementação, que envolve o planejamento e a integração da intervenção à organização e à cultura do trabalho. Os autores destacam que é desafiador transferir intervenções altamente controladas e cuidadosamente planejadas para a prática, uma vez que, na realidade, a gestão e não o pesquisador, controla a implementação, em um contexto marcado por sistemas de produção e fluxos de trabalho dinâmicos e mutáveis.

A implementação de um rodízio de tarefas estruturado, com base em critérios técnicos e análise ergonômica, reduz a exposição prolongada a movimentos repetitivos e previne a sobrecarga de segmentos corporais específicos, como ombros e punhos (Hancharoenkul *et al.*, 2023). Essa prática é considerada uma das intervenções mais eficazes para a cadeia produtiva, especialmente nas etapas de maior intensificação física (Ricco *et al.*, 2017). Segundo Tirloni *et al.* (2019), a prevenção de distúrbios musculoesqueléticos dos membros superiores relacionados ao trabalho exige novas abordagens no redesenho de postos, bem como métodos de avaliação que considerem, de forma integrada, a realização de movimentos repetitivos e de esforços físicos intensos. Neste contexto, a transição para a automação humanizada surge como uma medida preventiva de engenharia superior para os riscos biomecânicos, pois permite que sistemas colaborativos assumam as tarefas de maior repetitividade, transformando o papel do operador em uma função de supervisão técnica (Cunha *et al.*, 2022; Islam *et al.*, 2025). Segundo Luger *et al.* (2019), atualmente faltam evidências confiáveis para determinar se pausas adicionais ou de tipos distintos são eficazes na prevenção de sintomas ou distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho. Os autores apontam que a ausência de estudos robustos impede a obtenção de conclusões definitivas quanto à efetividade dessas intervenções.

A adoção de pausas programadas, definidas por parâmetros técnicos de ergonomia, promove a recuperação fisiológica e reduz o acúmulo de fadiga muscular, sendo associada à diminuição dos índices de absenteísmo e afastamentos prolongados (Greggi *et al.*, 2024). A efetividade dessas pausas depende da garantia de sua aplicação prática, mesmo sob condições de alta demanda produtiva (Jackson *et al.*, 2023). Segundo Sears *et al.* (2021), melhorias no ambiente de trabalho beneficiam todos os trabalhadores, independentemente de apresentarem ou não alguma deficiência, promovendo um ambiente mais seguro e inclusivo. No caso do desconforto no ombro, Márquez Gómez (2020) identificou que a sobrecarga postural, os movimentos repetitivos, as demandas psicológicas e o tempo de permanência na mesma função constituem o subconjunto de variáveis com maior poder preditivo, confirmando o caráter multicausal dos distúrbios musculoesqueléticos nesse setor.

Outra medida relevante é a incorporação de equipamentos mecânicos auxiliares, como elevadores, esteiras e trilhos para movimentação de cargas, reduzindo o

esforço manual direto e prevenindo lesões por sobrecarga física (Taibi *et al.*, 2021). Para além dos dispositivos mecânicos convencionais, a introdução de tecnologias assistivas foca na redução da carga física e mitigação da fadiga neuromuscular em postos de alta criticidade (Cardoso *et al.*, 2024). Contudo, a integração desses sistemas ciberfísicos exige um design centrado no humano para evitar que o alívio biomecânico se converta em novas sobrecargas cognitivas (Bispo & Amaral, 2024; Cunha *et al.*, 2022). Esses dispositivos são recomendados para minimizar os riscos associados ao manuseio de produtos pesados ou volumosos (Fundacentro, 2023). Os trabalhadores entrevistados por Sears *et al.* (2021) sugeriram melhorias relacionadas à organização do trabalho, aos arranjos e às condições laborais, bem como à segurança e ao clima organizacional. Entre as sugestões destacadas, os trabalhadores mencionaram a necessidade de adequar a carga de trabalho, melhorar a distribuição de tarefas, reduzir o ritmo de produção, aumentar o quadro de pessoal, limitar horas extras, aprimorar a gestão, flexibilizar os horários, implementar rodízio de funções, disponibilizar mobiliário ergonômico, incluir pausas regulares na jornada e alterar a remuneração de e comissão por hora (Sears *et al.*, 2021). Com base nas evidências empíricas disponíveis, os principais benefícios esperados das medidas preventivas mais frequentes na literatura são sintetizados na Tabela 6. A consolidação das políticas preventivas na cadeia produtiva exige, portanto, a articulação entre regulamentações, gestão organizacional e práticas operacionais adaptadas. Evidências reforçam que investimentos em treinamento, participação ativa dos trabalhadores e fiscalização efetiva são essenciais para garantir a aplicabilidade e continuidade das ações preventivas no setor. Ademais, a sustentabilidade dessas intervenções depende da comprovação da viabilidade econômica e rentabilidade dos processos (Benson *et al.*, 2024; Dutra *et al.*, 2024), para que a transição tecnológica atue como vetor de revalorização dos ofícios, atraindo e retendo trabalhadores qualificados frente à escassez de mão de obra (Maithani *et al.*, 2021).

Tabela 6 - Síntese dos benefícios esperados das principais medidas preventivas

Medida Preventiva	Benefício Esperado
Rodízio de Tarefas	Redução da sobrecarga repetitiva
Pausas Programadas	Diminuição da fadiga muscular
Análise Ergonômica	Identificação e correção de riscos
Ajustes de Postos	Melhoria da postura e conforto físico
Equipamentos Auxiliares	Redução do esforço físico direto
Automação Humanizada	Mitigação de sobrecarga biomecânica e cognitiva via sistemas colaborativos

Fonte: Elaboração própria, com base nas normativas regulamentadoras e literatura técnico-científica nacional e internacional sobre prevenção de riscos ocupacionais.

A próxima seção aprofunda como esses riscos são distribuídos de forma desigual, examinando a segregação e as disparidades de exposição por gênero e faixa etária.

2.4 Gênero, Faixa Etária e a Segregação de Riscos Ocupacionais

A distribuição dos Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) no ambiente intensivo da cadeia produtiva de proteína animal não é homogênea, sendo modulada por fatores sociodemográficos e organizacionais. Nesse cenário, nota-se que as disparidades de gênero no adoecimento ocupacional refletem, muitas vezes, a divisão sexual do trabalho dentro das plantas industriais. Conforme sugerem França *et al.* (2023), as mulheres são frequentemente alocadas em postos de trabalho que exigem maior precisão e alta repetitividade, o que pode explicar a maior incidência de lesões nos membros superiores observada em algumas pesquisas. A divisão de gênero no trabalho confina as mulheres a atividades com maior pressão de tempo, rotina e repetição de tarefas, grandes causadoras de incapacitações e doenças profissionais. Rosado *et al.* (2024) observaram que, em tarefas simuladas de corte de carne, a aceleração angular máxima do úmero foi maior entre mulheres do que entre homens. Reis *et al.* (2015) relataram maior porcentagem de dor (coluna, braços, punhos/mãos) em mulheres comparadas a homens expostos a tarefas repetitivas idênticas no setor de desossa de suínos. Ricco *et al.* (2017)

identificaram que o diagnóstico de Síndrome do Túnel do Carpo foi associado, especificamente em mulheres, a gestações anteriores e terapias hormonais. Serranheira et al. (2009) notaram que a Síndrome do Canal Cárpico foi a patologia mais prevalente e mais frequente no sexo feminino. Conforme observado por Paramasivam et al. (2024) e corroborado por Zinn (2022), essas disparidades não decorrem apenas de fatores fisiológicos, mas de falhas no projeto do sistema de trabalho, que assume o corpo masculino como padrão e não considera as variações das dimensões físicas e a carga ergonômica diferenciada entre os sexos. Esse cenário reflete a predominância de sistemas de automação rígidos que impõem ritmos padronizados (Mason et al., 2021), sem a devida adaptação à diversidade antropométrica da força de trabalho (Colim et al., 2021).

França et al. (2023) apontam que a vulnerabilidade musculoesquelética entre mulheres também se deve às características fisiológicas e aos papéis sociais acumulados. Complementarmente, investigações recentes em grandes bases de dados, como a de Paramasivam et al. (2024), ressaltam a importância de analisar como as mudanças nas práticas de notificação podem influenciar a percepção do risco entre os gêneros, revelando padrões de vulnerabilidade antes subnotificados. Mohammed et al. (2018) destacaram que fatores psicossociais, como a pressão por produtividade e a falta de suporte no ambiente de trabalho, afetam mais intensamente as mulheres, agravando os quadros de DMRTs. Kwon (2020) salienta que a segregação de gênero no mercado de trabalho, com disparidades de poder e status, é condicionada pelos contextos culturais e políticos de cada sociedade. Sob essa ótica, Zinn e Hofmeister (2022) defendem que a segregação ocupacional é acompanhada por uma carga mental diferenciada, onde a pressão industrial se soma às responsabilidades domésticas. Como apontado por Lund et al. (2019), essa dupla jornada atua como um fator psicossocial que pode reduzir o tempo de recuperação biológica das trabalhadoras, tornando-as mais suscetíveis a processos inflamatórios crônicos. Como consequência, a implementação de sistemas que ignoram a perspectiva de gênero atua como um vetor de ampliação das desigualdades. Esse impacto é desproporcionalmente sentido em postos de alta repetitividade ocupados por mulheres, onde a invisibilidade de suas demandas exacerba o adoecimento e a precarização do trabalho (Cunha et al., 2022; Zinn, 2022).

No contraste com a concentração de DMRTs por repetitividade em mulheres, os trabalhadores do gênero masculino enfrentam riscos distintos associados à natureza das funções que majoritariamente ocupam. Sompan *et al.* (2024) apontaram maior autorrelato de dor musculoesquelética entre mulheres, mesmo em funções semelhantes às dos homens. Slade e Alleyne (2023) observaram que homens estavam mais expostos a atividades de força e receberam mais Equipamentos de Proteção Individual (EPI). Nascimento *et al.* (2018) ressaltam que construções sociais associadas à feminilidade influenciam tanto a percepção quanto a comunicação da dor, favorecendo o maior número de relatos entre mulheres. Zinn e Hofmeister (2022) argumentam que a ordem de gênero estabelecida contribui para que muitas indústrias e ocupações se tornem fortemente segregadas por gênero, como observado em setores dominados por homens, como o processamento de carne.

Fatores demográficos, como a faixa etária são variáveis modificadoras que influenciam o perfil de adoecimento e a capacidade funcional do trabalhador, demandando uma análise detalhada, conforme apontam. Monteiro *et al.* (2025) identificaram que trabalhadores acima de 40 anos apresentaram associação moderada com maior incapacidade e um alto efeito em durações mais longas de afastamento por doença. Lee *et al.* (2023) constataram que participantes mais velhos que 40 anos tiveram mais chances de desenvolver dor na parte superior das costas do que os com 25 anos ou menos. Waithaka *et al.* (2017) apontam que existe uma associação entre tempo de serviço e a ocorrência de dor geral entre os trabalhadores. Heidari *et al.* (2019) observaram que o risco de Distúrbios Musculoesqueléticos aumenta significativamente com os anos de experiência profissional. Silva *et al.* (2022) indicaram que trabalhadores com 40 anos ou mais apresentaram menor probabilidade de retorno ao trabalho após afastamentos por DMRTs. Archer *et al.* (2024) incluíram o tipo de emprego e a idade como preditores relevantes para a previsão de absenteísmo e presenteísmo em 6 meses. Na perspectiva da Indústria 5.0, a adoção de tecnologias assistivas visa mitigar o desgaste físico de forma centrada no humano (Islam *et al.*, 2025). Consequentemente, a redução da capacidade funcional associada ao avanço da idade reforça a necessidade desses sistemas para compensar as restrições físicas, apoiando a diversidade demográfica e a saúde de trabalhadores mais velhos (Colim *et al.*, 2021). Entretanto, alguns estudos mostram que essas variáveis não são sempre preditivas. Andersen *et al.*

(2021) demonstraram que o aglomerado de exposição ergonômica não interagiu com a idade ou o gênero no desenvolvimento da dor. Biswas *et al.* (2022) relataram que a maioria dos estudos que examinaram exposições psicológicas não identificou diferenças de risco entre homens e mulheres. Hulshof *et al.* (2021) demonstraram que a prevalência de exposição ocupacional a fatores de risco ergonômico não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os sexos.

Esses resultados ambíguos sublinham a complexidade da interação entre as dimensões sociodemográficas e a gestão dos riscos ocupacionais. Neste contexto, a evolução tecnológica da cadeia produtiva, marcada pela automação e mecanização, constitui um eixo fundamental de análise para compreender como a inovação pode reconfigurar os riscos ergonômicos e atuar como ferramenta de prevenção contra as desigualdades de exposição. Nesse contexto, a transição para sistemas ciberfísicos permite integrar a coleta de dados de saúde do operador ao controle do processo. Essa arquitetura viabiliza uma gestão dinâmica da carga de trabalho, ajustando os ciclos produtivos e o comportamento das máquinas em tempo real para mitigar a fadiga (Cardoso *et al.*, 2021; Gualtieri *et al.*, 2021).

2.5 Tecnologia e Mudança no Processo Produtivo

A evolução tecnológica na cadeia produtiva, marcada pela automação e mecanização, constitui um eixo fundamental de análise para compreender como a inovação pode reconfigurar os riscos ergonômicos e atuar como ferramenta de prevenção contra as desigualdades de exposição.

2.5.1 Mitigação de Riscos e Benefícios Ergonômicos

A busca por soluções para os desafios ergonômicos crônicos em ambientes intensivos tem impulsionado a adoção de tecnologias automatizadas. Colim *et al.* (2020) indicam que a adoção de auxílios robóticos pode reduzir o risco de DMRTs. Lowe *et al.* (2022) observaram que sistemas automatizados apresentaram maiores benefícios na redução de fatores de risco nas costas e nas pernas, devido à redução

da flexão e do levantamento. Moura *et al.* (2019) destacam que cobots melhoram a segurança, a qualidade, a produtividade e a ergonomia, automatizando atividades repetitivas e monótonas. Cardoso *et al.* (2021) afirmam que a ergonomia física lida com a redução da carga de trabalho biomecânica usando Cobots. Colim *et al.* (2021) demonstraram que o braço robótico colaborativo reduziu milhares de movimentos manuais do operador. Lowe *et al.* (2022) ressaltam que os robôs industriais eliminaram os fatores de risco de lesões por movimentos repetitivos. Colim *et al.* (2021) observaram ainda que a postura do punho melhorou significativamente (20 a 45%) em tarefas assistidas por robôs. Moura *et al.* (2019) apontam que os robôs podem ser instalados em operações monótonas, desconfortavelmente repetitivas. Esper *et al.* (2021) afirmam que a indústria busca a tecnologia como solução para a escassez global de mão de obra devido aos riscos de lesões. Essa busca converge para as diretrizes da Indústria 5.0, cenário no qual a automação transcende a mera eficiência produtiva para colocar a sustentabilidade social e o bem-estar do trabalhador no centro das operações, por meio de tecnologias assistivas que se adaptam à variabilidade e às necessidades humanas (Erp *et al.*, 2024; Islam *et al.*, 2025).

A transição da Indústria 4.0 para a 5.0 redefine a relação entre tecnologia e capital humano, priorizando a colaboração em vez da substituição. Sob a ótica da Indústria 5.0, Islam *et al.* (2025) argumentam que as inovações tecnológicas devem estar subordinadas à criatividade e às necessidades humanas, consolidando um ambiente produtivo de alta capacidade de adaptação e de responsabilidade social. Nessa conjuntura, a colaboração humano-máquina passa a atuar como um vetor proativo de saúde e segurança, absorvendo as cargas ergonômicas críticas. Contudo, para que a centralidade no indivíduo não se restrinja ao plano teórico, os novos arranjos produtivos exigem a aplicação da Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV). Conforme atestado por Valente *et al.* (2020), o uso da ASCV é a métrica fundamental para monitorar e comprovar que a automação promove, efetivamente, a melhoria das condições de trabalho em relação aos modelos operacionais convencionais.

Nesse sentido, a literatura recente destaca que a robótica avançada não apenas substitui o esforço físico, mas também introduz precisão cirúrgica no processamento de carcaças, eliminando a necessidade de correções posturais bruscas por parte do

operador (Hinrichsen, 2010). Adicionalmente, a implementação de sistemas robóticos em etapas críticas, como o corte primário, permite que o trabalhador humano seja deslocado para funções de supervisão, reduzindo drasticamente a exposição a vibrações e ferramentas cortantes (Kim *et al.*, 2023).

2.5.2 Barreiras, Limitações e Desafios de Implementação

A adoção da automação no setor de proteína animal enfrenta desafios que vão além do mero acesso tecnológico. A viabilidade da transição é inicialmente contida por barreiras econômicas, visto que o alto custo de investimento, somado à baixa marginalidade do setor e à ausência de soluções prontas para o processamento secundário, exclui produtores de pequeno e médio porte (Mason *et al.*, 2021; Romanov *et al.*, 2022). Contudo, a principal limitação reside na inflexibilidade dos sistemas de automação frente à natureza da matéria-prima. Como a carne vermelha é um material natural, deformável e com alta variabilidade biométrica, os robôs convencionais, de base puramente técnica, falham na sua manipulação (Aly *et al.*, 2023). Por essa razão, os sistemas de corte inteligente ainda não conseguem superar o desempenho, a velocidade e a precisão de trabalhadores humanos qualificados ao lidar com carcaças irregulares (Sun *et al.*, 2025).

Outro desafio reside na necessidade de sistemas de visão computacional extremamente rápidos e precisos, capazes de lidar com a variabilidade biológica dos animais, que exigem ajustes em tempo real que sistemas de automação rígidos ainda têm dificuldade em processar (Kim *et al.*, 2023). Essa limitação técnica reforça a ideia de que a automação no setor de proteínas deve ser vista como uma evolução incremental, e não como uma substituição total e imediata da perícia humana (Hinrichsen, 2010).

2.5.3 Novos Riscos e Impacto Psicossocial da Automação

A automação pode introduzir formas distintas de sobrecarga, deslocando o risco do plano físico para o cognitivo e organizacional. Dias *et al.* (2020) observaram que,

em 68% das tarefas, o ritmo de trabalho é completamente determinado por máquinas. Colim *et al.* (2020) ressaltam que fatores de risco remanescentes ainda estão presentes, como postura inadequada do sistema mão e punho, e repetitividade. Marzoque *et al.* (2025) apontam que jornadas de trabalho maiores ou iguais a 6 horas levam a um alto risco de agravamento de DMRTs. Kim *et al.* (2023) destacam que sistemas de Realidade Aumentada (RA), embora úteis para otimizar o processo de desgorduramento manual, podem acarretar risco psicossocial, causando desorientação ou tontura no trabalhador após uso prolongado. Adicionalmente, a transição para modelos de Indústria 5.0 levanta questões sobre o humanocentrismo. Conforme discutem Cunha *et al.* (2022), a interação constante com robôs colaborativos (cobots) pode gerar pressão cognitiva decorrente da necessidade de monitoramento contínuo, o que exige que as estratégias de design tecnológico priorizem o bem-estar mental e a satisfação no trabalho, a fim de evitar novas formas de estresse ocupacional (Leso *et al.*, 2018). Entre esses riscos emergentes, destaca-se o technostress, resultante da pressão exercida por ritmos automatizados e pela interação constante com a complexidade digital (Bispo & Amaral, 2024; Costantino *et al.*, 2021). Ademais, a literatura adverte que a mitigação do esforço físico não garante o bem-estar ocupacional se o redesenho do posto negligenciar a ergonomia cognitiva e a nova carga mental do operador (Cunha *et al.*, 2022; Gualtieri *et al.*, 2021).

2.5.4 Custo-Benefício, ROI e Implicações na Força de Trabalho

O potencial da tecnologia estende-se à gestão da força de trabalho e ao retorno sobre o investimento, promovendo a equidade e a requalificação profissional. Santos *et al.* (2021) mostram que a automação industrial em frigoríficos brasileiros demonstrou retorno sobre o investimento mensurável, como evidenciado pelo crescimento constante da rentabilidade do processo de mocotó após a introdução de uma máquina automatizada. Corroborando essa viabilidade econômica no cenário nacional, Dutra *et al.* (2024) comprovam, por meio de simulações financeiras e de Monte Carlo, que a mecanização da colheita de aves apresenta Valor Presente Líquido (VPL) positivo, embora alertem que o tempo de recuperação do capital (Payback) é altamente sensível às flutuações cambiais e aos custos de combustíveis. Moura *et al.* (2019) afirmam que a implementação de robôs colaborativos em tarefas

rotineiras e repetitivas se traduz em retorno econômico direto, visto que reduz os custos operacionais e aumenta o uptime ao minimizar paradas não planejadas decorrentes de erros humanos. De forma complementar, Benson *et al.* (2023) destacam que o sucesso de intervenções no setor de processos está diretamente ligado à capacidade de integrar novas tecnologias com práticas de segurança robustas, resultando em ambientes laborais mais resilientes e produtivos.

Romanov *et al.* (2022) concluem que a robótica colaborativa representa uma alternativa compacta e custo-eficaz em comparação com maquinário mais antigo. Essa transição para sistemas baseados em células flexíveis democratiza o acesso à automação ao oferecer uma escalabilidade econômica previsível, mitigando o risco financeiro e viabilizando a adoção tecnológica em frigoríficos de pequeno e médio porte. Maithani *et al.* (2021) afirmam que a evolução tecnológica no setor de carnes tem potencial para revalorizar os ofícios e abrir atividades antes predominantemente masculinas, favorecendo a inclusão de mulheres no setor. Para além do retorno financeiro imediato, a humanização da automação por meio da robótica pode atuar como um diferencial estratégico na retenção de talentos e na redução do turnover. Ao mitigar os riscos de lesões incapacitantes, a tecnologia permite que trabalhadores mais experientes e qualificados permaneçam por mais tempo no setor, preservando o capital intelectual da empresa e promovendo um ambiente de trabalho mais sustentável e inclusivo (Benson *et al.*, 2023). Desmistificando o temor do desemprego em massa, Filomena e Principe (2025) evidenciam empiricamente que a adoção de robôs industriais gera um efeito de realocação protetiva: à medida que as máquinas assumem as atividades de maior risco e exigência física, os trabalhadores são transferidos para funções de supervisão, preservando a empregabilidade mediante um redesenho mais seguro do trabalho.

Neste cenário, o sucesso da implementação tecnológica depende da demonstração do seu desempenho social (Valente *et al.*, 2023). Essa comprovação, quando sustentada por abordagens ergonômicas participativas (Colim *et al.*, 2021), assegura que a tecnologia atue, de fato, como um fator de retenção de talentos e valorização do ofício (Maithani *et al.*, 2021). Contudo, a literatura adverte que, para garantir o sucesso dessa sinergia humano-máquina a longo prazo, as organizações deverão assumir novos custos focados em educação continuada e requalificação (*upskilling* e *reskilling*), preparando a força de trabalho para lidar com as novas

demandas cognitivas e de resolução de problemas exigidas pela Indústria 5.0 (Bispo & Amaral, 2024; Islam *et al.*, 2025).

2.6 Gestão, Prevenção e Monitoramento (RH/Treinamento)

Apesar do potencial mitigador da tecnologia e da existência de marcos regulatórios robustos, a prevenção eficaz e a gestão dos riscos estruturais na cadeia produtiva dependem fundamentalmente das estratégias de Recursos Humanos e de um monitoramento ativo do absenteísmo e das notificações de agravos. Nesta perspectiva, a gestão de pessoas deve transitar de um modelo puramente administrativo para uma estratégia voltada à preservação do capital humano, focada na resiliência do sistema produtivo diante das inovações tecnológicas (Valente *et al.*, 2020; Bispo & Amaral, 2024). Nesse sentido, o monitoramento ativo do absenteísmo e das notificações de agravos ganha uma nova dimensão com o advento da Indústria 4.0. Estudos recentes focados em frigoríficos brasileiros demonstram que a aplicação de mineração de dados e algoritmos de machine learning sobre os registros de afastamento médico e notificações de DORT permite prever o risco de agravamento dessas lesões. Essa abordagem transforma a gestão de saúde ocupacional de um modelo reativo para um modelo preditivo, viabilizando intervenções precoces e personalizadas para trabalhadores de alto risco (Marzoque *et al.*, 2025).

2.6.1 Absenteísmo e o Impacto Funcional dos DMRTs

O absenteísmo decorrente dos Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) na cadeia produtiva de proteína animal representa um fator crítico, cujos impactos extrapolam o campo da saúde do trabalhador, afetando diretamente a produtividade empresarial e a gestão da força de trabalho, conforme detalhado nos tópicos subsequentes. Estudos reforçam que o impacto econômico dessas ausências transcende as fronteiras da empresa, afetando o Produto Interno Bruto (PIB) e sobrecarregando os sistemas públicos de seguridade social (WHO/ILO, 2021). Aarstad e Kvitastein (2023) mencionam que o absenteísmo pode reduzir o

desempenho organizacional, em função da perda de habilidades ou de experiência, e que as empresas podem necessitar de uma força de trabalho maior para substituir os empregados ausentes.

Serranheira, Uva e Espírito-Santo (2009) destacam que os Distúrbios Musculoesqueléticos ligados ao trabalho são de natureza multifatorial e complexa, o que reforça a necessidade de estratégias preventivas integradas que considerem simultaneamente a natureza das atividades desempenhadas e as condições ambientais a que os trabalhadores estão expostos. Essa realidade obriga a redistribuição de tarefas entre os trabalhadores presentes, elevando a sobrecarga física e aumentando o risco de novos afastamentos (Andersen *et al.*, 2021). Segundo Marra, Cohen e Cardoso (2019), a intensificação do trabalho nos frigoríficos, impulsionada pela lógica de acumulação capitalista e do agronegócio, resulta diretamente no desgaste e adoecimento dos trabalhadores, evidenciando a exploração inerente a esse modo de produção.

Segundo Gregg *et al.* (2024), os distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho estão associados a altos custos para os empregadores, como absenteísmo, perda de produtividade e aumento dos custos com saúde, invalidez e compensação de trabalhadores.

Christiansen *et al.* (2022) abordam o absenteísmo, mais especificamente a licença médica por doença, como um dos principais desfechos investigados em seu estudo, buscando verificar se o clima de saúde musculoesquelética estaria associado ao número de locais de dor e ao absenteísmo. Os resultados indicaram que escores mais altos de prioridade percebida pela gestão em relação à saúde musculoesquelética estão associados a menor absenteísmo por doença (mais de cinco dias).

Adicionalmente, Schram *et al.* (2020) investigaram a influência das mudanças nas condições de trabalho sobre a saída do emprego remunerado entre trabalhadores com doenças crônicas, buscando compreender se múltiplas alterações nas condições de trabalho teriam um efeito combinado nesse desfecho. Concluíram que tais mudanças impactam significativamente a saída do emprego, sendo que melhorias nas condições físicas podem reduzir esse risco, enquanto a deterioração das condições físicas e psicossociais tende a aumentá-lo, especialmente quando

múltiplas mudanças adversas ocorrem simultaneamente, o que amplia consideravelmente o risco. Por outro lado, a implementação de tecnologias assistivas que reduzem o esforço físico e a carga cognitiva pode atuar como fator de proteção, minimizando a saída prematura de trabalhadores qualificados do mercado de trabalho (Islam *et al.*, 2025).

Nesse cenário, Archer *et al.* (2024) reforçam que a idade e o tipo de ocupação são preditores fundamentais para a previsão de absenteísmo em ciclos de seis meses. Trabalhadores em funções de alta repetitividade, como na desossa, tendem a apresentar períodos mais longos de afastamento, o que compromete a estabilidade das linhas de produção e exige estratégias de retenção mais robustas para evitar a perda de capital intelectual (Silva *et al.*, 2022).

No setor de processamento de aves, a magnitude desse problema é alarmante: estudos recentes apontam que até 83% dos operadores relatam algum grau de incapacidade laboral decorrente de dores nos membros superiores (Hancharoenkul *et al.*, 2024). Como resultado, o absenteísmo em setores críticos, como as salas de desossa, pode atingir 20% da força de trabalho (Mason *et al.*, 2021). Para mitigar essa saída prematura, a implementação de tecnologias assistivas surge como fator de proteção vital (Islam *et al.*, 2025). Ademais, exige-se das empresas a adoção de estratégias de automação e de governança que retenham esses talentos e evitem a perda contínua de capital intelectual (Benson *et al.*, 2024; Maithani *et al.*, 2021).

2.6.2 Notificação de Agravos: CAT e Vigilância Epidemiológica

A Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) é um documento legal obrigatório, previsto na Lei nº 8.213/1991, que formaliza o reconhecimento do acidente ou da doença ocupacional e constitui pré-requisito para que o trabalhador tenha acesso ao benefício previdenciário de natureza acidentária. Empresas da cadeia produtiva de proteína animal, por operarem em atividades classificadas como de médio ou alto risco, estão sujeitas a um número elevado de emissões de CAT (Fundacentro, 2023). A omissão ou o atraso na emissão da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) configura infração prevista no art. 22 da Lei nº 8.213/1991 e regulamentada pelo art.

286 do Decreto nº 3.048/1999, sujeitando a empresa a penalidades administrativas e potenciais passivos trabalhistas.

O correto enquadramento na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) é fundamental para determinar o grau de risco das atividades da empresa, conforme previsto na legislação previdenciária. Na cadeia produtiva de proteína animal, a CNAE frequentemente indica atividades de risco médio ou alto, refletindo a exposição a agentes mecânicos, movimentos repetitivos e cargas físicas elevadas (Fundacentro, 2023). O alinhamento entre registros administrativos, controle de saúde do trabalhador e enquadramento fiscal é essencial para a sustentabilidade financeira da organização (Fundacentro, 2023).

A relevância da vigilância epidemiológica na saúde do trabalhador é reforçada por plataformas de gestão de conhecimento como a iniciativa SmartLab de Trabalho Decente, uma ferramenta conjunta do Ministério Público do Trabalho (MPT) e da Organização Internacional do Trabalho (OIT). No âmbito do Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (OSST), o SmartLab compila e trata dados do INSS e do SINAN (a mesma base de dados utilizada nesta dissertação) para monitorar a incidência de acidentes e doenças ocupacionais. A Iniciativa demonstra que a subnotificação é um problema crônico e que a existência de informações específicas é um pré-requisito para o desenho de políticas públicas eficazes de promoção do trabalho decente. Nesse contexto, vale notar que eventos globais podem mascarar tais indicadores; Garcia *et al.* (2022) observaram, por exemplo, que a pandemia de COVID-19 gerou uma queda artificial nas notificações de DMRTs devido à sobrecarga dos sistemas de saúde. Em contrapartida, o ano de 2022 representou um marco temporal importante no Brasil. A atualização das listas de notificação compulsória e a inclusão de protocolos mais rigorosos para agravos ocupacionais, como a utilização do código Z57, permitiram que o perfil real de adoecimento emergisse com maior clareza, corrigindo lacunas históricas de subnotificação (Brasil, 2022). A eficácia dessa vigilância depende, contudo, de modelos de governança participativa (Bispo & Amaral, 2024; Colim *et al.*, 2021) que incentivem a transparência epidemiológica e integrem o sensoriamento de dados em tempo real (Villalobos & Mac Cawley, 2022) às percepções de saúde do próprio trabalhador.

Esse cenário de subnotificação é particularmente crítico no setor de frigoríficos brasileiro. Estudos recentes utilizando bases governamentais atestam que a falta de registros é um desafio crônico, impulsionado tanto pela resistência organizacional das empresas, na tentativa de evitar multas e penalidades, quanto pelo medo de represálias por parte dos trabalhadores (Marzoque *et al.*, 2025). Essa realidade corrobora a tendência apontada por Matias e Moreira (2021) de práticas inadequadas de segurança, manifestas pela subutilização das Comunicações de Acidente de Trabalho (CATs) obrigatórias. Para reverter esse quadro, Ursachi *et al.* (2022) recomendam a adoção de regulamentos específicos que garantam segurança financeira e psicológica, dissipando o medo do desemprego, que figura como a principal barreira para que os trabalhadores declarem abertamente seus sintomas e se autoisolem quando necessário.

2.6.3 Estratégias de Gestão de Pessoas e Treinamento Ergonômico

A Gestão de Pessoas (RH) ocupa uma posição estratégica para o enfrentamento dos DMRTs, pois a transição de políticas de saúde reativas para a prevenção ativa é essencial. A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021) reforça que o sucesso da prevenção depende de uma abordagem integrada que articule a saúde do trabalhador, a gestão de riscos e o planejamento organizacional. Estudos indicam que o absenteísmo e o adoecimento no setor de proteína animal decorrem de uma exploração inerente ao modo de produção intensificado, e não apenas de falhas técnicas. Com a crescente digitalização, o RH enfrenta o desafio de mitigar novos riscos psicossociais, como o *technostress*, garantindo que a modernização tecnológica não resulte em fadiga cognitiva para os operadores (Cunha *et al.*, 2022; Bispo & Amaral, 2024). Jackson *et al.* (2023) ressaltam que o rodízio de postos de trabalho sem foco na equidade de gênero pode perpetuar desigualdades. Andersen *et al.* (2021) demonstraram que a redistribuição de tarefas devido à ausência eleva a sobrecarga física e aumenta o risco de novas lesões entre os empregados remanescentes.

A capacitação contínua e o treinamento ergonômico dos trabalhadores são mecanismos cruciais para mitigar os riscos. Ricco *et al.* (2017) afirmam que a

prevenção exige novas abordagens no redesenho de postos, bem como métodos de avaliação que considerem, de forma integrada, a realização de movimentos repetitivos e esforços físicos intensos. Sundstrup *et al.* (2020) ressaltam que a eficácia das intervenções não depende apenas da técnica, mas também da estratégia de implementação, que deve se integrar à cultura do trabalho. A ergonomia participativa, que envolve a atuação ativa dos trabalhadores na proposição de soluções, é uma prática recomendada. Sears *et al.* (2021) indicam que intervenções realizadas no nível organizacional beneficiam um número maior de trabalhadores, promovendo um ambiente mais seguro e inclusivo para todos. A adoção de abordagens ergonômicas participativas permite que os trabalhadores atuem como coautores no redesenho dos postos, assegurando que as soluções tecnológicas sejam, de fato, centradas no ser humano (Colim *et al.*, 2021). Tirloni *et al.* (2019) destacam que a ausência de políticas preventivas eficazes, somada à adoção de estratégias predominantemente reativas, sugere que a real magnitude dos agravos não está sendo devidamente reconhecida pelas instituições.

O enfrentamento dos Distúrbios Musculoesqueléticos (DMRTs) na cadeia produtiva exige, portanto, uma perspectiva que articule os achados epidemiológicos com uma Gestão de Recursos Humanos (RH) proativa. É necessário o desenvolvimento de políticas de prevenção personalizadas que considerem as especificidades de gênero, idade e função, promovendo a equidade e a sustentabilidade da força de trabalho. De forma complementar, Benson *et al.* (2024) destacam que o sucesso dessas intervenções gerenciais está diretamente ligado à capacidade da organização de integrar novas tecnologias com práticas de segurança robustas. O treinamento ergonômico, quando aliado à modernização dos postos de trabalho, resulta em ambientes laborais mais resilientes, capazes de reduzir o turnover e aumentar o bem-estar dos colaboradores em setores de alta exigência. Em última análise, o investimento em Automação Humanizada deve ser avaliado pelo seu desempenho e sustentabilidade social, comprovando sua eficácia na retenção de talentos e na construção de uma cadeia produtiva sustentável (Maithani *et al.*, 2021; Valente *et al.*, 2023).

A eficácia das ações de gestão e prevenção, desde o treinamento até a notificação de agravos, deve estar ancorada em um referencial regulatório formal. A próxima seção examinará os marcos regulatórios nacionais, como as Normas

Regulamentadoras e as diretrizes internacionais que fundamentam a saúde do trabalhador na cadeia produtiva.

2.7 Medidas Regulatórias e Panorama Internacional

Esta seção explora o referencial regulatório formal que sustenta as práticas de saúde do trabalhador no Brasil e no mundo. A análise é dividida em dois blocos principais: os marcos legais nacionais, como as Normas Regulamentadoras (NRs), e o panorama internacional das políticas de prevenção.

2.7.1 Marcos Regulatórios Nacionais e Estratégias de Prevenção

A Norma Regulamentadora nº 36 (NR-36) estabelece diretrizes específicas voltadas para ambientes de processamento de proteína animal, incluindo adaptações ergonômicas obrigatórias, controle de fatores ambientais e pausas previstas por lei, com o objetivo de prevenir agravos musculoesqueléticos decorrentes das condições laborais (NR-36, 2024). A norma requer que os postos de trabalho permitam alternância entre posições sentadas e em pé, uso de mobiliário ajustável e acesso a condições ambientais adequadas, aspectos essenciais para minimizar os riscos ocupacionais (Fundacentro, 2023). Neste contexto, a introdução de tecnologias robóticas e colaborativas surge como uma aliada estratégica ao cumprimento da NR-36, pois permite automatizar justamente as tarefas de maior repetitividade e carga física que a norma visa regular, facilitando a gestão dos tempos de exposição e das pausas obrigatórias (Moura *et al.*, 2019). Ao delegar as tarefas de alta repetitividade aos sistemas ciberfísicos, a organização consegue manter sua cadência produtiva e minimizar o tempo de inatividade (Moura *et al.*, 2019). Nesse arranjo, a automação atua como facilitadora da gestão ergonômica, permitindo o controle rigoroso dos tempos de exposição e a efetivação de tempos de recuperação personalizados para cada trabalhador (Villalobos & Mac Cawley, 2022).

A Norma Regulamentadora nº 01, atualizada recentemente, complementa as exigências ao estabelecer os princípios gerais da gestão de riscos ocupacionais,

promovendo uma abordagem integrada e preventiva em todas as atividades econômicas, incluindo a cadeia produtiva de proteína animal (NR-01, 2024). Esse instrumento normativo reforça que as empresas devem implementar sistemas de gestão de saúde e segurança no trabalho, com mapeamento de riscos e adoção de controles compatíveis com as características específicas de cada atividade (Fundacentro, 2023). Sob a premissa de melhoria contínua da NR-01, a gestão de riscos exige uma abordagem híbrida: a adoção de modelos de governança participativa para engajar o trabalhador (Colim *et al.*, 2021), aliada ao sensoriamento de dados para avaliar a carga física em tempo real, com retroalimentação dinâmica ao sistema ciberfísico (Cardoso *et al.*, 2021; Villalobos & Mac Cawley, 2022).

A Norma Regulamentadora nº 17, por sua vez, apresenta diretrizes sobre ergonomia aplicáveis a todas as atividades econômicas, exigindo a realização de Análise Ergonômica do Trabalho (AET) para identificar os fatores de risco e propor intervenções efetivas nos postos da cadeia de proteína animal (NR-17, 2024). A norma estabelece parâmetros relacionados a mobiliário, organização de tarefas, ritmos de trabalho, pausas e condições ambientais, assegurando uma base técnica para intervenções personalizadas (Fundacentro, 2023).

A consolidação dessas políticas exige a articulação entre regulamentações, gestão organizacional e práticas operacionais adaptadas, promovendo uma cultura de saúde e segurança sustentada. A Tabela 5 resume os enfoques de cada norma sobre aspectos centrais como gestão de riscos, análise ergonômica, adaptação de postos, controle ambiental e pausas, possibilitando uma visualização comparativa das obrigações e recomendações aplicáveis à cadeia produtiva de proteína animal.

Tabela 7 - Resumo dos principais requisitos das NR-01, NR-17 e NR-36 aplicáveis à cadeia produtiva de proteína animal

Aspecto	NR-01	NR-17	NR-36
Gestão de Riscos	Implantar sistema de gestão	Avaliação ergonômica	Monitoramento contínuo dos riscos
Análise Ergonômica	Exigida conforme risco	Análise Ergonômica do Trabalho	Reavaliação periódica e após mudanças
Adaptação de Postos	Medidas preventivas e corretivas gerais	Ajustes de mobiliário e equipamentos	Alternância de postura (sentar/em pé)
Controle Ambiental	Inclusão no mapeamento de riscos	Monitoramento para conforto	Controle de temperatura e ruído
Pausas e recuperação	Diretrizes gerais da organização	Avaliação da necessidade por esforço	Pausas programadas e psicofisiológicas
Inovação Tecnológica	Sistemas ciberfísicos e gestão preditiva de dados	Tecnologias assistivas	Automação Humanizada (Cobots e exoesqueletos)

Fonte: Elaboração própria com base na NR-01, NR-17 e NR-36.

Essa síntese permite observar a convergência entre os preceitos legais e a evolução tecnológica no chão de fábrica. Ao alinhar as diretrizes gerais de gestão (NR-01), as avaliações ergonômicas (NR-17) e as ações específicas para o trabalho em frigoríficos (NR-36), evidencia-se que a adoção de tecnologias emergentes das Indústrias 4.0 e 5.0 atua como a ferramenta definitiva para o cumprimento da legislação. A integração de sistemas ciberfísicos, biotelemetria e robótica colaborativa fortalece o monitoramento e a prevenção dos Distúrbios Musculoesqueléticos (DMRTs), elevando o setor a um novo patamar de conformidade e sustentabilidade social.

2.7.2 Panorama Global de Prevenção

Estudos internacionais destacam que a integração entre normas regulatórias e intervenções organizacionais aumenta a efetividade das ações preventivas, principalmente quando há envolvimento participativo dos trabalhadores no processo de adaptação dos postos e fluxos de trabalho (OSHA, 2023). Essa abordagem participativa contribui para maior adesão às práticas de segurança e para maior identificação das demandas reais do trabalho (WHO, 2021).

Na União Europeia, a European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA, 2019) observa que todos os Estados-membros possuem programas nacionais de prevenção, mas há grande heterogeneidade na implementação de práticas ergonômicas e treinamentos. Mais recentemente, o debate europeu tem avançado colocando o bem-estar do trabalhador no centro do projeto tecnológico. Isso implica que a conformidade regulatória internacional está deixando de ser apenas sobre limites de exposição para focar na sustentabilidade humana, onde a tecnologia deve ser desenhada para reduzir a carga cognitiva e física simultaneamente (Cunha *et al.*, 2022). Este movimento internacional converge para os preceitos da Indústria 5.0, que redefine a criação de valor ao priorizar a resiliência do sistema e a sustentabilidade social, colocando a inovação tecnológica a serviço da dignidade do trabalhador (Erp *et al.*, 2024; Islam *et al.*, 2025).

Nos Estados Unidos, a Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2023) propõe diretrizes estruturadas para setores de alto risco, como o processamento de carne, recomendando ações como avaliações ergonômicas regulares, adaptações no posto de trabalho e capacitação contínua dos trabalhadores para mitigação dos riscos.

No Canadá, empregadores sob jurisdição federal devem desenvolver programas sistemáticos de prevenção de riscos ergonômicos, com foco em avaliação de postos de trabalho, capacitação dos trabalhadores e revisão contínua das medidas adotadas (Government of Canada, 2025).

Na França, a política nacional de saúde do trabalhador é guiada por instrumentos estratégicos como o Plano de Saúde no Trabalho (Plan Santé au Travail) e os acordos interprofissionais, enfatizando a prevenção de riscos ocupacionais, incluindo

distúrbios musculoesqueléticos, por meio da articulação entre empregadores, sindicatos e autoridades públicas (Ministère du Travail, 2024).

Vale ressaltar que o fortalecimento desses marcos regulatórios no Brasil, especialmente com as atualizações de 2022, tem refletido em uma vigilância epidemiológica mais robusta, permitindo que as empresas utilizem os dados de notificação oficial como um indicador de desempenho da eficácia de suas medidas preventivas (Brasil, 2022). Dessa forma, o cumprimento das normas deixa de ser encarado apenas como um passivo legal para se tornar um investimento ativo em sustentabilidade social (Valente *et al.*, 2023). Esse retorno socioeconômico é mensurável na prática pela capacidade da indústria em atrair e reter talentos, bem como pela redução sistemática dos impactos do absenteísmo na cadeia produtiva (Maithani *et al.*, 2021)."

Concluindo a análise dos marcos regulatórios nacionais e do panorama internacional, a próxima seção sintetizará as principais lacunas teóricas e metodológicas identificadas, oferecendo o fundamento para a proposição de pesquisa desta dissertação.

2.8 Síntese e Lacunas Identificadas

A literatura especializada evidencia que os Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) apresentam alta prevalência entre trabalhadores da cadeia produtiva de proteína animal. Em estudo aplicado à indústria de abate e desmancha de carne em Portugal, Serranheira, Uva e Espírito-Santo (2009) identificaram uma taxa de 30% de sintomas osteomusculares relacionados ao trabalho, com predominância nos membros superiores. Tirloni *et al.* (2018) observaram que a percepção de desconforto corporal entre trabalhadores de frigoríficos está associada a fatores ergonômicos como esforço físico, repetitividade, posturas extremas, vibração, ritmo acelerado e exposição ao frio. Gregg *et al.* (2024) apontam que dores intensas nas mãos são frequentes entre profissionais que atuam com produtos congelados, em ambientes com elevada umidade e baixas temperaturas, características comuns em unidades de processamento de carnes. A etiologia desses distúrbios é complexa e multifatorial, exigindo abordagens

preventivas que considerem tanto a natureza das tarefas quanto as condições ambientais de trabalho (Serranheira, Uva e Espírito-Santo, 2009).

Embora existam normativas específicas, como a NR-36, persistem dificuldades na sua implementação efetiva nas empresas do setor (Fundacentro, 2023). Matias e Moreira (2021) apontam falhas sistemáticas na adesão à legislação, especialmente na subutilização da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) e na ausência de registros organizados sobre condições de exposição. Marra, Cohen e Cardoso (2019) destacam que a existência de normas não é suficiente para evitar o adoecimento ocupacional, considerando que a lógica produtiva do setor, orientada por metas de desempenho, atua como barreira estrutural à efetivação das medidas preventivas. Luger *et al.* (2019) sugerem a possibilidade de combinar intervenções baseadas em pausas com outras estratégias, como intervenções ergonômicas, de modo a potencializar os efeitos preventivos. Destacam, ainda, a necessidade de desenvolvimento e aperfeiçoamento de diferentes tipos de intervenções relacionadas a pausas, bem como da realização de estudos randomizados controlados por cluster, uma vez que a falta desses estudos limita a avaliação do risco de viés e impede análises mais robustas sobre a efetividade dessas práticas.

WHO/ILO (2021) reforçam a necessidade de integrar políticas organizacionais e psicossociais às ações de ergonomia, especialmente para atender às especificidades de gênero e idade dos trabalhadores. Serranheira, Uva e Espírito-Santo (2009) identificaram, em uma indústria de carne, que a presença de lesões Musculoesqueléticas diagnosticadas clinicamente foi significativamente mais prevalente entre mulheres do que entre homens, indicando uma diferença expressiva entre os sexos quanto à ocorrência desses agravos. Bouzigon *et al.* (2021) argumentam que a adoção de uma abordagem uniforme para intervenções, como a criostimulação, é menos segura e contribui para a inconsistência e a variabilidade dos resultados. Seus estudos apresentam que diferenças individuais, incluindo composição corporal, gênero, estado de treinamento, idade, tipo de pele e responsividade fisiológica, influenciam significativamente os efeitos observados, indicando que a consideração desses fatores é essencial para padronizar as respostas, aumentar a segurança e aprimorar a eficácia das intervenções.

Outro ponto crítico identificado refere-se à subnotificação das doenças musculoesqueléticas, que compromete os sistemas de vigilância em saúde do trabalhador e dificulta o planejamento de políticas públicas baseadas em dados robustos (INSS, 2023). A baixa emissão da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) e os registros incompletos prejudicam a análise epidemiológica e reduzem a visibilidade institucional dos agravos ocupacionais (IPEA, 2023). Andersen et al. (2021) apontam que essa realidade limita a capacidade de monitorar os reais impactos das doenças ocupacionais no setor produtivo. Sears et al. (2021) relataram que os trabalhadores indicaram não serem ouvidos, tampouco suas opiniões solicitadas ou valorizadas, associando frequentemente falhas na comunicação a deficiências preveníveis nas práticas e no clima de segurança. Sears et al. (2021) também descreveram episódios de rescisão contratual ou assédio após o retorno ao trabalho, que atribuíram às reações à sua lesão ou incapacidade permanente. Ursachi et al. (2022) recomendam a adoção de regulamentos que incentivem os trabalhadores a declarar sintomas e a se autoisolar, mitigando o medo do desemprego e, consequentemente, prevenindo as ausências por doença.

Embora as diretrizes para notificação de doenças ocupacionais estivessem previstas nas Portarias de Consolidação nº 4 e nº 5 de 2017, a efetividade da vigilância epidemiológica dos DMRTs foi ampliada por meio de atualizações normativas recentes. Conforme observado no terceiro artigo deste estudo, a publicação da Portaria GM/MS nº 5.201/2024 estabeleceu um novo patamar de obrigatoriedade na Lista Nacional de Notificação Compulsória. Essas mudanças foram determinantes para reduzir a subnotificação histórica e gerar o ponto de inflexão nos dados do SINAN, permitindo uma leitura mais fidedigna da realidade de adoecimento no setor de proteína animal.

Aarstad e Kvitastein (2023) identificaram uma lacuna na pesquisa existente ao não encontrarem estudos que investigassem como o absenteísmo de longo prazo afeta o emprego no ano seguinte e como as mudanças nas receitas operacionais medeiam essa associação, sugerindo áreas para investigação futura sobre esses impactos econômicos de longo alcance. WHO/ILO (2021) reforçam que essa lacuna reforça a necessidade de abordagens interdisciplinares que articulem ergonomia, epidemiologia, economia e gestão organizacional. Hulshof et al. (2021) identificam uma lacuna relevante na pesquisa sobre a prevalência da exposição ocupacional a

fatores de risco ergonômicos, destacando a insuficiência de dados sobre exposição cumulativa, como o total de anos ou a quantidade de trabalho realizado, elementos essenciais para estimar a carga de doença atribuível a esses fatores.

Aarstad e Kvitastein (2023) destacam que a predominância de estudos transversais limita a capacidade de identificar causalidade e mensurar o impacto das intervenções implementadas. Marra, Cohen e Cardoso (2019) compreendem o desgaste do trabalhador como um processo de transformação negativa decorrente da interação dinâmica entre diferentes tipos de cargas presentes no ambiente laboral, especialmente as de natureza psíquica, como estresse, repetitividade, ritmo acelerado e exigência constante de atenção. Essa concepção reforça a necessidade de estudos que investiguem, ao longo do tempo, os efeitos acumulados dessas exposições sobre a saúde dos trabalhadores, sobretudo em setores com alta exigência física e organizacional, como a cadeia produtiva de proteína animal.

Nascimento e Messias (2018) observaram que poucos estudos brasileiros examinam o rodízio de postos, especialmente no que se refere à identificação de dimensões do trabalho relevantes para a saúde e segurança, como constrangimentos físicos, competências exigidas, ritmo de trabalho, falta de tempo para execução de tarefas com qualidade e prescrições heterogêneas que geram pressão psíquica sobre os trabalhadores. Taibi *et al.* (2021) destacam a escassez de estudos sistemáticos que examinem os efeitos das condições de trabalho relacionadas ao tempo sobre a saúde, bem como a associação entre características psicossociais do ambiente laboral e a ocorrência de acidentes. Marzoque *et al.* (2025), ao analisar modelos de classificação de risco em ambientes automatizados, sugerem uma lacuna na pesquisa que avalie como as novas tecnologias interagem com variáveis como gênero, idade e doenças pré-existentes para mitigar ou acentuar desigualdades.

Sears *et al.* (2021) identificam uma lacuna importante na literatura ao constatarem a escassez de estudos que avaliem mudanças amplas no ambiente de trabalho, em contraste com as intervenções tradicionalmente adaptadas a indivíduos. Pontonnier *et al.* (2013) identificam a falta de estudos de caso práticos e específicos do setor de abate e processamento de carne, destacando que a maioria das pesquisas sobre fatores de risco foi realizada em laboratório, e não em situações reais de trabalho. Embora não mencione diretamente o gênero, a ausência de investigações de campo

em ocupações específicas limita a compreensão completa dos riscos para todos os trabalhadores.

Ademais, a literatura frequentemente aborda gênero e idade de forma isolada, omitindo a análise da interseccionalidade entre esses fatores e as ocupações específicas da CBO. Os achados detalhados adiante no Artigo 3 indicam que a faixa etária entre 20 e 49 anos concentra a maior parte dos afastamentos na cadeia de proteína animal, sendo que a gravidade e o local da lesão variam de forma distinta: enquanto mulheres apresentam maior prevalência de distúrbios nos punhos ligados à repetitividade em linhas de processamento, homens em idade produtiva são mais atingidos por lesões no ombro associadas à carga física no abate. Essa lacuna reforça a importância de investigações que cruzem variáveis sociodemográficas com a dinâmica real do posto de trabalho.

Rosado *et al.* (2024) apontam que estudos futuros deveriam avaliar simultaneamente os fatores de risco presentes em tarefas repetitivas, o que indica uma lacuna nas pesquisas existentes, que tendem a examinar esses fatores de forma isolada. Sears *et al.* (2021) argumentam que pesquisas anteriores, ao priorizarem instrumentos validados e perguntas fechadas, podem ter deixado de captar fatores importantes identificados diretamente pelos trabalhadores, enfatizando que a literatura tradicional tende a privilegiar as perspectivas dos empregadores, reforçando assim a necessidade de novas investigações que incorporem as prioridades e percepções dos próprios trabalhadores.

O estudo de Monteiro *et al.* (2025) evidencia importantes lacunas, como a ausência de categorização das funções desempenhadas, a falta de informações sobre condições clínicas pré-existentes, a limitação na análise de variáveis organizacionais e psicossociais, bem como a inexistência de análises aprofundadas sobre as diferenças de risco e impacto entre trabalhadores do sexo masculino e feminino, o que restringe a compreensão abrangente dos fatores associados ao desenvolvimento dos Distúrbios Musculoesqueléticos em trabalhadores de frigoríficos. Para preencher as lacunas identificadas na literatura, a presente pesquisa analisa dados do período de 2006 a 2024, avaliando as diferenças na notificação de agravos entre gêneros e ocupações sob a ótica das políticas compulsórias no Brasil. A partir dessa abordagem, estabelece-se a integração entre a vigilância

epidemiológica e o design de sistemas ciberfísicos. O objetivo é propor a Automação Humanizada como um instrumento tecnológico capaz de corrigir as disparidades ergonômicas enfrentadas por diferentes gêneros e gerações de trabalhadores no setor (Maithani *et al.*, 2021).

Por fim, identifica-se uma lacuna propositiva nas pesquisas atuais. Enquanto grande parte dos estudos se concentra no diagnóstico das causas e prevalências de DMRTs, nota-se uma escassez de investigações sobre como as tecnologias emergentes da Indústria 5.0 podem ser implementadas como medidas ativas de prevenção. A proposta de Automação Humanizada, discutida no quarto artigo deste estudo, surge como uma oportunidade para preencher essa lacuna, defendendo o uso da robótica colaborativa não apenas para a eficiência produtiva, mas como uma ferramenta estratégica para mitigar os riscos ergonômicos específicos de cada perfil de trabalhador. Dessa forma, busca-se superar a visão de automação rígida e puramente técnica, evoluindo para modelos de governança participativa que consolidam o bem-estar mental, a redução do *technostress* e a sustentabilidade humana como os novos indicadores de sucesso da Engenharia de Produção moderna (Bispo, 2024; Colim *et al.*, 2021; Erp *et al.*, 2024).

Com base nas lacunas teóricas e metodológicas estabelecidas, a próxima subseção apresenta o resumo das principais descobertas iniciais desta revisão, que fornecem o embasamento empírico necessário para o desenvolvimento dos objetivos desta dissertação, que visa evidenciar os padrões de adoecimento na cadeia de proteína animal sob uma perspectiva de gênero e ocupação.

2.9 Resumo das Principais Descobertas

A literatura revisada confirma a alta prevalência de Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) na cadeia produtiva de proteína animal, resultado da exposição contínua a fatores como esforço físico intenso, tarefas repetitivas, posturas inadequadas e ambientes frios. Esses elementos são especialmente presentes em setores como processamento, armazenagem e transporte, contribuindo para sobrecargas biomecânicas, inflamações crônicas e incapacidades laborais de médio e longo prazo.

As intervenções preventivas, como pausas programadas, rodízio de tarefas, ajustes ergonômicos e incorporação de equipamentos auxiliares, apresentam efeitos positivos tanto na saúde dos trabalhadores quanto na redução de afastamentos. No entanto, as evidências também indicam lacunas na implementação prática dessas medidas, sobretudo em ambientes de alta pressão produtiva. O suporte normativo fornecido pelas NR-01, NR-17 e NR-36 é fundamental. A observação de padrões específicos, como a concentração do diagnóstico M75 (lesões do ombro) em funções críticas como magarefe, abatedor e açougueiro, reforça a necessidade de estratégias que superem o mero cumprimento legal. Nesse sentido, destaca-se que a automação e a robótica colaborativa não devem ser vistas apenas como vetores de produtividade, mas como instrumentos de humanização do trabalho. Sob a ótica da transição para a Indústria 5.0, essa humanização permite que o design tecnológico atue como suporte ergonômico e cognitivo, mitigando riscos físicos severos e prevenindo o surgimento de novas sobrecargas, como o *technostress* (Cunha *et al.*, 2022; Islam *et al.*, 2025). Essa abordagem sistêmica é capaz de reduzir drasticamente a carga biomecânica e a repetitividade que historicamente resultam em diagnósticos como M75 e G56, promovendo, em última análise, a resiliência e o bem-estar organizacional.

Fatores demográficos, ocupacionais e institucionais exercem influência significativa sobre os padrões de adoecimento, reforçando a necessidade de análises sensíveis às características da força de trabalho. Os resultados deste referencial indicam que o adoecimento está fortemente associado às ocupações específicas da cadeia produtiva, caracterizando os grupos funcionais mais vulneráveis (conforme Objetivo Específico 1). A literatura aponta, ainda, para disparidades de gênero na incidência e na manifestação dos DMRTs (conforme Objetivo Específico 2), exigindo uma análise aprofundada da segregação de riscos por gênero, faixa etária e ocupação (conforme Objetivo Específico 3).

O aumento significativo no código Z57, que representa a exposição ocupacional a fatores de risco, é um resultado-chave que sugere o crescimento do reconhecimento dos riscos ambientais e organizacionais no setor, sobretudo entre os trabalhadores do gênero masculino. Este fenômeno decorre da atualização das políticas de notificação compulsória (Portaria GM/MS nº 5.201/2024) e sugere uma mudança de paradigma na vigilância epidemiológica brasileira a partir de 2022, em que a melhoria

na qualidade dos registros permitiu dar visibilidade a riscos ocupacionais anteriormente mascarados pela subnotificação ou por crises sanitárias globais. Este avanço na transparência epidemiológica fundamenta a necessidade de modelos de governança participativa (Colim *et al.*, 2021), em que os dados de exposição (Z57) atuam como balizadores para o investimento em tecnologias assistivas e sistemas ciberfísicos personalizados. Essa integração garante que a automação seja direcionada às reais necessidades do chão de fábrica, concretizando o pilar de centralidade humana proposto pela Indústria 5.0 (Cardoso *et al.*, 2021; Islam *et al.*, 2025).

Esses achados convergem para a necessidade de estratégias preventivas fundamentadas em evidências e ajustadas à realidade do setor, que contribuem para a sustentabilidade da força de trabalho. A adoção de modelos de automação humanizada favorece a continuidade operacional e a preservação da expertise técnica, promovendo a sustentabilidade do capital humano e consolidando a resiliência da cadeia produtiva de carnes frente a choques e desafios globais, como a escassez de mão de obra qualificada (Maithani *et al.*, 2021; Mason *et al.*, 2024).

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desta dissertação estão organizados em formato de artigos científicos, estruturados a partir da análise das notificações de agravos do SINAN (2006 a 2024). Cada artigo está diretamente vinculado a um dos objetivos específicos e foi apresentado na íntegra conforme aprovação ou submissão a eventos e periódicos científicos. O primeiro artigo, aprovado para o ENEGEP 2025, analisa a associação entre diagnósticos frequentes e ocupações, identificando as funções mais críticas na cadeia produtiva de proteína animal. Dando continuidade à análise e aprofundando o perfil dos trabalhadores, o segundo artigo, também aprovado para o ENEGEP 2025, examina as diferenças de gênero e idade nos afastamentos, evidenciando desigualdades sociodemográficas que influenciam o absenteísmo e a permanência no trabalho.

Ao sintetizar as variáveis mapeadas anteriormente, o terceiro artigo, publicado no periódico *Safety*, na edição especial *Women's Issues in Safety*, amplia a análise ao correlacionar simultaneamente as variáveis de gênero, idade, ocupação e diagnósticos clínicos em uma série histórica de 18 anos. A investigação aprofunda o debate sobre as desigualdades estruturais e os padrões epidemiológicos de adoecimento, revelando um ponto de inflexão recente no perfil das notificações. Além de discutir a segregação de riscos e a subnotificação, o estudo destaca a importância de políticas de saúde do trabalhador sensíveis ao gênero para mitigar agravos na indústria de proteína animal.

Adicionalmente, um quarto artigo, submetido ao ENEGEP 2026, propõe uma modelagem conceitual da Automação Humanizada no setor. O estudo utiliza uma revisão integrativa e a aplicação das matrizes SWOT e TOWS para fundamentar a transição tecnológica em processos críticos, como o abate e a desossa. O foco central reside na integração de robótica colaborativa, sensores e Inteligência Artificial, visando substituir a sobrecarga física por funções de supervisão cognitiva. A proposta alinha a inovação tecnológica aos pilares da Indústria 5.0 e aos critérios ESG,

discutindo como a gestão preditiva pode assegurar a sustentabilidade do trabalho e a mitigação de novos riscos, como o *technostress*.

A articulação desses quatro estudos reflete a progressão lógica desta pesquisa: parte-se do mapeamento do cenário real de adoecimento no Brasil (Artigos 1 e 2), avança-se para a compreensão das interseccionalidades e do impacto das políticas de notificação pós-2022 (Artigo 3) e culmina na proposição de modelos tecnológicos mais humanos para mitigar os problemas identificados (Artigo 4). Essa integração permite que os achados epidemiológicos quantitativos sirvam de base para a discussão conceitual sobre a Humanização da Automação, garantindo que as soluções propostas estejam alinhadas às necessidades demográficas e ocupacionais específicas do setor. Para sintetizar a convergência entre o referencial teórico e os achados empíricos, o Quadro 2 apresenta a matriz de integração dos resultados desta dissertação.

Tabela 8: Síntese Integrativa dos Resultados e Contribuições à Saúde do Trabalhador

Conceito	Achados no Estudo (Resultados)	Avanços do Estudo (contribuições)	Discussão e Diálogo com a Literatura (Autores)
Cadeia de Proteína Animal	Concentração crítica de agravos nos setores de abate e desossa.	Permite o direcionamento de fiscalizações e investimentos em prevenção para os gargalos de saúde, otimizando recursos públicos e privados.	A intensidade e o frio nestes setores confirmam o risco ergonômico descrito por Tirloni et al. (2018) e Serranheira et al. (2009).
CID-10 Grupo M	Alta prevalência de M75 (Lesões de ombro) em magarefes e abatedores.	Identifica a necessidade urgente de revisar as pausas e as ferramentas de corte, visando reduzir a incidência de incapacidades físicas permanentes.	O esforço estático e a repetitividade dos membros superiores são causas diretas mencionadas por Waithaka et al. (2017) e Andersen et al. (2021).

CID-10 Grupo G	Concentração de G56 (Túnel do Carpo) ligada a movimentos repetitivos de punho.	Alerta para a importância da rotatividade de tarefas e do diagnóstico precoce, reduzindo o impacto social do absenteísmo e das cirurgias reparadoras.	A compressão nervosa em tarefas de corte manual é um achado clássico em frigoríficos, conforme Minghelli et al. (2019).
Código Z57	Identificado como "ponto de inflexão" em 2022 para o reconhecimento do risco ocupacional.	Valida a eficácia de mudanças normativas recentes, promovendo maior transparência epidemiológica e garantindo direitos previdenciários aos trabalhadores. e subsidiando modelos de governança participativa.	O aumento do Z57 reflete o impacto das atualizações normativas brasileiras (Portaria 5.201/2024) na vigilância epidemiológica e na gestão preditiva (Colim et al., 2021).
CBO e Gênero	Masculino: Predomínio em Magarefes e Abatedores, com alta carga biomecânica. Feminino: Concentração em Abatedoras, Alimentadoras de linha de produção, com foco em alta repetitividade.	Fomenta o desenvolvimento de políticas de saúde do trabalhador equitativas, que considerem as diferenças biológicas e sociais na exposição ao risco.	A divisão sexual do trabalho e a exposição diferenciada ao risco corroboram os estudos de França et al. (2023).
CAT	Histórico de subutilização e resistência ao registro formal de agravos osteomusculares.	Evidencia a necessidade de fortalecer os sistemas de notificação para garantir a visibilidade dos riscos reais.	Matias e Moreira (2021); Marra et al. (2019).
Automação	Proposição de modelagem	Propõe uma transição tecnológica justa	A tecnologia deve atuar na humanização do

Humaniza da	conceitual integrando robótica colaborativa, sensores e Inteligência Artificial (Machine Learning) para substituir tarefas que geram os CIDs M75 e G56.	baseada nos pilares da Indústria 5.0 e critérios ESG, transformando postos de alta carga física em funções de supervisão técnica e gestão de dados.	posto, reduzindo a carga física e cognitiva, mitigando o technostress, conforme Cunha et al. (2022), Bispo & Amaral (2024) e Islam et al. (2024).
----------------	--	---	---

Fonte: O autor.

A convergência dos dados apresentados na matriz de integração revela que o adoecimento na cadeia de proteína animal não é um evento isolado, mas o resultado de uma complexa interação entre o perfil sociodemográfico do trabalhador, a natureza da ocupação e a rigidez dos sistemas produtivos. Dessa forma, a apresentação sequencial destes trabalhos não apenas atende aos objetivos específicos, mas constrói uma visão holística da saúde do trabalhador na cadeia de proteína animal. A articulação entre o diagnóstico epidemiológico e a perspectiva da automação humanizada demonstra que a inovação tecnológica deve atuar como suporte à saúde, garantindo a sustentabilidade social das operações industriais.

Diante do exposto, as seções subsequentes apresentam os quatro artigos científicos na íntegra, detalhando os métodos, análises e discussões que fundamentam as evidências sintetizadas nesta dissertação

3.1 Artigo 1: Análise Longitudinal de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) em Trabalhadores da Cadeia de Proteína Animal no Brasil: Evidências Baseadas em Função Ocupacional (2006-2024)

Como parte dos resultados parciais desta dissertação, foi desenvolvido o artigo intitulado “Análise Longitudinal de Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DORT) em Trabalhadores da Cadeia de Proteína Animal no Brasil: Evidências Baseadas em Função Ocupacional (2006 - 2024)”, cujo objetivo consiste em analisar a evolução temporal dos diagnósticos mais prevalentes de Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) entre trabalhadores da cadeia produtiva de proteína animal no Brasil, considerando sua distribuição segundo as funções ocupacionais registradas no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN).

O estudo examina a associação entre os códigos da Classificação Internacional de Doenças (CID-10) e as ocupações notificadas, possibilitando a identificação de padrões longitudinais de adoecimento relacionados às exigências funcionais das atividades desempenhadas, bem como dos segmentos ocupacionais com maior concentração de registros ao longo do período analisado.

Essa investigação está diretamente vinculada ao primeiro objetivo específico desta dissertação, que consiste em analisar a associação entre os diagnósticos mais frequentes de DMRTs e as ocupações notificadas na cadeia produtiva de proteína animal, com o propósito de identificar padrões de adoecimento por função e subsidiar o desenvolvimento de estratégias preventivas e intervenções organizacionais direcionadas.

O manuscrito foi apresentado e publicado nos anais do XLV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGETP 2025), encontrando-se disponível por meio do DOI: https://doi.org/10.14488/enegetp2025_tn_st_431_2117_51087. A seguir, o texto completo do artigo é apresentado como parte integrante dos resultados desta dissertação.

Análise Longitudinal de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) em Trabalhadores da Cadeia de Proteína Animal no Brasil: Evidências Baseadas em Função Ocupacional (2006–2024)

Lilian Dias Pereira (Universidade Paulista)

Vando Aparecido Monteiro (Universidade Paulista)

Hércules José Marzoque (Universidade Paulista)

Rimena Canuto Oliveira (Instituto Federal do Piauí)

Irenilza de Alencar Nääs (Universidade Paulista)



Este estudo investigou a relação entre funções ocupacionais e a ocorrência de distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT) na cadeia produtiva de proteína animal no Brasil, com base em dados do SINAN de 2006 a 2024. A pesquisa adotou abordagem quantitativa, descritiva, longitudinal e exploratória, analisando notificações vinculadas às principais atividades do setor, como criação, abate e processamento de carnes. Foram identificados os códigos da CID-10 mais frequentes e sua distribuição entre as ocupações com maior número de registros. Os achados revelaram a concentração de sintomas musculoesqueléticos em funções específicas, como magarefe, abatedor e açougueiro, com destaque para os diagnósticos M75, Z57 e M54. A análise evidenciou a associação entre exigências biomecânicas e os agravos registrados, apontando para a necessidade de intervenções ergonômicas e psicossociais integradas. Os resultados reforçam a importância de uma gestão ocupacional voltada à prevenção de DORT, à vigilância epidemiológica e à qualificação dos dados registrados nos sistemas públicos de saúde do trabalhador.

Palavras-chave: Absenteísmo, Saúde do trabalhador, Ergonomia, doenças relacionadas ao trabalho.

1. Introdução

A cadeia de produção de proteína animal reúne um conjunto de atividades intensivas em mão de obra que, embora essenciais para o abastecimento alimentar e para a economia brasileira, expõem seus trabalhadores a riscos ergonômicos recorrentes. Abatedouros, frigoríficos e estabelecimentos de beneficiamento concentram funções que exigem esforço físico contínuo, com destaque para movimentos repetitivos, manuseio de ferramentas cortantes e exposição ao frio condições que favorecem o desenvolvimento de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) (DIAS et al., 2020).

A literatura aponta que práticas como o uso de facas com baixa qualidade de corte e a ausência de pausas adequadas elevam o risco de lesões musculoesqueléticas (Tirloni et al., 2020). Medidas como o rodízio de tarefas têm sido implementadas para mitigar esses efeitos, porém sua eficácia depende de intervenções organizacionais mais abrangentes (Nascimento & Messias, 2018). Esse panorama é reforçado por evidências de outros setores, como a agricultura e a saúde, indicam que os fatores biomecânicos são agravados por dimensões organizacionais e psicossociais (BARNEO-ALCÂNTARA et al., 2021; AMARO et al., 2018).

No contexto da indústria de carnes, a ergonomia aplicada é um recurso estratégico para a caracterização e readequação dos postos de trabalho (REIS et al., 2017). Iniciativas mais recentes incluem o uso de tecnologias assistivas, como exoesqueletos, que demonstram potencial para aliviar a sobrecarga muscular, especialmente em tarefas com elevação frequente dos braços (Dalbøge et al., 2024), embora ainda demandem maior validação em contextos reais. Diante da elevada prevalência de DORT no setor e dos impactos sociais e econômicos associados, este estudo propõe uma análise orientada pelas funções desempenhadas, com base em dados longitudinais de 2006 a 2024. O objetivo é identificar as ocupações com maior concentração de sintomas musculoesqueléticos, utilizando os registros do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) e os códigos da Classificação Internacional de Doenças (CID-10), a fim de subsidiar estratégias preventivas específicas e direcionadas.

2. Referencial Teórico

Distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT) são um conjunto de lesões que acometem principalmente músculos, tendões e nervos, decorrentes de tarefas com alta demanda física, repetição de movimentos, posturas inadequadas e exposição a fatores ambientais como o frio (DIAS et al., 2020). A elevada incidência desses distúrbios em frigoríficos é atribuída à intensidade do trabalho repetitivo e à necessidade constante de força manual, especialmente no uso de facas (TIRLONI et al., 2020).

O rodízio de postos de trabalho, preconizado pela Norma Regulamentadora nº 36 (NR-36), é uma das estratégias organizacionais implementadas para mitigar os riscos ergonômicos, reduzindo a sobrecarga em grupos musculares específicos (NASCIMENTO & MESSIAS, 2018). Contudo, evidências mostram que seu sucesso depende da consideração de aspectos organizacionais mais amplos, como treinamento adequado e adaptação ergonômica dos postos. No setor agrícola, a mecanização e o desenvolvimento de tecnologias voltadas à ergonomia demonstraram redução dos riscos de DORT, ainda que a exposição a fatores como força e postura permaneça significativa (BARNEO-ALCÁNTARA et al., 2021). De forma semelhante, na saúde, a manipulação de pacientes é um dos principais fatores associados às lesões musculoesqueléticas (AMARO et al., 2018).

A implementação de exoesqueletos passivos tem emergido como alternativa para suporte físico, com redução comprovada da atividade muscular durante tarefas de elevação dos membros superiores em ambientes industriais (DALBØGE et al., 2024). Ainda assim, seu uso generalizado esbarra na necessidade de adequação às tarefas específicas e na avaliação de efeitos a longo prazo.

O estudo apoia-se em dados epidemiológicos e articula os fundamentos da ergonomia, da saúde ocupacional e da prevenção de distúrbios musculoesqueléticos, com o objetivo de analisar o contexto dos DORT na cadeia produtiva de proteína animal. A proposta busca identificar os códigos CID-10 de maior incidência e compreender sua distribuição entre as ocupações com maior registro de sintomas, contribuindo para a construção de ambientes laborais mais seguros e adequados às exigências do setor.

3. Metodologia

Este estudo adota abordagem quantitativa, de caráter descritivo, longitudinal e exploratório, com o objetivo de identificar os códigos da Classificação Internacional de Doenças (CID-10) mais frequentemente associados a sintomas osteomusculares entre trabalhadores da cadeia produtiva de proteína animal, considerando as ocupações exercidas no período de 2006 a 2024. Os dados utilizados são provenientes do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), base pública nacional que consolida registros compulsórios de agravos à saúde. O recorte da amostra considerou exclusivamente atividades ligadas à criação, abate e comercialização de produtos de origem animal, com seleção orientada por códigos da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO). Inicialmente, a base de dados bruta continha 133.424 registros distribuídos em 93 colunas. Foram excluídas planilhas acessórias não compatíveis com o objetivo da

pesquisa e, após filtragem, permaneceram 2.936 registros diretamente relacionados às funções analisadas. Foi criada uma coluna adicional para indexação dos casos por número sequencial. A seleção de variáveis reduziu o total de colunas para 55, consideradas relevantes para a análise. O campo "tempo de afastamento", originalmente preenchido em unidades variadas (horas, dias, meses e anos), foi padronizado em dias por meio de conversões: horas foram divididas por 24; meses multiplicados por 30; e anos por 365. Casos com unidades indefinidas, valores extremos ou incompatíveis com a realidade laboral foram descartados, como os que ultrapassavam 60 anos (21.900 dias) de afastamento.

A variável "idade" foi estimada pela diferença entre o ano da notificação e o ano de nascimento, sendo excluídos trabalhadores com menos de 18 ou mais de 108 anos. Células com dados ausentes foram preenchidas com o termo "ignorado", assegurando a padronização da base. Ao final, 41 colunas permaneceram disponíveis, embora apenas as diretamente ligadas aos objetivos da pesquisa tenham sido utilizadas. As etapas de organização e análise foram conduzidas no software Microsoft Excel, com construção de tabelas, gráficos e aplicação de funções estatísticas descritivas. As variáveis utilizadas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis consideradas na análise do estudo

Variável independente	Descrição
Afastamento médico	Licença médica igual ou superior a 1 dia
Diagnóstico	Doença (conforme a Classificação Internacional de Doenças – CID-10)
Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)	Cadeia produtiva de proteína animal
Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)	Códigos CNAE relacionados às atividades da cadeia produtiva de proteína animal

Fonte: Autores (2025)

Por se tratar de dados públicos, secundários e anonimizados, a pesquisa não envolveu coleta direta de informações de indivíduos. Em conformidade com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, o estudo foi dispensado de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa. Com base nas variáveis selecionadas, foi realizada uma análise estatística descritiva visando caracterizar o perfil dos trabalhadores afetados e a distribuição dos agravos em relação às funções desempenhadas. Os resultados obtidos possibilitam a identificação de padrões de notificação por função ocupacional, definidas na Tabela 2, embora não permitam estabelecer relações de causalidade. Ressalta-se que, a partir de 2006, a implantação do SINAN NET permitiu maior padronização dos registros nacionais, consolidando a base utilizada neste estudo. Ainda assim, limitações metodológicas foram consideradas, como a dependência

institucional para emissão da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT), que contribui para a subnotificação dos casos. Esse problema é especialmente relevante em funções com alta rotatividade e vínculos precários, como alimentador de linha de produção, auxiliar de serviços gerais e desossador, onde há menor probabilidade de formalização e, consequentemente, menor registro oficial dos agravos.

Tabela 2. Definição das ocupações estudadas

Ocupação	Descrição	CBO
Abatedor	Abatedor em matadouro, Abatedor de animais, Abatedor de aves, Abatedor de gado, Abatedor de galinha, Abatedor de porco, [...]	8485-05
Açougueiro	Ajudante de açougueiro (comércio), Açougueiro retalhista, Balconista de açougue, Cortador de carne em açougue, [...]	8485-10
Alimentador de linha de produção	Abastecedor de linha de produção, Abastecedor de máquinas de linha de produção, [...]	7842-05
Auxiliar nos serviços de alimentação	Ajudante de churrasqueiro, Ajudante de confeitiro, Ajudante de cozinha, Ajudante de padreiro, Ajudante de pizzaiolo, [...]	5135-05
Avicultor	Avicultor - empregador, Avicultor avozeiro, Avicultor comercial, Avicultor matreiro, Avícola - empregador, Criador de aves, [...]	6133-05
Desossador	Auxiliar de desossador, Açougueiro desossador, Cabeceiro em matadouro, Desnucador em matadouro, Desorelhador em matadouro, [...]	8485-15
Magarefe	Arrancador em matadouro, Arreador em matadouro, Auxiliar de magarefe, Açougueiro classificador (exclusive comércio), [...]	8485-20
Retalhador de carne	Auxiliar de classificador de carne, Açougueiro cortador (exclusive comércio), Carneador em matadouro e açougue, [...]	8485-25
Abatedor	Abatedor em matadouro, Abatedor de animais, Abatedor de aves, Abatedor de gado, Abatedor de galinha, [...]	8485-05

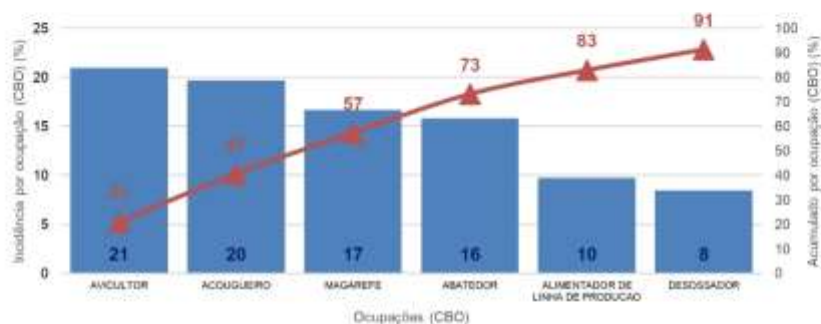
Fonte: Adaptado de CBO/MTE (2025).

As ocupações apresentadas na Tabela 2 foram identificadas a partir dos registros analisados neste estudo, com base na Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), e estão relacionadas aos códigos CNAE previamente selecionados para representar atividades da cadeia produtiva de proteína animal. As descrições agrupam funções ligadas ao abate, desossa, manipulação e comercialização de carnes, refletindo a diversidade de títulos ocupacionais notificados no SINAN.

4. Resultados

A Classificação Brasileira de Ocupações (CBO) constitui uma referência oficial para a identificação e descrição das atividades laborais no Brasil, sendo fundamental para a análise de fatores de risco ergonômico no ambiente de trabalho. No presente estudo, a associação entre funções desempenhadas e a ocorrência de distúrbios osteomusculares, codificados segundo a Classificação Internacional de Doenças – CID-10, foi analisada com o objetivo de identificar os padrões de maior incidência na cadeia produtiva de proteína animal. A distribuição percentual das ocupações com maior frequência de sintomas osteomusculares é apresentada na Figura 1. A análise dos dados evidenciou que a função de avicultor concentrou 21% dos registros de sintomas osteomusculares, seguida pelas ocupações de açougueiro (20%) e magarefe (17%), totalizando 57% dos casos. Ao incluir as funções de abatedor (16%), alimentador de linha de produção (10%) e desossador (8%), a frequência acumulada atingiu 91% dos registros. Assim, as seis funções de maior representatividade foram: avicultor, açougueiro, magarefe, abatedor, alimentador de linha de produção e desossador. Os 9% restantes distribuíram-se entre diversas outras ocupações, evidenciando dispersão dos casos entre funções menos representativas.

Figura 1 - Distribuição percentual dos sintomas osteomusculares por ocupações na cadeia da proteína animal



Fonte: Autores (2025)

A Figura 1 apresenta a distribuição dos dados em gráfico de barras, com a frequência individual de cada ocupação e a linha de frequência acumulada. As ocupações foram ordenadas da mais para a menos frequente com base no total de registros com sintomas osteomusculares, de modo a evidenciar o ponto de inflexão da curva acumulada. Observa-se que as funções de avicultor, açougueiro e magarefe possuem maior altura de barras, indicando concentração expressiva dos casos. A linha de frequência acumulada cresce até cerca de 91% após a sexta função, estabilizando-se a partir desse ponto. Com base na análise dos registros extraídos do SINAN,

foi possível identificar os principais diagnósticos associados a distúrbios osteomusculares na cadeia produtiva de proteína animal. A Tabela 3 sintetiza os códigos da CID-10 mais incidentes entre os trabalhadores das funções analisadas, indicando suas respectivas proporções em relação ao total de notificações, bem como a progressão acumulada dos casos.

Tabela 3 – Códigos CID-10 mais frequentes entre trabalhadores com sintomas osteomusculares (2006–2024)

CID-10	Descrição	%	Acumulado (%)
M75	Lesões do ombro	22	22
Z57	Exposição ocupacional a fatores de risco	22	44
M54	Dorsalgia	15	59
M65	Sinovite e tenossinovite	11	71
G56	Mononeuropatias dos membros superiores	6	76
M79	Outros transtornos dos tecidos moles, não classificados em outra parte	3	80
M51	Outros transtornos de discos intervertebrais	3	83
M77	Outras entesopatias	3	86
M25	Outros transtornos articulares não classificados em outra parte	2	88
M70	Transtornos dos tecidos moles relacionados com o uso, uso excessivo e pressão	2	90

Fonte: Autores (2025)

A distribuição observada evidencia que cinco diagnósticos concentram 76% dos registros, sendo mais incidentes em ocupações com elevada exigência biomecânica. Lesões do ombro (M75) e exposição ocupacional a riscos (Z57) representam, respectivamente, 22% das notificações cada, totalizando 44% dos casos, e refletem as condições físicas e ambientais inerentes às funções de magarefes, abatedores e avicultores. A dorsalgia (M54), com 15% dos registros, e a tenossinovite (M65), com 11%, indicam que atividades que envolvem esforço repetitivo e manutenção de posturas forçadas, comuns em diversos postos de trabalho do setor, favorecem o adoecimento. A concentração desses agravos reforça a necessidade de intervenções ergonômicas e psicossociais direcionadas às funções mais vulneráveis, com vistas à redução do impacto funcional entre os trabalhadores diretamente expostos.

Serão apresentados, a seguir, os três códigos CID-10 com maior frequência entre os trabalhadores da cadeia produtiva de proteína animal, analisados individualmente conforme a distribuição por ocupação. A Figura 2 mostra o primeiro deles, o CID-10 M75 (lesões do ombro), entre as funções com maior ocorrência de sintomas osteomusculares.

Figura 2 – Distribuição do código CID-10 M75 entre ocupações com sintomas osteomusculares

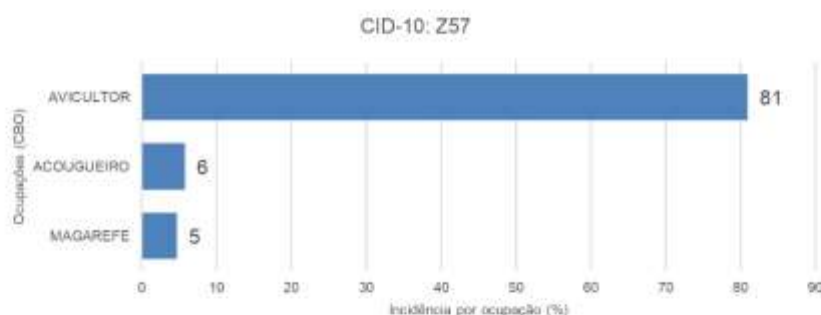


Fonte: Autores (2025)

A Figura 2 evidencia a distribuição do código CID-10 M75 (lesões do ombro) entre as ocupações analisadas. As funções de magarefe (25%), abatedor (24%) e açougueiro (23%) concentraram os maiores percentuais de registros relacionados a esse diagnóstico. Em seguida, observam-se as funções de desossador (10%), alimentador de linha de produção (7%) e retalhador de carne (4%), com frequências menores, mas ainda associadas ao agravo.

A Figura 3 apresenta o segundo diagnóstico mais incidente, o CID-10 Z57 (exposição a fatores ocupacionais de risco), entre as funções com maior ocorrência de sintomas osteomusculares na cadeia produtiva de proteína animal.

Figura 3 – Distribuição do código CID-10 Z57 entre ocupações com sintomas osteomusculares



Fonte: Autores (2025)

A Figura 3 mostra a distribuição do código CID-10 Z57, referente à exposição a fatores ocupacionais de risco, entre os trabalhadores com sintomas osteomusculares. Observa-se predominância expressiva da função de avicultor, que concentrou 81% dos registros associados a esse diagnóstico. As ocupações de açougueiro (6%) e magarefe (5%) também apresentaram notificações, embora em proporções significativamente menores. A Figura 4 apresenta o

terceiro diagnóstico mais incidente, o CID-10 M54 (dorsalgias), entre as funções com maior ocorrência de sintomas osteomusculares na cadeia produtiva de proteína animal.

Figure 4 – Distribution of ICD-10 M54 (dorsalgias) across occupations with musculoskeletal symptoms



Fonte: Autores (2025)

A Figura 4 revela uma distribuição relativamente equilibrada do código CID-10 M54 (dorsalgias) entre as ocupações analisadas. As funções de açougueiro (22%), magarefe (17%) e abatedor (14%) apresentaram os maiores percentuais de registros. Em seguida, destacam-se as funções de alimentador de linha de produção e avicultor, ambas com 13%. As ocupações de desossador (7%) e auxiliar nos serviços de alimentação (4%) apresentaram menor frequência relativa, embora também associadas a esse diagnóstico.

Os resultados apresentados evidenciam a concentração dos sintomas osteomusculares em determinadas ocupações e diagnósticos, apontando para padrões de associação entre as funções desempenhadas na cadeia produtiva de proteína animal e os agravos identificados segundo a CID-10, contribuindo para orientar intervenções ergonômicas mais adequadas às características das atividades analisadas.

5. Discussão

Reis e Moro (2012) corroboram que a diminuição da força de preensão manual e a perda de sensibilidade tátil observadas em trabalhadores de abatedouros estão relacionadas à compressão nervosa crônica decorrente da exposição ocupacional. Este resultado confirma as evidências apresentadas por Dias et al. (2020), que descreveram o impacto das tarefas repetitivas e das posturas forçadas no aumento do risco ergonômico em ambientes de processamento de proteína animal. Tirloni et al. (2020) reforçam essa associação, ao apontarem que o uso contínuo de facas mal afiadas eleva a carga física, intensificando o risco de lesões musculares. Em linha com esses achados, van der Molen et al. (2017) indicam que a elevação prolongada dos braços

e o carregamento de peso dobram o risco de desordens específicas no ombro, associadas ao código M75 da CID-10. Estudos como o de Reis e Moro (2012) reforçam que funções operacionais, sobretudo no setor de corte e desossa, apresentam maior risco de neuropatias por compressão, associadas ao uso contínuo de facas e à ausência de pausas adequadas. WHO & ILO (2021) relatam que ambientes de alta intensidade física contribuem significativamente para a carga global de doenças relacionadas ao trabalho, ampliando os impactos sobre a saúde e a produtividade. Em consonância com OSHA (2023), adaptações ergonômicas em funções operacionais como desossa e embalo devem priorizar o desenho funcional das ferramentas e a organização das pausas para conter os efeitos cumulativos da sobrecarga física.

A operação em câmaras frias, característica de diversas funções na cadeia produtiva, compromete a destreza manual e amplifica o desgaste musculoesquelético, especialmente em tarefas de corte contínuo, conforme observado por Wu et al. (2021). A introdução parcial de tecnologias, como esteiras e ganchos automatizados, altera a configuração do esforço físico sem necessariamente reduzir a exposição a riscos em ocupações como alimentador de linha e operador de equipamentos, conforme discutido por Barneo-Alcântara et al. (2021). Essa interpretação contribui para explicar o padrão observado neste estudo, sugerindo que os riscos permanecem relevantes mesmo em contextos de mecanização parcial, exigindo uma abordagem integrada das medidas preventivas. A Análise de Impacto Regulatório da NR-01 (2020) reforça que a gestão dos riscos ocupacionais deve considerar todos os perigos presentes, incluindo fatores organizacionais, para orientar intervenções mais eficazes, alinhadas às especificidades das funções na cadeia produtiva de proteína animal. A frequência observada do diagnóstico M54 (dorsalgia) reforça a associação entre sobrecarga biomecânica na região lombar e as demandas físicas dessas atividades, em consonância com Amaro et al. (2018), que identificaram alta prevalência de dorsalgia em trabalhadores expostos à movimentação manual; Troelstra et al. (2020), que relataram impactos funcionais e econômicos da dor lombar sobre a produtividade; e Wu et al. (2021), que destacaram a influência da exposição ao frio na tensão muscular lombar, compondo um quadro multifatorial de riscos integrados.

A heterogeneidade na distribuição dos diagnósticos entre as funções ocupacionais evidencia o papel dos fatores psicossociais no adoecimento musculoesquelético dos trabalhadores da cadeia de proteína animal. Taibi et al. (2021) destacam que altas demandas psicológicas, desequilíbrio esforço-recompensa e baixo suporte social elevam o risco de distúrbios musculoesqueléticos e absenteísmo, o que está em consonância com os achados deste estudo. Kiook Baek et al. (2018) confirmam a associação entre baixos níveis de satisfação no trabalho e aumento da dor musculoesquelética, especialmente em contextos de alta exigência emocional e limitada

autonomia, Jackson et al. (2023) observam que o rodízio de postos, quando implementado de forma insuficiente, pode não promover variação adequada das exposições físicas, limitando seu potencial de prevenir lesões musculoesqueléticas. Este estudo avança sobre as conclusões de Nascimento & Messias (2018), ao demonstrar que, mesmo com rodízio, a ausência de melhorias estruturais nos postos de trabalho limita a redução efetiva dos agravos. Esses achados indicam que as ações preventivas implementadas de maneira isolada não são suficientes, atribuindo à gestão organizacional a responsabilidade por negligenciar uma abordagem sistêmica que integre ergonomia, saúde mental e revisão das práticas produtivas.

A utilização de dados secundários do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) constitui uma limitação relevante, uma vez que as notificações podem apresentar subregistro, erros de preenchimento e ausência de detalhamento das condições de trabalho. Ministério da Saúde (2025) reconhece que a qualidade das notificações depende da articulação entre os serviços de saúde, as empresas e os órgãos de fiscalização, revelando deficiências institucionais na integração dos sistemas de vigilância. Fundacentro (2023) acrescenta que a subnotificação crônica compromete o planejamento de políticas públicas efetivas, contribuindo para a invisibilidade dos agravos entre os trabalhadores. OSHA (2023) critica a ausência de dados ergonômicos sistematizados nas empresas, o que limita o monitoramento das exposições ocupacionais e dificulta a avaliação dos riscos reais. WHO & ILO (2021) alertam que a ausência de desagregação dos dados por gênero e função compromete a análise da magnitude dos riscos, transferindo a responsabilidade por essas lacunas aos empregadores e às instituições reguladoras. Apesar dessas limitações, o estudo apresenta o mérito de fornecer uma análise inédita no contexto brasileiro, ao integrar diagnósticos clínicos por CID-10 com ocupações específicas da cadeia produtiva de proteína animal, o que representa um avanço metodológico e contribui para o fortalecimento das bases de dados epidemiológicos disponíveis.

As evidências encontradas revelam implicações práticas significativas para a gestão da saúde ocupacional na cadeia produtiva de proteína animal, ao apontar funções prioritárias para a implementação de medidas ergonômicas e intervenções psicossociais. WHO & ILO (2021) recomendam que os programas setoriais contemplem abordagens integradas, associando ergonomia, saúde mental e organização do trabalho para reduzir a carga global de doenças ocupacionais. OSHA (2023) orienta a adoção da ergonomia participativa como ferramenta para ampliar a adesão dos trabalhadores e a efetividade das ações preventivas, sobretudo em atividades com elevada exigência física e repetitividade. Este estudo contribui teoricamente ao demonstrar a interação entre exposições físicas e psicossociais específicas das funções da cadeia produtiva de proteína animal, ampliando o escopo da literatura ao abordar os diferentes elos

produtivos. Os achados indicam que as práticas preventivas atuais ainda não são suficientes para mitigar os agravos musculoesqueléticos, ressaltando que as lacunas identificadas refletem falhas estruturais no cumprimento das normas regulamentadoras vigentes, como a a Norma Regulamentadora nº 36 (NR-36) e a Norma Regulamentadora nº 17 (NR-17), e evidenciam a necessidade de maior integração com as diretrizes da NR-01, que reforça a responsabilidade da gestão em identificar e controlar os riscos ocupacionais. Esses resultados reforçam a necessidade de intervenções sistêmicas que articulem políticas públicas, regulamentações e práticas de gestão compatíveis com as especificidades das atividades da cadeia produtiva de proteína animal.

Os resultados deste estudo indicam oportunidades para futuras investigações que aprofundem a análise das exposições ocupacionais na cadeia produtiva de proteína animal, considerando variáveis como gênero, idade, tempo de trabalho e fatores organizacionais associados. Também se recomenda explorar a interação entre diferentes tipos de riscos ocupacionais presentes nesse contexto produtivo, incluindo riscos físicos, biológicos, químicos, ergonômicos, psicossociais e relacionados a máquinas e equipamentos. Recomenda-se, igualmente, avaliar os processos de emissão e preenchimento da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT), examinando sua influência na subnotificação de agravos e nas limitações dos sistemas de vigilância epidemiológica. Essas investigações podem contribuir para diagnósticos mais precisos e para o desenvolvimento de intervenções direcionadas à melhoria das condições ergonômicas, organizacionais e ambientais ao longo da cadeia produtiva de proteína animal.

6. Conclusão

Este estudo apontou que os distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT) mantêm alta prevalência em ocupações críticas da cadeia de proteína animal no Brasil, com destaque para magarefe, açougueiro, abatedor e avicultor. A concentração dos diagnósticos em códigos específicos da CID-10, como M75, Z57 e M54, aponta para uma associação direta entre as exigências físicas das funções e os agravos notificados.

A análise por função ocupacional permitiu mapear padrões consistentes de adoecimento, os quais podem subsidiar a formulação de estratégias de intervenção mais específicas e eficazes. Esses resultados reforçam a necessidade da análise ergonômica integrada à vigilância epidemiológica, bem como da qualificação dos registros no SINAN. Espera-se que os dados apresentados contribuam para o aprimoramento de políticas públicas de saúde do trabalhador, o fortalecimento da atuação dos serviços de vigilância em saúde e o desenvolvimento de programas setoriais voltados à ergonomia e à prevenção de DORT. Estudos futuros podem



aprofundar essas análises por gênero, idade e tempo de trabalho, agregando ainda mais valor à formulação de intervenções preventivas no setor.

7. Agradecimentos

Os autores expressam seu reconhecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio concedido por meio do Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares (PROSUP). Agradecem a todos os profissionais e colaboradores que contribuíram para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMARO, J. et al. Musculoskeletal injuries and absenteeism among healthcare professionals ICD-10 characterization. PLOS ONE, v. 13, n. 12, p. e0207837, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207837>.

BARNEO-ALCÁNTARA, M. et al. Musculoskeletal Disorders in Agriculture: A Review from Web of Science Core Collection. Agronomy, v. 11, n. 10, p. 2017, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11102017>.

BAEK, K., Yang, S., Lee, M., & Chung, I. (2018). **The association of workplace psychosocial factors and musculoskeletal pain among Korean emotional laborers.** Safety and Health at Work, 9(4), 487–493. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.09.004>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN): dados epidemiológicos. Disponível em: <https://portalsinan.saude.gov.br/dados-epidemiologicos-SINAN>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Classificação Brasileira de Ocupações (CBO). Disponível em: <https://cbo.mte.gov.br/cbsite/pages/pesquisas/BuscaPorTitulo.jsf>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 1 (NR-1) – Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais.** Aprovada pela Portaria MTb nº 3.214, de 8 de junho de 1978, e atualizada pela Portaria MTE nº 1.419, de 27 de agosto de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/2024/portaria-mte-no-1-419-nr-01-gro-nova-redacao.pdf>. Acesso em: 08 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Relatório de Análise de Impacto Regulatório da NR-17 – Ergonomia.** Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/relatorios-air/relatorio-air-nr-17.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2025.



BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. (2024). **Norma Regulamentadora NR-36: Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados** (Atualizada pela Portaria MTE nº 1.065, de 1ª de julho de 2024). Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-36-nr-36>. Acesso em: 19 abr. 2025.

CID10.COM.BR. Classificação Internacional de Doenças – CID-10. Disponível em: <https://cid10.com.br/>. Acesso em: 19 abr. 2025.

DALBOGE, A. et al. Effects of a passive shoulder exoskeleton on muscle activity among Danish slaughterhouse workers. *Applied Ergonomics*, v. 114, p. 104111, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104111>.

DIAS, N. F. et al. Risk of slaughterhouse workers developing work-related musculoskeletal disorders in different organizational working conditions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 76, p. 102929, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102929>.

FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. **Panorama da Saúde do Trabalhador na Indústria da Proteína Animal**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/centrais-de-conteudo/pesquisa-intervencao/estudo-preliminar-em-frigorificos>. Acesso em: 19 abr. 2025.

JACKSON, J. A., Sund, M., Barlari Lobos, G., Melin, L., & Mathiassen, S. E. (2023). Assessing the efficacy of a job rotation for improving occupational physical and psychosocial work environment, musculoskeletal health, social equality, production quality and resilience at a commercial laundromat: protocol for a longitudinal case study. *BMJ Open*, 13, e067633. <http://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-067633>.

NASCIMENTO, A.; MESSIAS, I. A. de. Rodízio de postos em abate de bovinos: para além das dimensões físicas do trabalho. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 34, n. 10, e00095817, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00095817>.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION – OSHA. **Ergonomics for the prevention of musculoskeletal disorders: guidelines for meatpacking plants**. Washington, DC: U.S. Department of Labor. Disponível em: <https://www.osha.gov/ergonomics-guidelines>. Acesso em: 27 abr. 2025.

REIS, D. C. dos et al. Assessment of Risk Factors of Upper-limb Musculoskeletal Disorders in a Chicken Slaughterhouse. In: *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors*. Cham: Springer, p. 460-470, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-96080-7_15.



TAIBI, Y.; MARTIN, A.; LÉGERON, P. Psychosocial work factors and musculoskeletal disorders: a systematic review. *Occupational Medicine*, v. 71, n. 7, p. 329–338, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103434>.

TIRLONI, A. S. et al. Exertion Perception When Performing Cutting Tasks in Poultry Slaughterhouses: Risk Assessment of Developing Musculoskeletal Disorders. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 24, p. 9534, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17249534>.

TROELSTRA, S. A. et al. Multimorbidity and sickness absence: a study among Dutch workers. *Journal of Occupational Rehabilitation*, v. 30, p. 530–539, 2020. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3858>.

VAN DER MOLEN, H. F. et al. Interventions to prevent work-related musculoskeletal disorders: a systematic review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, v. 43, n. 2, p. 105–119, 2017. <https://doi.org/10.1136/oemed-2017-104339>.

WHO; ILO – World Health Organization; International Labour Organization. WHO/ILO joint estimates of the work-related burden of disease and injury, 2000–2016: Global monitoring report. Geneva: WHO; ILO, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034945>. Acesso em: 27 abr. 2025.

WU, J., Hu, Z., Han, Z., Gu, Y., Yang, L., & Sun, B. (2021). Human physiological responses of exposure to extremely cold environments. *Journal of Thermal Biology*, 98, 102933. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102933>.

3.2 Artigo 2: Distúrbios Musculoesqueléticos em Trabalhadores da Cadeia de Proteína Animal no Brasil (2006–2024): Diferenças de Idade e Gênero

Em continuidade às análises desenvolvidas nesta pesquisa, foi elaborado o artigo “Distúrbios Musculoesqueléticos em Trabalhadores da Cadeia de Proteína Animal no Brasil (2006–2024): Diferenças de Idade e Gênero”, cujo objetivo consiste em examinar os afastamentos do trabalho por Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs), com ênfase nas variáveis gênero e faixa etária, identificando padrões de incidência e evidenciando desigualdades nos impactos sobre diferentes grupos de trabalhadores ao longo do período analisado.

Este artigo está diretamente vinculado ao segundo objetivo específico desta dissertação: explorar as diferenças de gênero na incidência e impacto das DMRTs, considerando como essas variáveis influenciam a ocorrência dos afastamentos e a permanência dos trabalhadores na força de trabalho.

Assim como o primeiro, este artigo foi aprovado e publicado nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP 2025), encontrando-se disponível pelo DOI: https://doi.org/10.14488/enegep2025_tn_st_431_2117_50710. O manuscrito é apresentado na íntegra a seguir, compondo o conjunto de evidências que fundamentam esta dissertação.

Distúrbios Osteomusculares em Trabalhadores da Cadeia de Proteína Animal no Brasil (2006–2024): Diferenças de Idade e Gênero

Lilian Dias Pereira (Universidade Paulista)

Vando Aparecido Monteiro (Universidade Paulista)

Hércules José Marzoque (Universidade Paulista)

Rimena Canuto Oliveira (Instituto Federal do Piauí)

Irenilza de Alencar Nääs (Universidade Paulista)



Este estudo estimou a distribuição e evolução dos afastamentos por distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORTs) na cadeia produtiva de proteína animal no Brasil, comparando gênero e faixa etária no período de 2006 a 2024. Trata-se de uma pesquisa quantitativa, descritiva, longitudinal e exploratória, baseada em dados secundários do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), abrangendo atividades de criação, abate, processamento e comercialização de carnes. Foram analisados registros notificados dentro do período, envolvendo trabalhadores de 15 a 79 anos, com estratificação por gênero (masculino e feminino). Os resultados evidenciaram estabilidade dos afastamentos até 2021, seguida por aumento expressivo a partir de 2022, com predomínio masculino nas faixas de 20 a 49 anos e crescimento relevante entre mulheres de 50 a 64 anos. Estes achados ressaltam a necessidade de aprimorar estratégias preventivas ergonômicas e psicossociais, com políticas públicas e corporativas orientadas à consideração das especificidades de gênero e à promoção de condições laborais mais seguras e sustentáveis ao longo de toda a cadeia produtiva.

Palavras-chave: Absenteísmo, Saúde Ocupacional, Ergonomia, Fatores psicossociais, Epidemiologia do trabalho.

1. Introdução

O Brasil destaca-se no cenário mundial da produção de proteína animal, figurando entre os maiores produtores e exportadores globais, o que reforça a importância estratégica do setor para a economia nacional (ABPA, 2024). A crescente demanda internacional impulsionou a intensificação dos processos produtivos, aumentando a exposição dos trabalhadores a riscos físicos e ambientais (NASCIMENTO et. al, 2021). Contudo, a evolução do setor não foi acompanhada por melhorias equivalentes nas condições ergonômicas de trabalho, agravando os desafios à saúde ocupacional (FUNDACENTRO, 2023). Entre os agravos mais frequentes, os Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORTs) representam parcela significativa dos afastamentos médicos em ambientes de alta exigência biomecânica (WHO & ILO, 2021). A exposição ao frio em unidades de processamento compromete a função neuromuscular e eleva o risco de lesões (WU et al., 2021).

Apesar das atualizações normativas que reforçaram a gestão de riscos psicossociais no Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) (Brasil, 2021), a efetividade das ações preventivas ainda é limitada (OSHA, 2023). Estratégias de ergonomia, embora previstas, mostram fragilidades na sua implementação prática, principalmente em setores de alta rotatividade (Brasil, 2021). Bispo e Neto (2022) destacam que algumas empresas deixam de notificar acidentes ao INSS para evitar o aumento do Fator Acidentário de Prevenção (FAP) e penalizações, corroborando a existência de subnotificação nos registros oficiais e associando as condições laborais em frigoríficos ao desenvolvimento de lesões osteomusculares.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) também ressalta que, apesar de avanços normativos, a consolidação prática de programas de promoção da saúde musculoesquelética permanece incipiente (WHO, 2022). Nesse contexto, torna-se necessária a realização de análises setoriais que investiguem a evolução dos afastamentos por DORTs considerando as perspectivas de gênero e faixa etária.

Este estudo propõe avaliar a distribuição dos afastamentos por distúrbios osteomusculares na cadeia produtiva de proteína animal, considerando as variações segundo gênero e faixa etária no período de 2006 a 2024.

2. Referencial Teórico

A saúde ocupacional na cadeia produtiva de proteína animal enfrenta desafios expressivos decorrentes das exigências físicas, organizacionais e ambientais impostas pelas diversas etapas do processo produtivo (FUNDACENTRO, 2023). Entre os principais agravos, destacam-se os distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORTs), que figuram como uma das

maiores causas de absenteísmo e incapacidade funcional nos setores de criação, abate, processamento e comercialização de proteína animal (WHO & ILO, 2021). Os DORTs resultam da exposição a múltiplos fatores de risco presentes em diferentes etapas da cadeia, como cargas físicas elevadas, movimentos repetitivos e exposição a ambientes frios, que comprometem a função neuromuscular e aumentam o risco de lesões musculoesqueléticas (Wu et al., 2021). Além dos fatores físicos, elementos psicossociais (elevada demanda de trabalho, baixa autonomia decisória e suporte social limitado), são reconhecidos como determinantes na gênese e agravamento desses agravos (TAIBI et al., 2021). Apesar dos avanços regulatórios no Brasil, análises indicam que a efetividade prática das medidas preventivas ainda é limitada, sobretudo em ambientes de alta rotatividade e exposição intensiva a fatores de risco (OSHA, 2023). Mesmo onde estratégias de ergonomia foram implantadas, sua capacidade de reduzir efetivamente a incidência de DORTs permanece questionável (VAN DER MOLEN et al., 2017).

Outro desafio importante refere-se à subnotificação dos agravos osteomusculares, fenômeno que compromete a vigilância epidemiológica e a formulação de estratégias preventivas consistentes (NASCIMENTO et al., 2020). Em atividades como criação, transporte e processamento de proteína animal, a normalização dos agravos no cotidiano laboral dificulta a visibilidade dos DORTs nos registros oficiais (REIS et al., 2023). A OMS enfatiza que, embora haja reconhecimento crescente dos riscos ocupacionais, a implementação efetiva de programas de promoção da saúde musculoesquelética ainda enfrenta barreiras significativas (WHO, 2022). Distúrbios LER/DORT são uma preocupação significativa entre os trabalhadores de abatedouros. O risco de experimentar desconforto corporal ou DORTs parece diferir entre trabalhadores do sexo masculino e feminino. Um estudo em abatedouro de aves no Brasil encontrou uma associação significativa entre desconforto corporal percebido e gênero feminino, indicando que o risco de uma trabalhadora sentir desconforto corporal é 77% maior em comparação com um trabalhador do sexo masculino (TIRLONI et al., 2019). Essa diferença é corroborada por vários outros estudos (MAKORI et al., 2018; HANCHAROENKUL et al., 2022; FRANÇA et al., 2023). Portanto, o gênero é um fator importante que influencia a ocorrência e distribuição de DORTs entre funcionários de abatedouros para a produção de carne. Pesquisas sobre trabalhadores idosos revelam relações complexas entre idade, características do trabalho e resultados do trabalho (ILMARINEN, 2001; BOUMANS et al., 2011). A idade também é um fator que influencia a incidência e a gravidade dos DORT devido à degeneração biológica e à exposição ocupacional cumulativa (OCCHIPINTI &

COLOMBINI, 2000), necessitando de estratégias ergonômicas e de prevenção sensíveis à idade.

3. Metodologia

Este estudo adotou uma abordagem quantitativa, descritiva, longitudinal e exploratória com o objetivo de mensurar e caracterizar a evolução dos afastamentos por DORTs na cadeia produtiva de proteína animal no Brasil, no período de 2006 a 2024. A análise concentrou-se na identificação de tendências segundo o gênero e a faixa etária dos trabalhadores afetados. A pesquisa utilizou dados secundários do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), base pública nacional que consolida registros de notificações compulsórias de agravo à saúde.

Foram selecionados registros correspondentes às atividades da cadeia de proteína animal, abrangendo criação de animais, abate de aves e bovinos, processamento de produtos de carne e comércio atacadista e varejista de carnes e derivados, com a filtragem orientada pelos códigos da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO).

A abordagem quantitativa permitiu a mensuração objetiva dos afastamentos e a análise estatística de sua distribuição por gênero e faixa etária ao longo do tempo. A estatística descritiva mostrou as tendências observadas. O caráter longitudinal viabilizou o acompanhamento da evolução dos afastamentos ao longo de 19 anos consecutivos, possibilitando a identificação de mudanças no perfil epidemiológico dos trabalhadores. O enfoque exploratório teve como propósito investigar padrões de recorrência entre grupos de gênero e idade, contribuindo para a formulação de hipóteses e o direcionamento de futuras estratégias de prevenção no setor analisado.

Dos dados brutos foram excluídas 13 planilhas acessórias não relacionadas à cadeia produtiva de proteína animal, delimitando o banco principal de análise. Inicialmente, o conjunto de dados contava com 133.424 linhas e 93 colunas. Foi criada uma coluna adicional para a inserção de um identificador único sequencial para cada registro. A seleção específica de registros vinculados às atividades da cadeia de proteína animal, com base nos códigos da CNAE e da CBO, resultou na redução do banco de dados para 2.936 registros. Paralelamente, das 93 colunas originais, foram selecionadas 55 colunas consideradas mais relevantes para os objetivos do estudo. O tempo de afastamento, inicialmente registrado em diferentes unidades (horas, dias, meses e anos), foi padronizado para dias: valores em horas foram divididos por 24; em meses, multiplicados por 30; e em anos, multiplicados por 365. Os valores que já estavam expressos



em dias foram mantidos inalterados. Foram descartados registros com incongruências, como tempo informado sem unidade correspondente, unidade sem valor numérico, e afastamentos inferiores a um dia.

A idade dos trabalhadores foi calculada com base na diferença entre o ano de nascimento e o ano da notificação. As células vazias foram preenchidas com o termo "ignorado" para padronizar a base. Registros com afastamentos superiores a 60 anos foram descartados por inconsistência. As variáveis utilizadas para as análises deste estudo correspondem às apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis consideradas no estudo e sua descrição

Variável dependente	Descrição
Idade	De 15 a 79 anos
Afastamento médico	Afastamento médico igual ou superior a 1 dia
Gênero	Masculino e feminino
Diagnóstico	Doença (conforme a Classificação Internacional de Doenças - CID-10)
Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)	Códigos CNAE relacionados às atividades da cadeia produtiva de proteína animal

Fonte: Os autores.

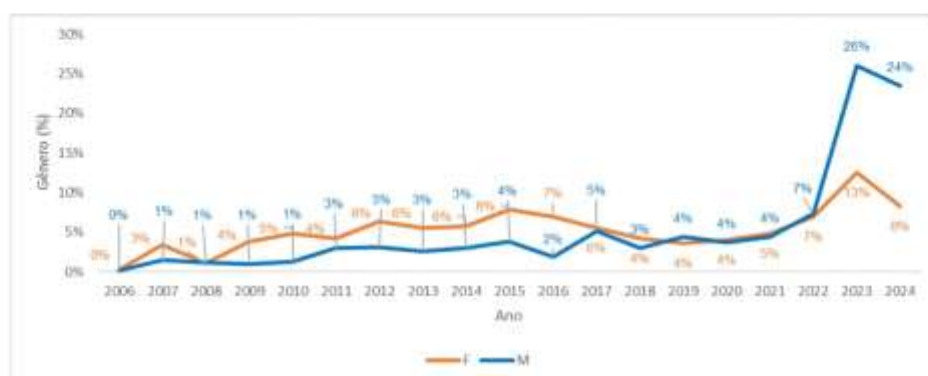
As etapas de organização e análise dos dados foram realizadas no Microsoft Excel, abrangendo a tabulação dos registros, a uniformização dos campos selecionados e a preparação dos resultados. O estudo foi conduzido exclusivamente com dados secundários, públicos e anonimizados, oriundos de registros administrativos nacionais, sem coleta direta de informações dos trabalhadores. Em conformidade com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, a pesquisa foi dispensada de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa. Todas as etapas seguiram os princípios da integridade científica e da proteção à privacidade dos indivíduos. O campo "gênero" foi utilizado conforme registrado no SINAN, sem possibilidade de validação adicional, podendo haver inconsistências decorrentes de erros no preenchimento. A variável "idade" foi estimada a partir da diferença entre o ano de nascimento e o ano de notificação, o que pode introduzir pequenas imprecisões nas análises por faixa etária. Além disso, a análise depende da emissão e correta notificação da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT), cuja ausência ou erro de preenchimento pode contribuir para a subnotificação dos afastamentos. Em função do delineamento descritivo e exploratório adotado, os resultados

obtidos permitem identificar padrões e tendências nos afastamentos analisados, sem a possibilidade de estabelecer relações de causalidade.

4. Resultados

A Figura 1 apresenta a análise da evolução da representatividade percentual dos afastamentos por distúrbios osteomusculares segundo o gênero, no período de 2006 a 2024.

Figura 1 – Evolução do afastamento por doença por gênero (2006–2024)



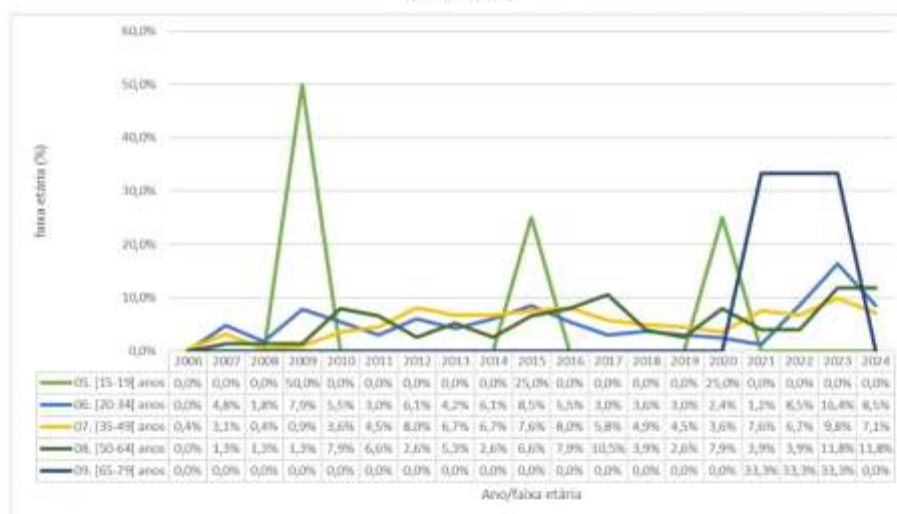
Fonte: Os autores.

A representatividade percentual por gênero foi calculada com base no total anual de afastamentos analisados, considerando a proporção de registros notificados para trabalhadores do gênero feminino e masculino em relação ao conjunto de casos observados em cada ano da série histórica. Durante o período de 2006 a 2021, os percentuais de representatividade mantiveram-se baixos e relativamente estáveis para ambos os gêneros. O gênero feminino variou de 0% a 8%, enquanto o masculino apresentou variações entre 0% e 5%. Em grande parte desse período, a participação feminina manteve-se levemente superior à masculina, especialmente entre 2010 e 2017, ainda que ambos os gêneros registrassem percentuais limitados, refletindo um volume reduzido de notificações na cadeia produtiva de proteína animal nesse intervalo. A partir de 2022, entretanto, observou-se uma mudança no padrão dos afastamentos. Houve um aumento acentuado nos percentuais em ambos os gêneros, com maior destaque para o masculino. Em 2023, o percentual masculino atingiu 26%, enquanto o feminino alcançou 13%, representando um dos maiores contrastes de toda a série histórica. Em 2024, os percentuais permaneceram elevados, embora com leve redução em relação ao ano anterior, totalizando 24% para homens e 8% para mulheres. Os dados demonstram um aumento recente

no percentual de afastamentos relacionados a distúrbios osteomusculares, com maior proporção entre trabalhadores do gênero masculino.

Com o objetivo de aprofundar a caracterização dos afastamentos, analisou-se a distribuição percentual por faixa etária no gênero feminino ao longo da série histórica. A Figura 2 apresenta a evolução da distribuição percentual dos afastamentos segundo as faixas etárias no gênero feminino, ao longo da série histórica de 2006 a 2024.

Figura 2 – Percentagem da distribuição do afastamento por doença por grupo de idade, no gênero feminino (2006–2024)



Fonte: Os autores.

A maior concentração de afastamentos entre trabalhadoras do gênero feminino ocorreu nas faixas etárias de 20 a 34 anos e de 35 a 49 anos. A faixa de 20 a 34 anos atingiu 8,5% em 2015 e 8,5% em 2024, além de registrar 16,4% em 2023, o valor mais elevado para essa faixa. A faixa de 35 a 49 anos apresentou variações entre 0,4% e 9,8%, atingindo seu pico em 2023. A faixa de 50 a 64 anos, embora com percentuais inferiores nos anos iniciais, mostrou crescimento progressivo a partir de 2010, alcançando 6,6% em 2011, 7,9% em 2016 e estabilizando-se em 11,8% tanto em 2023 quanto em 2024. Já a faixa de 15 a 19 anos apresentou valores isoladamente elevados em 2009 (50,0%) e em 2015 (25,0%), mas manteve percentuais muito baixos nos demais anos. A faixa de 65 a 79 anos, teve participação praticamente nula até 2021, quando passou a registrar 33,3% em 2021, 2022 e 2023, sem continuidade em 2024. A Figura 3 apresenta a distribuição percentual dos afastamentos por faixa etária no gênero masculino.

Figura 3– Percentagem de distribuição do afastamento por doença por grupo de idade de gênero masculino (2006–2024)



Fonte: Os autores.

A maior concentração de afastamentos entre trabalhadores do gênero masculino ocorreu nas faixas etárias de 20 a 34 anos e de 35 a 49 anos. A faixa de 20 a 34 anos mostra percentuais consistentes ao longo da série, com crescimento mais acentuado a partir de 2022, atingindo 32,5% em 2023 e 32,2% em 2024. A faixa de 35 a 49 anos manteve-se presente na série histórica, variando de 0,5% em 2006 a 20,0% em 2023, seguido de 15,0% em 2024. A faixa etária de 50 a 64 anos registrou aumentos graduais, com percentuais de 6,7% em 2012, 11,4% em 2017 e 13,3% em 2023. Já a faixa de 15 a 19 anos, que inicialmente apresentou percentuais nulos, passou a registrar valores expressivos a partir de 2021, alcançando 41,7% em 2023 e 45,8% em 2024, sendo a faixa etária com o maior percentual registrado nesses anos. Já a faixa de 65 a 79 anos apresentou participação pontual e concentrada, atingindo 40,0% em 2015, 20,0% em 2017 e 40,0% em 2023, sem continuidade em 2024.

5. Discussão

A evolução dos afastamentos por distúrbios osteomusculares na cadeia produtiva de proteína animal entre 2006 e 2024 mostrou estabilidade até 2021, seguida de aumento expressivo a partir de 2022, especialmente entre homens, que representaram 26% dos casos em 2023. A faixa etária predominante foi de 20 a 49 anos para ambos os gêneros, com aumento dos afastamentos masculinos entre 15 e 19 anos e femininos entre 50 e 64 anos. Essa tendência é consistente com a literatura, que reconhece os DORTs como uma das principais causas de incapacidade de longo prazo e custos trabalhistas, incluindo absenteísmo e perda de produtividade (Greggi et al., 2024). Embora não haja estudos que apontem especificamente a concentração de afastamentos

entre 20 e 49 anos, Troelstra et al. (2020) analisaram a relação entre multimorbidade e perda de produtividade em adultos economicamente ativos, destacaram que a presença de múltiplas condições de saúde está associada ao aumento do absenteísmo e do presentismo. Os resultados também corroboram com Taibi et al. (2021), que identificaram elevadas demandas de trabalho, baixa autonomia e suporte social insuficiente como fatores psicossociais determinantes para o surgimento e cronificação dos DORTs.

Avanços normativos recentes, como as atualizações das NRs sobre ergonomia e segurança no abate de carnes, introduziram novos requisitos para a gestão dos riscos laborais (BRASIL, 2021). Tirloni et al. (2019) destacam que mulheres relatam maior frequência e intensidade de desconforto corporal, apontando lacunas ergonômicas ainda não resolvidas; entretanto, os dados deste estudo revelaram que, nos anos mais recentes, os afastamentos por DORTs foram mais prevalentes entre homens, sugerindo dinâmicas ocupacionais que ampliam os riscos para ambos os gêneros. Maatwk et al. (2025) observam que intervenções padronizadas perpetuam desigualdades e mantêm alta incidência de agravos entre mulheres. França et al. (2022) apontam que tarefas de força bruta são atribuídas majoritariamente a homens, enquanto mulheres se concentram em atividades repetitivas e de alta precisão, ambas relacionadas a distúrbios osteomusculares distintos.

A intensificação das jornadas e o aumento das pressões por produtividade têm agravado os fatores psicossociais no ambiente de trabalho, o que eleva a incidência de dores musculoesqueléticas (Nascimento, 2021). França et al. (2022) apontam que tarefas de força ativa são atribuídas majoritariamente a homens, enquanto mulheres se concentram em atividades repetitivas e de alta precisão, ambas relacionadas a distúrbios osteomusculares distintos. A ausência de adaptações ergonômicas dirigidas ao público feminino mantém elevados os índices de sintomas musculoesqueléticos, mesmo em ambientes com políticas formalizadas (Mohammadi et al., 2017). Sompan et al. (2024) ressaltam que tarefas repetitivas e de alta precisão, atribuídas majoritariamente às mulheres, agravam dores nas mãos e punhos, evidenciando a necessidade de ajustes ergonômicos mais específicos.

Embora fundamentais para o perfil epidemiológico, esses sistemas como o SINAN dependem de registros completos, o que raramente se concretiza em setores de alta rotatividade e vínculos precários (Fundacentro, 2023). A prática de subnotificação para minimizar impactos no Fator Acidentário de Prevenção (FAP) compromete a vigilância epidemiológica em frigoríficos, onde as condições laborais favorecem o aumento das lesões osteomusculares (Bispo e Neto, 2022). A subnotificação de doenças osteomusculares permanece um desafio mesmo em ambientes formais. Nascimento et. al (2020) evidenciam que a banalização dos sintomas e a limitada



sensibilização dos profissionais de saúde quanto à relação entre trabalho e adoecimento contribuem para a subestimação dos casos. Essa invisibilidade epidemiológica é agravada em atividades como o abate e processamento de carnes, apontam Reis et al. (2023). Bonetti, Binder e Almeida (2003) relatam que 80% dos acidentes envolveram homens, predominantemente de 18 a 24 anos, e mulheres entre 30 e 39 anos; este perfil corrobora com os resultados do presente estudo, que registraram afastamentos expressivos entre mulheres de 20 a 49 anos e aumento recente entre homens. Maatwk et al. (2025) associam o comportamento de notificação de agravos às dinâmicas institucionais e ao nível de proteção social, gerando variações nos padrões de reporte.

A necessidade de fortalecer estratégias preventivas é enfatizada pela Occupational Safety and Health Administration -OSHA (OSHA, 2023), que recomenda a reestruturação dos postos de trabalho e a redução das cargas físicas em setores de alta demanda biomecânica. A ergonomia, ao adequar as tarefas às capacidades dos trabalhadores, constitui um eixo central para mitigar os impactos negativos sobre o sistema musculoesquelético (Greggi et al., 2024). Jackson et al. (2023) destacam que rodízios sem foco em equidade de gênero perpetuam desigualdades, corroborando os resultados do presente estudo que identificou aumento recente dos afastamentos masculinos, e ainda expressiva de mulheres em faixas etárias ativas. Waithaka et al. (2017) destacam que a segmentação funcional por gênero, comum no setor frigorífico, mantém mulheres em funções repetitivas e menos valorizadas, perpetuando desigualdades que dificultam avanços em saúde ocupacional.

A OMS (WHO, 2022) recomenda a implementação de programas de ergonomia como medida para mitigar os impactos econômicos e sociais desses agravos, mas reconhece que a adoção prática dessas estratégias permanece limitada em diversos países. Van der Molen et al. (2017) reforçam que programas ergonômicos, mesmo quando formalizados, têm eficácia limitada na redução de DORTs, o que encontra respaldo nos dados deste estudo, que indicam falhas persistentes nas estratégias preventivas. De forma complementar, a OSHA (OSHA, 2023) defende que a integração entre ergonomia, treinamento e reestruturação organizacional é essencial para reduzir o risco de agravos musculoesqueléticos em setores de alta demanda biomecânica.

No contexto brasileiro, a baixa emissão da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) compromete a identificação e o reconhecimento oficial das doenças ocupacionais, conforme registrado pelo Ministério da Previdência Social (BRASIL, 2021), impactando a qualidade dos dados epidemiológicos disponíveis. A eficácia das intervenções preventivas, particularmente os programas de ergonomia, ainda apresenta resultados inconsistentes (MOLEN et al., 2017).



A análise comparativa com estudos nacionais e internacionais evidencia a permanência de fragilidades estruturais nas práticas de saúde e segurança ocupacional, como a ausência de integração efetiva de fatores psicossociais nas estratégias preventivas (WHO, 2022), a limitada aplicação de medidas ergonômicas recomendadas (OSHA, 2023) e as deficiências persistentes nos sistemas de registro e monitoramento de agravos (Ministério da Previdência Social, 2021). Diante do cenário de incertezas quanto à consolidação do padrão de aumento dos afastamentos observado em 2023 e 2024, reforça-se a necessidade de um monitoramento contínuo e aprofundado das condições de trabalho. O fortalecimento da articulação entre as áreas de saúde do trabalhador, o sistema de proteção social e as práticas de gestão organizacional é essencial para ampliar a efetividade das políticas públicas e privadas de prevenção, promovendo ambientes laborais mais saudáveis, equitativos e sustentáveis, conforme recomendado pela OMS (WHO, 2022) e pela Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2023).

O presente estudo contribuiu para uma melhor compreensão dos padrões de adoecimento ocupacional na cadeia produtiva de proteína animal no Brasil, ao integrar um recorte setorial específico a uma série histórica ampliada desde a implantação do SINAN Net em 2006.

Uma das limitações do estudo consiste no fato da implantação do SINAN Net ter sido em 2006, embora tenha padronizado os registros nacionalmente, pode ter acarretado subregistro ou inconsistências nos dados do primeiro ano. A exclusão de registros com idades incompatíveis, embora necessária para a consistência da base, pode ter impactado a composição final dos dados analisados. De modo geral, a utilização de dados secundários impõe limitações relacionadas à qualidade dos registros, incluindo possíveis erros de preenchimento, omissões e inconsistências nas informações reportadas.

Considerando essas lacunas, recomenda-se que pesquisas futuras priorizem análises longitudinais da evolução dos afastamentos após 2024, com o objetivo de confirmar ou refutar a hipótese de emergência de novas tendências. Também são necessárias investigações sobre a efetividade de programas que integrem ergonomia e gestão psicossocial, a superação de barreiras institucionais à emissão da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) e o fortalecimento dos sistemas de registro e monitoramento de agravos. A avaliação de modelos organizacionais baseados em práticas multifatoriais poderá oferecer subsídios adicionais para o aprimoramento das estratégias de promoção da saúde laboral. Em função dos resultados obtidos e das lacunas identificadas na literatura, reforça-se a necessidade de ações articuladas para o monitoramento contínuo dos afastamentos, o aprimoramento das estratégias preventivas, incluindo intervenções ergonômicas, e a incorporação da perspectiva de gênero e faixa etária nas políticas de saúde ocupacional.



6. Conclusão

Os resultados deste estudo indicaram predominância de trabalhadores do gênero masculino nos afastamentos, especialmente nas faixas etárias de 20 a 34 anos e de 35 a 49 anos, ao longo da série histórica analisada. Esse cenário evidencia a importância de incorporar a perspectiva de gênero e idade no desenvolvimento de estratégias de prevenção, com políticas voltadas à adaptação ergonômica das condições de trabalho, à gestão dos fatores psicossociais e ao fortalecimento da vigilância epidemiológica.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Paulista (UNIP) pelo apoio institucional ao desenvolvimento desta pesquisa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio do Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares (PROSUP).

REFERÊNCIAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2024**. São Paulo: ABPA, 2024. Disponível em: https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2024/04/ABPA-Relatorio-Anual-2024_capa_frango.pdf. Acesso em: 19 abr. 2025.

BAEK, K., Yang, S., Lee, M., & Chung, I. (2018). **The association of workplace psychosocial factors and musculoskeletal pain among Korean emotional laborers**. *Safety and Health at Work*, 9(4), 487–493. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.09.004>.

BISPO, E. da C., Santos, S. de J., Lopes, O. F., Bertolde, F. Z., & Moura Neto, L. G. de. (2022). **Acidentes do trabalho nos frigoríficos brasileiros**. *Research, Society and Development*, 11(11), e272111133356. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33356>.

BONETTI, L. C., Zanini, J. F. D., Bassetto, E. L., & Finocchio, M. A. F. (2019). A importância do uso de EPIs na redução dos acidentes de trabalho em empresas de abate e processamento de carnes. In **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP 2019**. Ponta Grossa, Brasil.

BOUMANS, N. P., De Jong, A. H., & Janssen, S. M. (2011). Age-differences in work motivation and job satisfaction. **The influence of age on the relationships between work characteristics and workers' outcomes**. *The international journal of aging and human development*, 73(4), 331-350. <https://doi.org/10.2190/AG.73.4.d>



BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) 2024**. Brasília, DF: MTE, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/estatisticas-trabalho/rais/rais-2024/rais-2024-parcial/sumario-executivo_rais-2024-parcial.pdf. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 1 (NR-1) – Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais**. Aprovada pela Portaria MTb nº 3.214, de 8 de junho de 1978, e atualizada pela Portaria MTE nº 1.419, de 27 de agosto de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/2024/portaria-mte-no-1-419-nr-01-gro-nova-redacao.pdf>. Acesso em: 08 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Relatório de Análise de Impacto Regulatório da NR-17 – Ergonomia**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/relatorios-air/relatorio-air-nr-17.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. (2024). **Norma Regulamentadora NR-36: Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados** (Atualizada pela Portaria MTE nº 1.065, de 1º de julho de 2024). Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadoras/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-36-nr-36>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN)**; dados epidemiológicos. Disponível em: <https://portalsinan.saude.gov.br/dados-epidemiologicos-SINAN>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)**. Disponível em: <https://cbo.mte.gov.br/cbsite/pages/pesquisas/BuscaPorTitulo.jsf>. Acesso em: 19 abr. 2025.

CID10.COM.BR. **Classificação Internacional de Doenças – CID-10**. Disponível em: <https://cid10.com.br/>. Acesso em: 19 abr. 2025.

FUNDACENTRO – **Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho**. Panorama da Saúde do Trabalhador na Indústria da Proteína Animal. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/centrais-de-conteudo/pesquisa-intervencao/estudo-preliminar-em-frigorificos>. Acesso em: 19 abr. 2025.

FRANÇA, V., Amorim, P., Da Silva, L., & Lopes, A. (2023). **Musculoskeletal disorders related to the working environment in the slaughter sector of a meatpacking plant**. International Seven Journal of Health Research. <https://doi.org/10.56238/isevjhv2n5-002>



GREGGI, C., Visconti, V.V., Albanese, M., Gasperini, B., Chiavoghilefu, A., Prezioso, C., Persechino, B., Iavicoli, S., Gasbarra, E., Iundusi, R., et al. (2024). **Work-Related Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis**. *Journal of Clinical Medicine*, 13(13), 3964. <https://doi.org/10.3390/jcm13133964>.

HANCHAROENKUL, B., Joseph, L., Khamwong, P., & Pirunsan, U. (2022). An investigation of the prevalence of work-related musculoskeletal pain and related disability among poultry slaughterhouse workers: a cross-sectional study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 96, 463-472. <https://doi.org/10.1007/s00420-022-01940-x>.

JACKSON, J. A., Sund, M., Barlari Lobos, G., Melin, L., & Mathiassen, S. E. (2023). **Assessing the efficacy of a job rotation for improving occupational physical and psychosocial work environment, musculoskeletal health, social equality, production quality and resilience at a commercial laundromat: protocol for a longitudinal case study**. *BMJ Open*, 13, e067633. <http://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-067633>.

MAKORI, C. M., Warutere, P. N., & Nguhiu, P. N. (2018). **Factors associated with the injuries inflicted to workers in slaughterhouses and meat processing plants in Nairobi, Kenya**. *International Journal of Current Research in Life Sciences*, 7(05), 2020-2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/325657346>. Acesso em: 19 abr. 2025.

MAATW, Mahmoud et al. **Reporting behavior of occupational diseases: Institutional determinants in the Middle East**. *Journal of Occupational Health*, v. 67, e12345, 2025. <https://doi.org/10.1111/gwao.13254>.

NASCIMENTO, M. G., Kosminsky, M., & Chi, M. (2020). **Gender role in pain perception and expression: an integrative review**. *BrJP - Brazilian Journal of Pain*, 3(1), 58-62. <https://doi.org/10.5935/2595-0118.20200013>

MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL (Brasil). **Anuário Estatístico da Previdência Social 2021**. Brasília: MPS, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/dados-abertos>. Acesso em: 29 abr. 2025.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION – OSHA. **Ergonomics for the prevention of musculoskeletal disorders: guidelines for meatpacking plants**. Washington, DC: U.S. Department of Labor. Disponível em: <https://www.osha.gov/ergonomics-guidelines>. Acesso em: 27 abr. 2025.

OCCHIPINTI, E., & Colombini, D. (2000). Aging at work and musculoskeletal disorders.. *La Medicina del lavoro*, 91 4, 342-53. Acesso em: https://www.researchgate.net/publication/12228541_Aging_at_work_and_musculoskeletal_disorders

REIS, D., Moro, A. (2023). Assessment of risk factors of upper limb musculoskeletal disorders in a meat processing plant. In: Ravindra S. Goonetilleke and Shuping Xiong (eds) *Physical Ergonomics and Human*



Factors. AHFE (2023) International Conference. AHFE Open Access, vol 103. AHFE International, USA.
<http://doi.org/10.54941/ahfe1003043>.

TAIBI, Y.; MARTIN, A.; LÉGERON, P. **Psychosocial work factors and musculoskeletal disorders: a systematic review**. Occupational Medicine, v. 71, n. 7, p. 329–338, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103434>.

TIRLONI, A., Reis, D., Borgatto, A., & Moro, A. (2019). **Association between perception of bodily discomfort and individual and work organisational factors in Brazilian slaughterhouse workers: a cross-sectional study**. BMJ Open, 9, <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-022824>.

TROELSTRA, S. A. et al. **Multimorbidity and sickness absence: a study among Dutch workers**. Journal of Occupational Rehabilitation, v. 30, p. 530–539, 2020. <https://doi.org/10.5271/sjweb.3858>.

VAN DER MOLEN, H. F. et al. **Interventions to prevent work-related musculoskeletal disorders: a systematic review**. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, v. 43, n. 2, p. 105–119, 2017.
<https://doi.org/10.1136/oemed-2017-104339>.

WHO – **World Health Organization. Healthy workplaces: a model for action: for employers, workers, policymakers and practitioners**. Geneva: WHO, 2022. Disponível em:
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241599313>. Acesso em: 27 abr. 2025.

WHO; ILO – **World Health Organization; International Labour Organization**. WHO/ILO joint estimates of the work-related burden of disease and injury, 2000–2016: Global monitoring report. Geneva: WHO; ILO, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034945>. Acesso em: 27 abr. 2025.

WU, J., Hu, Z., Han, Z., Gu, Y., Yang, L., & Sun, B. (2021). **Human physiological responses of exposure to extremely cold environments**. Journal of Thermal Biology, 98, 102933.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102933>.

3.3 Artigo 3: *Work-Related Musculoskeletal Disorders in Brazil's Meat Industry: A 2006–2024 Occupation, Age, and Gender Overview*

Dando continuidade às análises realizadas nesta pesquisa, foi elaborado o artigo intitulado “*Work-Related Musculoskeletal Disorders in Brazil's Meat Industry: A 2006–2024 Occupation, Age, and Gender Overview*”. O estudo tem como objetivo examinar a distribuição dos afastamentos por Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) na cadeia produtiva de proteína animal no Brasil, considerando simultaneamente as variáveis gênero, faixa etária, ocupação e diagnósticos clínicos. A investigação identifica padrões epidemiológicos de adoecimento e evidencia desigualdades estruturais nos impactos sobre diferentes grupos de trabalhadores, relacionando esses achados a condicionantes ergonômicos e organizacionais do trabalho, além de fragilidades nos mecanismos de notificação e gestão dos afastamentos.

Este artigo está diretamente vinculado ao terceiro objetivo específico desta dissertação, que consiste em examinar a distribuição dos afastamentos por DMRTs segundo gênero, faixa etária e ocupação, destacando padrões epidemiológicos e a segregação de riscos por gênero, de modo a subsidiar políticas preventivas mais inclusivas e sensíveis às características da força de trabalho.

O manuscrito foi publicado na revista *Safety*, fevereiro de 2026, integrando o *Special Issue “Women's Issues in Safety”*, e encontra-se disponível por meio do identificador digital permanente DOI: <https://doi.org/10.3390/safety12010018>. O texto completo do artigo é apresentado a seguir como parte integrante do conjunto de evidências empíricas que fundamentam esta dissertação.



Article

Work-Related Musculoskeletal Disorders in Brazil's Meat Industry: A 2006–2024 Occupation, Age, and Gender Overview

Lilian Dias Pereira ¹, Irenilza de Alencar Nãas ^{1,*}, Vando Aparecido Monteiro ¹, Hercules Jose Marzoque ¹ and Maria do Carmo Baracho de Alencar ²

¹ Graduate Program in Production Engineering, Paulista University, Rua Dr. Bacelar 1212, São Paulo 04026-00, SP, Brazil; lilandiasp@yahoo.com.br (L.D.P.); vandoapm@gmail.com (V.A.M.); hercules_marzoque@hotmail.com (H.J.M.)

² Department of Health, Education and Society, Federal University of São Paulo, Rua Silva Jardim, 136, Santos 11015-020, SP, Brazil; alencar@unifesp.br

* Correspondence: irenilza.naas@doente.unip.br

Abstract

This study presents a quantitative, cross-sectional analysis of work-related musculoskeletal disorders (WRMSDs) among sick leave recipients in Brazil's meat production chain, using official surveillance data. A marked temporal shift was observed; women remained more affected by upper limb injuries, such as shoulder and wrist disorders. In 2022, male notifications surpassed female ones, marking a turning point linked to improved reporting and the inclusion of WRMSDs in Brazil's compulsory notification list. Workers aged 20–49 were the most impacted group, with diagnoses including shoulder lesions, tenosynovitis, carpal tunnel syndrome, back pain, and occupational risk exposure. The findings highlight systemic barriers, including underreporting, inadequate protection, and weak return-to-work protocols. Implementing gender-differentiated ergonomic protocols is crucial, as it requires reducing repetitive strain for women in line-feeding/cutting roles, and mitigating environmental hazards (such as cold, vibration, and chemical exposure) for men in farming/slaughtering. These results underscore the urgent need for gender-sensitive preventive strategies and occupational health policies tailored to the meat processing industry.

Keywords: work-related musculoskeletal disorders (WRMSDs); occupational health surveillance; gender disparities; meat processing industry; ergonomic risk factors

1. Introduction

The animal protein processing industry is a critical pillar of global food security and a significant economic driver for many countries [1]. Brazil stands out in this context, ranking among the world's top poultry meat producers and being the leading global exporter, with 13.8 million tons produced in 2023, of which 31% were exported [2]. In beef production, Brazil surpassed 10 million tons and exported over 20% of its output [3]. These figures underscore Brazil's strategic position, recognized by international monitoring bodies such as the European Commission and the United States Department of Agriculture (USDA), as a central actor in maintaining global meat market balance [4,5].

Despite its prominence, the Brazilian meat industry faces chronic occupational health challenges, particularly in slaughterhouses, where repetitive tasks, cold environments, and accelerated work rhythms prevail [6]. These conditions contribute to work-related musculoskeletal disorders (WRMSDs) such as tendinitis, bursitis, back pain, and carpal tunnel syndrome, leading to absenteeism, high turnover, and increased social security



Academic Editor: Raphael Grobnieta

Received: 21 November 2025

Revised: 20 January 2026

Accepted: 29 January 2026

Published: 2 February 2026

Copyright: © 2026 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

expenditures [7,8]. According to WHO/ILO [9] estimates, WRMSDs are among the most common of the 374 million annual non-fatal occupational illnesses worldwide.

In the International Classification of Diseases (ICD-10), many musculoskeletal disorders are coded under various categories, and one code, Z57, is often included in analyses even though it does not refer to a specific disease [10]. Code Z57 refers to occupational exposure to risk factors, identifying situations in which workers encounter potentially harmful conditions that may affect their health [9]. This classification encompasses a broad spectrum of physical, environmental, and organizational hazards, including extreme temperatures, noise, and adverse working conditions [11,12]. In labor-intensive sectors such as animal slaughter and meat processing, these exposures are intrinsically linked to production processes characterized by cold environments, repetitive tasks, and high work rhythms [13,14]. By incorporating Z57 into the analysis, it becomes possible to identify occupational exposure patterns that may coexist with or even precede clinically defined WRMSDs, thereby supporting a more comprehensive assessment of health risks in the animal protein production chain [15].

International agencies [10,11] classify the meat processing sector among the highest-risk sectors due to the biomechanical demands of tasks performed in cold, high-pressure environments. These demands include force, repetition, posture, and environmental stressors, which are distributed unevenly across the gendered workforce. In Brazil, more than 80% of meat-industry jobs require prolonged standing and are performed at low temperatures [16], conditions that exacerbate fatigue and physical strain [17]. Additionally, subjective perceptions of physical effort, influenced by age, experience, and conditioning, modulate workers' responses to biomechanical stress [18].

Work-related musculoskeletal disorders (WRMSDs) remain among the leading causes of occupational morbidity and sick leave worldwide, particularly in labor-intensive sectors such as meat and poultry processing and animal production chains [1–4]. Studies have shown that repetitive manual tasks, awkward postures, and forceful exertions contribute significantly to the development of upper-limb and spinal pathologies in this workforce [5,6]. These risks are often exacerbated by environmental factors (e.g., cold exposure, vibration, and pace-driven production systems) that increase biomechanical load [7,8].

In Brazil, as in other countries, WRMSDs account for a large proportion of temporary or permanent incapacity cases, especially in the food-processing and agribusiness sectors [9,10]. Evidence suggests that women are disproportionately affected by repetitive, low-autonomy tasks (such as cutting, trimming, and packaging), whereas men tend to predominate in heavy-lifting, carcass handling, and maintenance roles, which are more strongly associated with back pain and shoulder lesions [11–13]. The age distribution of affected workers typically peaks between 30 and 49 years, reflecting cumulative exposure during early and mid-career stages [14]. Similar occupational and diagnostic patterns have been reported in international studies of WRMSD-related sick leave, in which tenosynovitis (M65), shoulder lesions (M75), carpal tunnel syndrome (G56), and back pain (M54) consistently rank among the leading causes across both sexes [15–18]. These convergent findings highlight the global nature of WRMSD determinants in the animal production chain and justify the need for sex- and task-stratified surveillance, as undertaken in the present study.

While WRMSDs are widely recognized, few studies employ multivariate approaches that integrate ergonomic, psychosocial, and organizational factors to examine their complex interplay. Most research isolates variables such as age, gender, or task type, limiting insights into interactions [19,20]. Regulatory limitations, such as the partial enforcement of Brazil's NR-36 standard for meatpacking [21] and underreporting in Brazil's Notifiable Dis-

eases Information System (SINAN) [22], further complicate surveillance and intervention efforts [23,24].

Against this background, we investigated the distribution of WRMSD-related sick leave cases in the Brazilian animal protein chain, organizing data by gender, age group, occupation, and diagnosis. This study seeks to answer the following research question: how have gendered patterns of WRMSDs evolved in Brazil's meat industry, and what ergonomic or structural factors contribute to these shifts? To our knowledge, this is the first study to focus on gender patterns of WRMSDs using a Brazilian dataset.

While previous studies recognize gender as a relevant variable in the epidemiology of WRMSDs, it is crucial to go beyond this approach and consider it as a social construct that actively shapes work and health experiences [25,26]. The gender segregation of labor, which historically allocates women to more repetitive tasks and men to roles with greater brute physical demands and exposure to environmental risks, creates distinct patterns of illness [27–30]. Our analysis, therefore, adopts an integrated approach that articulates how these social and cultural factors influence the manifestation, notification, and diagnosis of WRMSDs in this segregated sector.

2. Materials and Methods

This study employs a quantitative, descriptive, exploratory, and longitudinal design to analyze WRMSD-related sick leave notifications recorded in Brazil's Notifiable Diseases Information System (SINAN) from 2006 to 2024. The focus is on the animal protein production chain, encompassing poultry, cattle, swine, and fish sectors.

Data were extracted from SINAN [22], which compiles nationwide mandatory reports on health conditions, including occupational diseases. An initial dataset of 133,424 records and 93 variables was obtained. These included demographic details (age, gender), sick leave, Classification of Diseases (ICD-10), occupational codes (CBO) [31], Economic Activity Codes (CNAE) [32], and Issuance of Work Accident Report (CAT). To ensure analytical clarity, a formal distinction was made between exposure-based notifications and clinical diagnoses within the ICD-10 framework. Records under code Z57 (Occupational exposure to risk factors) were categorized as indicators of environmental or organizational hazards encountered in the workplace [9].

In contrast, codes such as M75 (shoulder lesions), M65 (synovitis and tenosynovitis), and G56 (upper limb mononeuropathies) represent clinically specified WRMSDs. The inclusion of Z57 (occupational exposure to risk factors) does not imply a different clinical status or the absence of disease, as all cases recorded in the SINAN database correspond to work-related sick leave. Rather than representing a distinct diagnostic category, Z57 documents contextual and organizational conditions that influence health status, including ergonomic and organizational aspects of work, which are also intrinsically involved in the development of clinically diagnosed WRMSDs. Its occurrence, therefore, highlights limitations in diagnostic specification and variability in documentation practices within health information systems, reinforcing the role of persistent occupational risk factors without defining a separate clinical group [33].

Table 1 summarizes the key variables used in this study, along with their definitions, which underpin the analysis presented in the Section 3: Results.

The variables presented in Table 1 constitute the analytical basis of this study, allowing systematic classification by sociodemographic, clinical, and occupational dimensions. These variables also align with international surveillance frameworks, such as those recommended by the World Health Organization (WHO) and the International Labour Organization (ILO), ensuring conceptual comparability with studies conducted in other high-risk sectors [9–11]. Based on the cross-referencing of codes from the National Clas-

sification of Economic Activities (CNAE) [32] and the Notifiable Diseases Information System (SINAN) [22], a consistent set of occupations frequently associated with WRMSDs in the animal protein production chain was identified. This methodological step provided the foundation for the subsequent stratified analyses by sex, age group, occupation, and diagnostic category.

Table 1. Selected independent variables for analysis.

Independent Variable	Description
Age	From 15 to 79 years old
Sick leave	Sick leave, equal to or greater than 1 day
Gender	Male or Female
Classification of Diseases—ICD-10	International Classification of Diseases, 10th Revision code associated with the musculoskeletal diagnosis.
Brazilian Occupation Classification (CBO)	The Brazilian Classification of Occupations code is the official catalog of occupational titles and descriptions in the Brazilian labor market; examples include “8485-05” (slaughterer), “8485-10” (retail butcher), and “8485-15” (deboner).
National Classification of Economic Activities (CNAE)	National Classification of Economic Activities code of the establishment. An official system that codes and describes the economic activities of companies and industries; in this study, it refers to activities in animal husbandry, slaughtering, and animal protein processing.
Issuance of Work Accident Report (CAT)	Yes, No, and Ignored

Source: Adapted from [22,31,32].

Table 2 presents these roles, organized according to the Brazilian Classification of Occupations (CBO) [31], and aligned with their closest international equivalents based on the International Standard Classification of Occupations (ISCO-08) [34], encompassing activities related to slaughtering, boning, meat handling, production line feeding, and meat commercialization within the animal protein production chain.

Table 2. Definition of the occupational categories studied.

Occupation	Description	CBO Code	International Equivalent (ISCO-08)	ISCO-08 Code
Slaughterer	Slaughterhouse worker, animal slaughterer, poultry slaughterer, cattle slaughterer, chicken slaughterer, pig slaughterer.	8485-05	Slaughterer and meat packer	7511 *
Butcher	Assistant butcher (retail), retail butcher, meat counter attendant, meat cutter (retail).	8485-10	Butcher	7511 *
Production line feeder	Production line supplier: machinery feeder for production lines.	7842-05	Manufacturing laborer	9329
Poultry farmer	Poultry farmer (employer), breeder of grandparent poultry stock, commercial poultry farmer, breeder of parent stock.	6133-05	Livestock and poultry producer	6121
Deboner	Boning assistant, boner butcher, head remover (slaughterhouse), neck remover, ear remover.	8485-15	Slaughterers and meat packers	7511 *

* The ISCO-08 code 7511 appears to be associated with three occupations (Slaughterer, Butcher, and Deboner) because, in the International Classification of Occupations (ISCO-08), these functions are grouped within the same category “Slaughterers and Meat Packers”. In Brazil, the CBO is distinguished by specific tasks (slaughtering, cutting, and deboning). Thus, the compatibility correspondence between the codes is maintained. Source: Adapted from [31,34].

To ensure international comparability and analytical consistency, the dataset was filtered using CNAE and CBO codes that specifically represent industrial meat production, slaughtering, and processing [22,31,32]. This step mirrors the stratification criteria used in occupational health surveillance programs globally, including those outlined by the WHO/ILO joint estimates and the European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) [9–12].

These codes reflect labor-sector-specific risk profiles, ensuring contextual accuracy and enabling parallel interpretation with other international datasets. From the total dataset, which included all professions, thirteen auxiliary spreadsheets unrelated to agro-industrial contexts were excluded, resulting in a focused analytical subset of 2936 valid records. Only cases with ICD-10 codes for musculoskeletal conditions were retained for further analysis. Data cleaning involved (1) removing blank fields or replacing them with “ignored”; (2) converting leave duration to days using standard units; and (3) excluding implausible durations (<1 day or >20,000 days) (e.g., over 54 years, likely due to data entry errors or system defaults), with 17 records being removed (<0.6% of the dataset) that would have distorted temporal analyses. To exclude implausible entries due to likely data entry errors, records with estimated ages above 90 years were removed, as such ages exceed validated longevity limits and compromise data integrity. Variables with significant missing data, free-text fields, or irrelevant administrative content were removed, resulting in a final dataset of 1243 rows and 41 columns.

Descriptive statistics and tables were generated to find trends in gender, age group, occupation, and ICD-10 diagnosis. No inferential tests were conducted due to the exploratory nature of the study. However, while inferential statistical tests were not applied to analyze temporal trends or compare all subgroups, a chi-square (χ^2) test was employed in a targeted and complementary manner. This specific inferential analysis was used exclusively as an auxiliary tool to explore associations between gender and WRMSD notifications. This approach allowed for an assessment of gender-based disparities within the otherwise descriptive-exploratory framework of the study, without implying causality or population-level temporal inferences. A contingency table of gender counts by period was constructed, and the test assessed whether the distribution of WRMSD notifications differed between these intervals. This test was appropriate given the variables’ categorical nature and the study’s objective of detecting structural changes in reporting trends.

To evaluate gender-based differences in the distribution of work-related musculoskeletal disorder (WRMSD) notifications, we performed Pearson’s chi-square tests for independence across three categorical variables: occupational function, ICD-10 diagnostic category, and age group [35,36]. The magnitude of observed associations was quantified using eta squared (η^2) [37,38], calculated using Equation (1).

$$\eta^2 = \chi^2 / (\chi^2 + N) \quad (1)$$

where χ^2 is the chi-square statistic and N is the total sample size.

Eta squared values were interpreted according to Cohen’s conventional thresholds: small (≈ 0.01), moderate (≈ 0.06), and large (≥ 0.14), providing insight into the strength of gender-related disparities in WRMSD reporting. All statistical analyses were performed using Python version 3.10 and the SciPy library (v1.11.1), with significance set at $p < 0.05$.

As the analysis used anonymized, public, and secondary data, ethical approval was not required under current norms [39].

3. Results

In this analysis, Z57 (‘Occupational exposure to risk factors’) was not categorized as a musculoskeletal disorder but as an exposure-related code that identifies hazardous

workplace conditions, such as cold environments, vibration, or chemical agents. 257 data were analyzed separately to contextualize exposure patterns that may precede or coexist with clinically diagnosed WRMSDs.

3.1. Gender Differences

Figure 1 illustrates the evolution of gender distribution in WRMSD notifications from 2006 to 2024. Until 2016, women consistently accounted for the majority of cases, reflecting their historical concentration in roles such as line feeders and meat cutters. Until 2022, women consistently accounted for the majority of notifications, reflecting their historical concentration in repetitive line-feeding and cutting tasks. In 2022, however, male notifications began to surpass female ones, marking a turning point in reporting patterns (Figure 1). This shift coincided with improvements in the SINAN surveillance system and the regulatory inclusion of WRMSDs in Brazil's compulsory notification list, which increased visibility of male-dominated occupations.

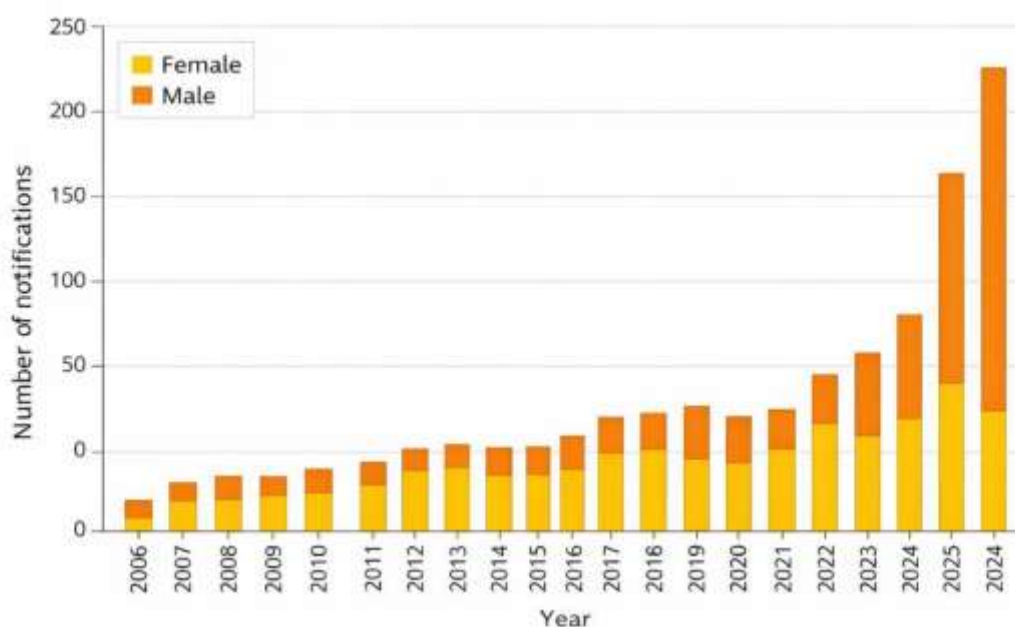


Figure 1. Work-related musculoskeletal disorder (WRMSD) notifications by gender in Brazil from 2006 to 2024.

These results suggest a reallocation of physical risk within the workforce, indicating that male workers are increasingly exposed to, or recognized in, roles with high ergonomic demands. This shift requires the re-examination of assumptions about gender in the design of ergonomic surveillance and intervention.

Table 3 reports p and η^2 values from chi-square tests evaluating the association between gender and occupational role, ICD-10 diagnosis, and age group among notified WRMSD cases in Brazil (2006–2024).

Chi-square tests confirmed statistically significant gender-based differences in WRMSD notifications across occupational roles ($p < 0.001$), diagnostic categories ($p < 0.001$), and age groups ($p < 0.001$). Effect size analysis using eta squared (η^2) indicated that both

occupation and diagnosis had moderate-to-large gendered effects ($\eta^2 = 0.162$ and 0.160 , respectively). At the same time, age-group differences showed a smaller but statistically significant effect ($\eta^2 = 0.032$).

Table 3. Statistical significance and effect sizes for gender-based differences in WRMSD notifications by occupation, diagnosis, and age group, as determined by the χ^2 test.

Comparison	p-Value	η^2 (Effect Size)	Interpretation
Gender $\times$ Occupation	<0.001	0.162	Moderate to large
Gender $\times$ Diagnosis	<0.001	0.160	Moderate to large
Gender $\times$ Age Group	<0.001	0.032	Small

3.2. Age Distribution and Diagnosis Patterns (ICD-10)

Among both genders, workers aged 20 to 49 represent the majority of cases. Female notifications were more concentrated in the 30–49 age group, while male cases have increasingly occurred among those aged 20–34, especially since 2022.

The most frequently observed diagnoses across the series included shoulder lesions (M75), tenosynovitis (M65), carpal tunnel syndrome (G56), and back pain (M54). Notably, occupational exposure to risk factors (Z57) increased dramatically in recent years, rising from almost no occurrences to 57% of all reported cases by 2024. Although the SINAN database does not provide a specification of Z57 subcategories, within the context of male-dominated roles (poultry farmer, butcher) in meat processing, the most relevant exposures likely include vibration (Z57.7) from equipment, extreme temperatures (Z57.6) due to cold environments, chemical agents (Z57.5) used in cleaning processes, and heavy physical factors (Z57.8) associated with slaughtering and carcass handling. It should also be noted that the other diagnoses identified (M75, M65, G56, and M54) likewise include subdivisions in ICD-10; however, these variations would not change the interpretation of the results, as the main categories already adequately capture the patterns observed in this study.

Figure 2 displays the five most frequently reported ICD-10 diagnoses and exposure associated with WRMSD notifications, including both clinically diagnosed conditions and occupational exposure codes.

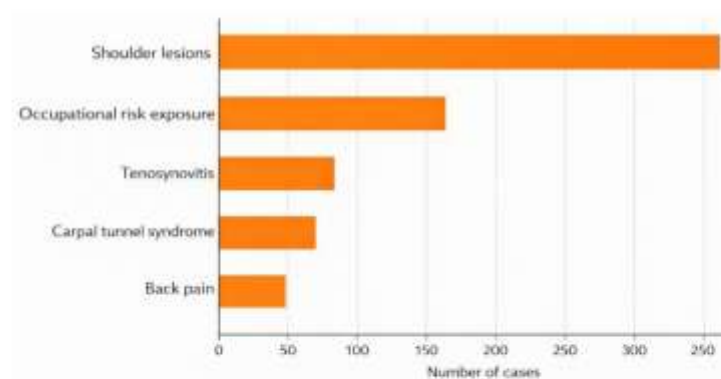


Figure 2. Distribution of the top five diagnoses and exposures associated with WRMSD notifications in Brazil (2006–2024). The bar chart presents the most frequently reported ICD-10 codes among WRMSD-related sick leave notifications in the animal protein sector. Shoulder lesions (M75) were the most prevalent clinically diagnosed condition, while occupational exposure to risk factors (Z57) was the most frequently reported exposure-related code rather than a musculoskeletal diagnosis.

Figure 3 displays annual trends in the frequency of the five most commonly reported ICD-10 diagnoses and exposures associated with WRMSDs. Diagnosis codes include shoulder lesions (M75), synovitis and tenosynovitis (M65), carpal tunnel syndrome (G56), back pain (M54), and occupational risk exposure (Z57).

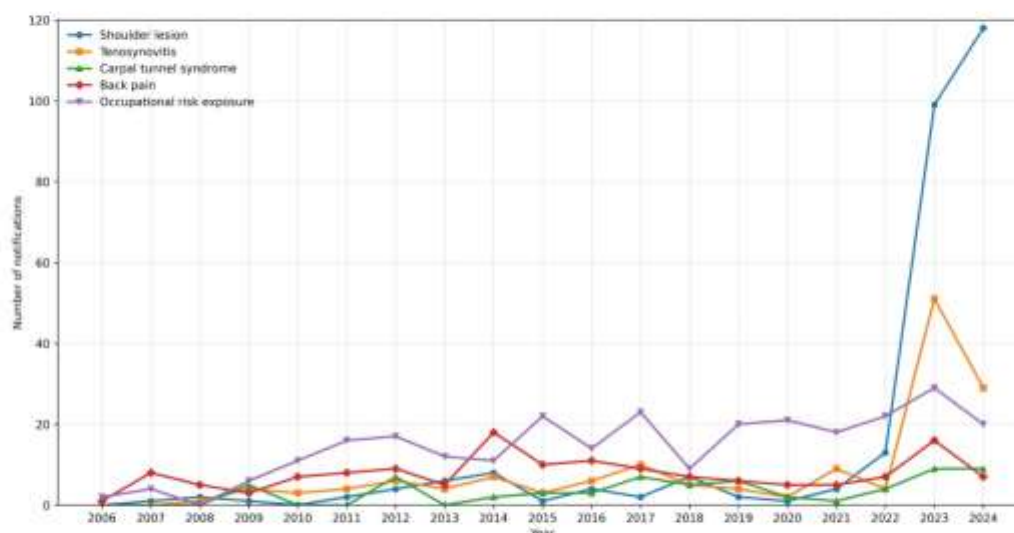


Figure 3. Temporal distribution of the top five diagnoses and occupational risk exposures associated with WRMSD notifications in Brazil (2006–2024).

Temporal analysis (Figure 3) revealed distinct patterns across diagnoses. Shoulder lesions (M75) remained the most frequent condition throughout the series. Tenosynovitis (M65, represented by the orange line) and back pain (M54, represented by the red line) showed fluctuating frequencies, with back pain increasing notably after 2020. Occupational exposure (Z57) rose sharply after 2022, reflecting broader recognition of environmental risks rather than new musculoskeletal diagnoses.

3.3. Gendered Diagnostic Trends

In Figure 4, the two rows per pathology represent separate time intervals (2006–2021 and 2022–2024), allowing visualization of how gender proportions evolved across the study period.

In the earlier years (2006–2021), female notifications predominated for shoulder lesions (M75), tenosynovitis (M65), and carpal tunnel (G56). In the most recent period (2022–2024), male notifications became dominant across nearly all diagnoses, especially for back pain (M54) and occupational exposure (Z57). Among females, tenosynovitis (M65) slightly surpassed shoulder lesions (M75) as the leading diagnosis. This suggests a transition in exposure patterns consistent with the overall gender inversion observed in Figure 1.

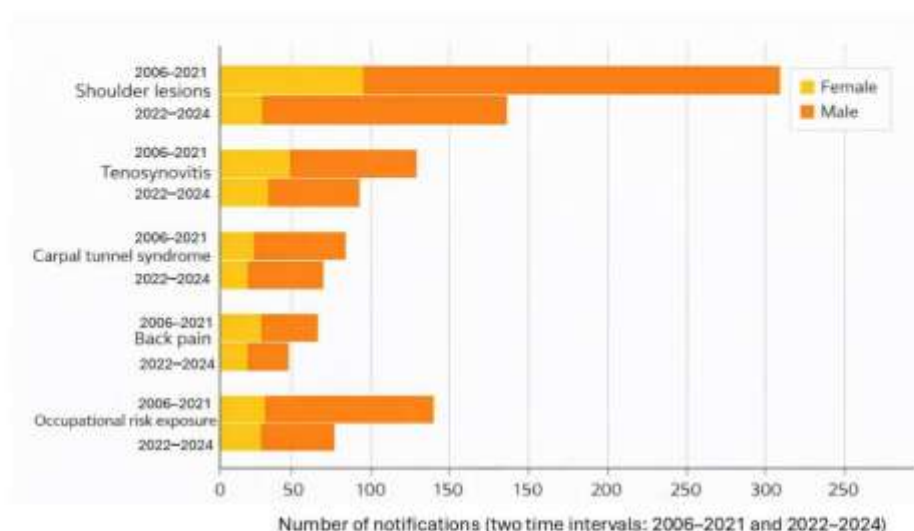


Figure 4. Gendered distribution of the top five diagnoses and occupational risk exposures in WRMSD notifications in Brazil (2006–2024). Each pathology appears twice: the upper bar corresponds to the period 2006–2021, and the lower bar to 2022–2024, allowing comparison of gender proportions before and after the turning point in reporting trends.

3.4. Occupational Distribution

Table 4 presents a gender-stratified analysis of the top six occupations associated with WRMSD notifications.

Table 4. WRMSD gender-specific occupational breakdown.

Description CBO	WRMSD			Gender in Occupation			
	Female (n)	Male (n)	WRMSD (%)	Female (%)	Male (%)	Female (%)	Male (%)
Poultry farmer	5	95	21.0	2.0	33.0	5.0	95.0
Butcher	32	68	19.7	16.0	22.0	32.0	68.0
Slaughterer	62	38	15.8	24.0	10.0	62.0	38.0
Feeder	61	39	9.8	15.0	6.0	61.0	39.0
Deboner	44	56	8.5	9.0	8.0	44.0	56.0
Meat processing assistant	53	47	2.6	3.0	2.0	53.0	47.0

Table 4 presents the gender-specific distribution of WRMSD cases by occupation. Among women, the highest proportions of notifications were concentrated in the following occupations: slaughterers (24%), butchers (16%), and production line feeders (15%). Deboner accounted for 9% of female cases, while a meat processing assistant represented 3%. For men, the leading occupations were production farmer (33%) and butcher (22%), followed by slaughterer (10%). Deboner accounted for 8% of male cases, and a meat processing assistant for 2%. Absolute case counts further revealed a predominance of women in the feeder (61%) and slaughterer (62%) roles, whereas men were predominant among poultry farmers (95%) and butchers (68%).

Figure 5 presents stacked bars for the five most frequently reported ICD-10 diagnoses, M75 (shoulder lesions), M65 (tenosynovitis), G56 (carpal tunnel syndrome), M54 (back pain), and Z57 (occupational exposure), across six key occupations identified in Table 2.

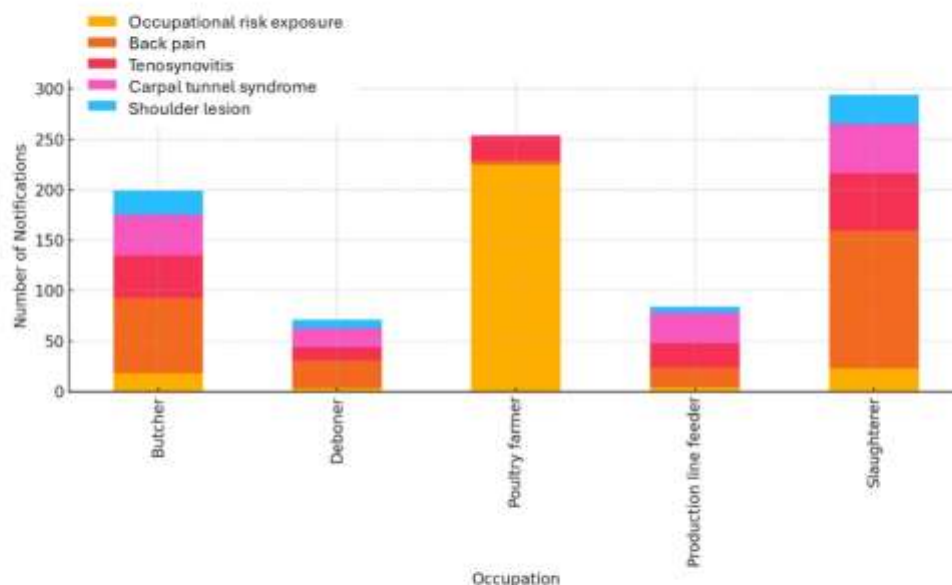


Figure 5. Distribution of the top five occupational risk exposures in WRMSD notifications across selected occupations in Brazil's animal protein sector (2006–2024).

Across the selected occupations, the leading ICD-10 code varied by role. Among butchers, shoulder lesions (M75) were the most frequent, followed by tenosynovitis (M65). Among deboners, shoulder lesions predominated. Among poultry farmers, occupational exposure to risk factors (Z57) was the main code. Among production line feeders, M65 predominated. Among slaughterers, shoulder lesions (M75) were the leading diagnosis. Other codes (e.g., M54 and G56) appeared at lower levels within each occupation.

4. Discussion

The analysis of WRMSD notifications in Brazil's animal protein sector between 2006 and 2024 exposed pronounced gender-related disparities across occupational roles, diagnostic categories, and age groups, highlighting distinct patterns of musculoskeletal illness that reflect both ergonomic exposures and structural workplace inequalities.

The study revealed a distinct reconfiguration in WRMSD case profiles within Brazil's animal protein sector, particularly since 2022. Historically, our results show that women predominated in reported cases, particularly in roles such as meat cutters, boners, and line feeders, which involve repetitive upper limb movements. This data corresponds with the prior literature identifying a higher prevalence of shoulder and wrist injuries among women in meat processing environments [40,41]. Critically, the higher incidence among women has often been erroneously interpreted as biological vulnerability in the general literature, overlooking its basis in the gendered division of labor, which systematically allocates women to repetitive, high-cadence tasks [25,42]. However, data from 2022 to 2024 suggest an emerging shift: male notifications have increased sharply, with poultry farming

becoming a leading occupation in recent years. In 2024, male notifications accounted for approximately 80% of all cases, representing a notable shift from the historical pattern observed in the series. This outcome likely reflects improved surveillance and reporting consistency, along with increased awareness and recognition of WRMSDs among male workers, rather than demographic changes in the workforce. A further aspect is the sharp rise in Z57 codes, which denote occupational exposure to risk factors in slaughterhouses, including cold, vibration, chemical agents, and dust. These gendered patterns of WRMSDs, where women are affected by repetitive tasks and men by heavy physical and environmental exposures, demand a structural, rather than individual, focus, providing empirical urgency for the implementation of gender-sensitive policies to ensure the health and dignity of women in this core economic sector [25,41,43].

4.1. Diagnostic Patterns and Practical Implications

In our dataset, the acceleration of Z57 recordings temporally corresponds to regulatory shifts, as outlined above, though we cannot definitively ascribe causality [6]. Since Z57 is a non-diagnostic ICD-10 code that documents occupational exposure to risk factors rather than a clinically defined disorder, and does not allow identification of disease type, severity, or clinical stage, its increased use may indicate a greater recognition of hazardous workplace conditions, such as cold exposure, vibration, chemical agents, or dust [41], rather than the identification of a specific musculoskeletal pathology [44]. Previous studies have highlighted that Z codes primarily reflect administrative and surveillance practices and should not be interpreted as proxies for confirmed clinical diagnoses, as their use is strongly influenced by institutional routines, regulatory guidance, and documentation priorities rather than by underlying morbidity patterns [10,33,45].

This observation is particularly relevant for a gendered analysis because it suggests a differential pattern of risk documentation rather than actual differences in disease occurrence, potentially leading to an overrepresentation of male occupational exposure in administrative records [28]. The rise in Z57 in male-dominated functions contrasts with the established injury patterns (M75, M65, G56), which women predominantly report. Importantly, the increased visibility of Z57 does not imply the identification of new disease entities; rather, it reflects limitations in diagnostic specificity and the formal recognition of persistent organizational and environmental risk factors that are also implicated in clinically diagnosed work-related musculoskeletal disorders [33].

The regulatory inclusion of WRMSDs and the formal incorporation of Z57 into Brazil's National List of Compulsory Notifications in 2024 likely reinforced this trend by improving the consistency and enforcement of reporting protocols. From a surveillance perspective, Z57 should therefore be interpreted as an early warning indicator of high-risk work environments rather than a clinical endpoint, supporting targeted primary preventive interventions in occupations characterized by high physical demands and adverse environmental exposures, such as poultry farming [40].

Age-related findings indicate that WRMSDs are concentrated among workers aged 20–49, reflecting cumulative biomechanical stress during the peak labor-participation years. However, this pattern may also reflect the healthy worker effect (HWE), whereby individuals who develop chronic or disabling symptoms often leave physically demanding jobs, resulting in an apparent underrepresentation of older or more severely affected workers in the dataset [7]. Prior research corroborates this result, highlighting a higher prevalence of WRMSD and lower return-to-work rates among mid-aged workers [46]. The cumulative effects of biomechanical stress are consistent with studies indicating that prolonged exposure to physical risk factors compromises the functional capacity of adult workers [46] and that longer service duration is associated with a higher frequency of

pain [40]. Our findings add nuance, showing a concentration of cases in the 30–49 age group for women and a more recent increase among men aged 20–49 years old [26–41].

This outcome may be linked to occupational segregation, where men enter physically demanding roles at a younger age [27,28]. This age-specific analysis contributes to the discussion on the sustainability of female careers by identifying the mid-career stage (30–49 years) as a critical risk window in which cumulative work stress intersects with domestic and familial responsibilities, which are known to keep women's total workload at unsustainable levels [26,44]. This finding is essential for designing time- and age-specific interventions that protect the functional longevity of women in the workforce.

This segregation was evident in our data, with women predominating in roles such as production-line feeding, and men concentrated in poultry farming and slaughter. In particular, the analyzed dataset showed that poultry farmers were predominantly male, whereas line feeders and meat processing assistants had higher proportions of female participants, exceeding 60%. The key ergonomic consequence of this segregation is that female workers are structurally confined to low-variability, high-cadence tasks, thereby systematically increasing their risk of tension, cumulative microtrauma, and upper-limb conditions (M75, M65, G56). This gendered division of labor, shaped by cultural and political contexts, creates unequal exposure to risks and reinforces structural inequalities within the workplace [27]. This empirical evidence of gendered occupational segregation is critical, providing policymakers and organizational health specialists with the exact mapping required to design targeted ergonomic interventions (e.g., job rotation and cadence control) that address the distinct risk profiles created by this structural inequality [42,47], thereby ensuring the sustained participation of women in key economic roles.

4.2. Sociocultural and Gender-Based Considerations

While previous studies recognize gender as a relevant variable in the epidemiology of WRMSDs, it is crucial to go beyond this approach and consider it as a social construct that actively shapes work and health experiences [29]. The gender segregation of labor, which historically allocates women to more repetitive and monotonous tasks and men to roles with greater brute physical demands and exposure to environmental risks, creates distinct patterns of illness [27,28]. Additionally, sociocultural norms of masculinity, often associated with stoicism and an aversion to complaining about pain, can lead to the underreporting of health problems among male workers, affecting the visibility and recording of their health conditions [29,30]. Our analysis, therefore, adopts an integrated approach to elucidate how these social and cultural factors influence the manifestation, recognition, and diagnosis of WRMSDs within a sector as specialized as the animal protein industry [25,26]. This integrated approach, which confirms how gender segregation structurally determines disease patterns [44], is the central contribution to the field, offering the necessary framework for developing gender-transformative occupational health policies aimed at mitigating the structural risks faced by women and ensuring equity in surveillance and intervention, a perspective crucially reinforced by Maatwk [25].

This study's finding of a recent surge in male notifications challenges a substantial body of research that has consistently identified women as more vulnerable to WRMSDs in the meat processing industry. Previous studies [40,41] have attributed this to women's concentration in jobs characterized by repetitive upper-limb movements, such as meat cutting and boning, as well as to ergonomic mismatches and lower muscle mass. For instance, research has highlighted a higher prevalence of shoulder, back, and wrist pain among female workers due to constant physical overload and tasks performed in cold, fast-paced environments [40,41]. Psychosocial factors, such as pressure regarding productivity and a lack of support in the work environment [45], as well as social constructs influencing

the perception and communication of pain [30], have also been suggested to contribute to higher reporting rates among women. However, the emerging pattern identified in this study is consistent with more recent observations by Gonçalves et al. [47], who also noted a pronounced increase in WRMSD notifications among male workers in 2023, suggesting a new dynamic in occupational illness patterns. This dynamic further underscores the need for a comprehensive workload perspective, recognizing that the concentration of women in repetitive, high-cadence roles intersects with domestic responsibilities, in which women are already exposed to longer, more intense schedules than men [27,48].

Diagnostically, M75, M65, and G56 were more frequent among women, consistent with previous studies [20,49] on female musculoskeletal vulnerability due to ergonomic mismatch, lower muscle mass, and greater postural rigidity. In contrast, men exhibited a striking rise in Z57 codes, which might reflect recognition of occupational exposure rather than injury per se. This result may also indicate a growing use of preventive diagnostic labels in male-dominated agricultural tasks. The disproportionate incidence among younger male workers, combined with the increasing frequency of diagnoses coded as Z57 (occupational exposure to risk factors), suggests two concurrent factors: early-career exposure to biomechanical stressors and greater recognition of occupational risk conditions. These patterns highlight the need for early-stage interventions and more robust diagnostic protocols. They may also suggest complementary surveillance priorities, such as reducing upper limb overload in roles with repetitive tasks and low variability (where women are more concentrated), and monitoring environmental and organizational exposures (such as cold, vibration, dust/contaminants, and chemical agents) in predominantly male roles, often coded as Z57. This diagnostic contrast is critical, as it confirms that the gendered division of labor systematically subjects women to work-related strains and risks of tension [42,50], establishing a clear agenda for policymakers to implement distinct and equitable prevention strategies that safeguard the health and long-term participation of both male and female workers [51,52].

Despite the implementation of Brazil's specific Regulatory Standard for Occupational Health in the Meat Processing Industry (NR-36), persistent structural issues, such as cold exposure, conveyor pace, and inadequate breaks, continue to contribute to biomechanical overload [30]. An analysis of the most frequent diagnostic codes reveals a high incidence of shoulder lesions (M75), tenosynovitis (M65), carpal tunnel syndrome (G56), and back pain (M54). This diagnostic profile aligns with the types of physical stressors and ergonomic risk factors typically reported in meat processing operations. This interpretation is supported by the Fundacentro report [24], which highlighted these same conditions as predominant in the sector. Diagnostically, our results showed that upper limb conditions, such as M75, M65, and G56, were more frequent among women, a pattern supported by the current literature [20,43,50], which links female musculoskeletal vulnerability to factors like lower muscle mass, increased wrist angular velocity during repetitive cutting and handling tasks [41,50], and greater exposure to static postures in production lines [16,53]. The diagnostic distribution by occupation was also consistent with the specific biomechanical demands of each role: among butchers and boners, M75 (shoulder lesions) predominated; among line feeders, M65 (tenosynovitis) was more frequent; and among poultry farmers, Z57 (occupational exposure) stood out. In contrast, M54 (back pain) remained relatively stable across categories, suggesting a more transversal component of overload. This persistence of poor working conditions highlights how the failure of regulatory enforcement prolongs precarity and increases the mental and emotional burden on working women, directly correlating physical risk with psychosocial strain [26,27,51].

In contrast, a striking finding was the dramatic rise in notifications for Z57 (occupational exposure to risk factors) among men, particularly since 2022. This outcome may

indicate a growing use of preventive diagnostic labels in male-dominated agricultural tasks or an increased recognition of occupational exposure itself as a notifiable condition, rather than waiting for an acute injury to manifest. Despite the implementation of NR-36, structural issues such as cold environments, accelerated production schedules, and inadequate rest breaks continue to be major contributors to biomechanical overload. These enduring conditions highlight the gap between regulatory intent and practical enforcement, suggesting that current measures are insufficient without more comprehensive organizational reforms. This persistent failure highlights that merely enacting standards is inadequate. Instead, the successful transformation of gender inequality and the protection of women's health depend on mandatory organizational reform to restructure employment practices, a necessity strongly advocated in the literature on gender and work [26,45–50].

Underreporting remains a critical barrier. Institutional under-recognition and cultural stigmas, particularly among men, distort epidemiological data [29]. This issue is often gendered; sociocultural norms that associate masculinity with stoicism can lead to fewer symptom reports among men [29], while social constructs related to femininity may facilitate the communication of pain [30]. These dynamics highlight the need for gender-aware surveillance mechanisms and participatory risk assessments. These dynamics highlight the need for gender-aware surveillance mechanisms and participatory risk assessments. Despite updated regulatory frameworks, such as Brazil's specific Regulatory Standard for Occupational Health in the Meat Processing Industry (NR-36), which mandates ergonomic adjustments and breaks, persistent structural issues, including cold exposure and accelerated work rhythms, continue to cause biomechanical overload. This pervasive failure of regulation and the persistence of stigma are significant contributions to the field of women's studies, as they show how systemic barriers perpetuate precariousness [26]. This scenario necessitates gender-aware policies that move beyond mere biological differences to enact structural reforms that transform unequal working conditions [25].

The context of the COVID-19 pandemic significantly exacerbated underreporting and gender bias. Underreporting remains a critical barrier to effective surveillance and prevention. This issue is often gendered; sociocultural norms that associate masculinity with stoicism can lead to fewer symptom reports among men [29], while social constructs related to femininity may facilitate the communication of pain [30]. Finally, the context of the COVID-19 pandemic cannot be overlooked. Some sectors transitioned to remote work, and the meat processing industry, as an essential activity, intensified production under hazardous conditions, including high workforce density and poor ventilation [48]. These facts, combined with an overburdened healthcare system, may have reduced the capacity to detect and register occupational diseases, potentially delaying the reporting of emerging WRMSDs documented in the published data. This analysis contributes to the literature on gender and health by demonstrating how a global health crisis disproportionately intensified the pre-existing segregated risks faced by women in essential sectors, making the sustainability of their employment dependent on systemic, rather than temporary support [51].

4.3. Ethical and Structural Policy Implications

The discussion on mitigating work-related musculoskeletal disorders must transcend technical improvements and focus on ethical and organizational transformation [54]. As the manufacturing sector is a massive employer, accounting for over 8.1 million formal jobs in Brazil [54], protecting this workforce helps to protect the national economy and household income. This protection is crucial given the gender segregation evident in the data, where women are often concentrated in high-volume, low-variability roles [53], increasing their risk of illness. Ethically, public health policies cannot eliminate income

opportunities for women by allowing structural failures to create endemic illness [54]; rather, the mandate is to reform employment practices that penalize them [48]. The core challenge is addressing rigid work rhythms [6]. While tools like job rotation schemes are relevant, their effectiveness is limited when the core issue, the conveyor pace, is not controlled [6]. Therefore, overcoming mitigation deficiencies requires mandating a decoupling of the biological body from the industrial cadence, achieved through strict enforcement of rest breaks, immediate control of production speed, and reengineering tasks to eliminate repetitive-motion overload in predominantly female roles [53]. This shift validates the crucial role of women in the labor market, ensuring that their participation is both dignified and physically sustainable [48,54].

Based on the distinct gendered patterns observed in this study, the implementation of gender-sensitive policies is crucial [25,26]. Interventions for women, for instance, should prioritize ergonomic adaptations to reduce repetitive strain in the upper limbs and to mitigate the high-speed work pace that often leads to conditions such as carpal tunnel syndrome [43]. For male workers, interventions should focus on monitoring and mitigating specific environmental and organizational exposures, such as prolonged cold exposure and whole-body vibration, which are prevalent in roles with greater physical demands [30,41]. To ensure women's sustained participation and professional development, this policy must extend beyond the physical workspace to address the intersection of occupational risk and the total burden of domestic responsibilities. It mandates organizational support for career longevity and work-life balance [25,48]. Implementing such differentiated strategies would address the specific risks faced by each gender, moving beyond a one-size-fits-all approach to occupational health in the animal protein industry [28,45].

4.4. Study Limitations

This study has several limitations. First, the absence of ergonomic exposure analysis limits the ability to directly link reported diagnoses with specific physical demands. This limitation is exacerbated by the lack of information on slaughterhouse processes, such as the size and weight of the animal carcasses handled (poultry, beef, or pork), which directly affect the physical strength, posture, and biomechanical demands required for specific roles. Second, the analysis relied exclusively on recorded data, which may not capture all cases, as underreporting remains a persistent challenge [24,41]. As Z57 represents a non-specific label and SINAN does not provide subcategory details, its recent growth may indicate both improved recognition of exposures and administrative changes in reporting. Given the persistence of structural underreporting, this pattern may underscore the importance of developing more specific diagnostic protocols and standardized clinical screening to distinguish exposure from an established musculoskeletal disorder. More broadly, these limitations underscore the need for gender-aware research methodologies that capture the biomechanical and organizational nuances influencing women's distinct injury patterns and ensuring health equity [25]. The COVID-19 pandemic may also have influenced notification patterns by overburdening health systems and altering workers' reporting behaviors [42].

Simultaneously, the classification of the meat industry as an essential service led to increased workloads, higher workforce turnover, and limited access to ergonomic protections, all of which could have exacerbated WRMSD risks and discouraged reporting. Furthermore, fear of job loss or stigma associated with absenteeism during a health crisis may have discouraged both male and female workers from seeking medical leave for musculoskeletal symptoms, potentially deferring diagnoses that emerged more clearly in the post-pandemic period [52]. This pressure was particularly acute for women, many of whom are primary or sole providers, leading them to suppress illness and engage in a hidden struggle to

maintain the dignity associated with employment, despite the heightened precarity and occupational risk [6,26,27].

Despite the analytical approach, interpreting such complex and gendered health data requires acknowledging inherent methodological limitations. Future research should incorporate field-based ergonomic evaluations to more precisely characterize risk factors and inform the development of tailored interventions. Additionally, the reliance on secondary data from SINAN introduces potential biases due to underreporting, inconsistent coding practices, and administrative omissions, particularly in high-turnover or informally employed roles. Estimating age from year-only birth data may lead to misclassification near age-group thresholds. Excluding extreme or missing values, while necessary for data integrity, may have inadvertently omitted relevant but atypical cases. Lastly, the possibility of occupational or diagnostic misclassification remains, given institutional variability in recording CBO and ICD-10 codes.

Despite these limitations, this study presents several strengths. It is the first longitudinal analysis (2006–2024) to examine gendered patterns of work-related musculoskeletal disorders (WRMSDs) in Brazil's meat industry using nationwide surveillance data (SINAN), ensuring robust representativeness and temporal coverage. The study's integration of occupational, diagnostic, and sociodemographic variables provides a comprehensive view of structural and ergonomic disparities between genders. Additionally, by distinguishing between exposure-related codes (Z57) and clinically defined WRMSDs, the analysis contributes to a more nuanced understanding of how reporting practices and regulatory changes shape occupational health profiles in high-risk sectors.

5. Conclusions

This study identifies a significant reconfiguration in the gender distribution of WRMSD cases in Brazil's meat processing industry, with male workers surpassing female cases after 2022, particularly in physically demanding roles such as farming. The concurrent rise in Z57 diagnoses suggests a shift toward greater recognition of occupational exposures. These findings underscore the importance of implementing gender-differentiated ergonomic protocols, such as reducing repetitive strain injuries among women in line-feeding and cutting roles, and addressing environmental hazards (including cold, vibration, and chemical exposure) among men in farming and slaughtering. Strengthening surveillance systems and refining diagnostic coding practices will be essential to ensuring accurate monitoring. Future public health policies should therefore prioritize tailored risk management strategies that account for occupational segregation and the evolving workforce dynamics. Reforming employment practices to ensure that women's participation in this crucial sector is both economically viable and physically sustainable remains an undeniable necessity for achieving labor equity and long-term economic growth.

Author Contributions: Conceptualization, L.D.P. and I.d.A.N.; methodology, L.D.P., V.A.M. and I.d.A.N.; software, V.A.M.; validation, L.D.P., V.A.M. and M.d.C.B.d.A.; formal analysis, L.D.P. and H.J.M.; investigation, L.D.P. and H.J.M.; resources, L.D.P.; data curation, L.D.P.; writing—original draft preparation, L.D.P.; writing—review and editing, I.d.A.N. and M.d.C.B.d.A.; visualization, L.D.P. and I.d.A.N.; supervision, I.d.A.N. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The public dataset is available online at: [<http://portalsinan.saude.gov.br/dados-epidemiologicos-sinan>], accessed on 27 May 2025, in Portuguese.

Acknowledgments: The authors thank the Brazilian Federal Agency for Support and Evaluation of Graduate Education, CAPES-PROSUP, for the scholarships.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. OECD/FAO—Organisation for Economic Cooperation and Development/Food and Agriculture Organization of the United Nations. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2023–2032*; OECD Publishing: Paris, France, 2023. [CrossRef]
2. ABPA—Brazilian Association of Animal Protein. Poultry Meat Production in Brazil in 2024. 2024. Available online: https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2024/04/RA_2024_ABPA_inglos_avicultura.pdf (accessed on 29 August 2025).
3. ABIEC—Brazilian Association of Meat Exporters. Beef Report 2024, Profile of Livestock in Brazil. 2024. Available online: https://www.abiec.com.br/wp-content/uploads/beefreport_v2024-qualidademedia_v2.pdf (accessed on 27 May 2025).
4. European Commission, Directorate General for Agriculture and Rural Development. EU Agricultural Outlook for Markets, Income and Environment, 2025–2035. Publications Office of the European Union. 2025. Available online: https://agriculture.ec.europa.eu/data-and-analysis/markets/outlook_en (accessed on 27 May 2025).
5. USDA/FAS—United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. Livestock and Poultry, World Markets and Trade. 2025. Available online: https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2025-12/Livestock_poultry_December%209%202025.pdf (accessed on 27 May 2025).
6. Nascimento, A.; Messias, I.A. Job rotation in beef packing operations: Beyond the physical dimensions of work. *Cad. Saúde Pública* **2018**, *34*, e00095817. [CrossRef] [PubMed]
7. Andersen, L.L.; Vinstrup, J.; Sundstrup, E.; Skovlund, S.V.; Villadsen, E.; Thorsen, S.V. Combined ergonomic exposures and development of musculoskeletal pain in the general working population: A prospective cohort study. *Scand. J. Work Environ. Health* **2012**, *38*, 287–295. [CrossRef]
8. Qazi, T.H.; Duda, G.N.; Ort, M.J.; Perka, C.; Geissler, S.; Winkler, T. Cell therapy to improve regeneration of skeletal muscle injuries. *J. Cachexia Sarcopenia Muscle* **2019**, *10*, 501–516. [CrossRef]
9. WHO/ILO—World Health Organization & International Labour Organization. WHO/ILO Joint Estimates of the Work-Related Burden of Disease and Injury, 2000–2016, Global Monitoring Report. 2021. Available online: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034945> (accessed on 27 May 2025).
10. Bensken, W.P.; Alberti, P.M.; Stange, K.C.; Sajatovic, M.; Koroukian, S.M. ICD-10 Z-Code Health-Related Social Needs and Increased Healthcare Utilization. *Am. J. Prev. Med.* **2021**, *62*, e232–e241. [CrossRef]
11. OSHA—Occupational Safety and Health Administration. Inspection Guidance for Animal Slaughtering and Processing Establishments. 2024. Available online: <https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/2024-10-15> (accessed on 28 May 2025).
12. EU-OSHA—European Agency for Safety and Health at Work. Workforce Diversity and Musculoskeletal Disorders: Review of Facts and Figures and Case Examples. European Risk Observatory Report. 2020. Available online: https://www.bollettinoadapt.it/wp-content/uploads/2020/12/Workforce_diversity_facts_figures_report_0.pdf (accessed on 12 January 2026).
13. Sompan, R.; Keeratisiroj, O.; Aungudornpukdee, P.; Mahaboonpeeti, R. Prevalence of work-related musculoskeletal disorders and ergonomic risk assessment among production workers of pig slaughterhouse in the town municipality of Ang Thong, Thailand. *Int. J. Occup. Saf. Health* **2024**, *14*, 69–76. [CrossRef]
14. Hassani, M.; Kabiesz, P.; Hesampour, R.; Ezbarami, S.M.; Bartnicka, J. Prevalence of musculoskeletal disorders, working conditions, and related risk factors in the meat processing industry: Comparative analysis of Iran–Poland. *Work* **2023**, *74*, 309–325. [CrossRef] [PubMed]
15. EU-OSHA—European Agency for Safety and Health at Work. Work-Related Musculoskeletal Disorders: Why are They Still so Prevalent? Evidence from a Literature Review. European Risk Observatory Report. 2021. Available online: <https://osha.europa.eu/en/publications/work-related-musculoskeletal-disorders-why-are-they-still-so-prevalent-evidence-literature-review> (accessed on 12 January 2026).
16. Tirloni, A.S.; dos Reis, D.C.; Tirloni, S.F.; Moro, A.R.P. Exertion Perception When Performing Cutting Tasks in Poultry Slaughterhouses, Risk Assessment of Developing Musculoskeletal Disorders. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 9534. [CrossRef]
17. Bouzigon, R.; Dupuy, O.; Tiemessen, I.; De Nardi, M.; Bernard, J.-P.; Mihailovic, T.; Theurot, D.; Miller, E.D.; Lombardi, G.; Dugué, B.M. Cryostimulation for post-exercise recovery in athletes: A consensus and position paper. *Front. Sports Act. Living* **2021**, *3*, 688828. [CrossRef] [PubMed]
18. Sundstrup, E.; Seeberg, K.G.V.; Bengtson, E.; Andersen, L.L. A systematic review of workplace interventions to rehabilitate musculoskeletal disorders among employees with physically demanding work. *J. Occup. Rehabil.* **2020**, *30*, 588–612. [CrossRef]
19. Taibi, Y.; Metzler, Y.A.; Bellingrath, S.; Müller, A. A systematic overview on the risk effects of psychosocial work characteristics on musculoskeletal disorders, absenteeism, and workplace accidents. *Appl. Ergon.* **2021**, *95*, 103434. [CrossRef]

20. Rosado, A.S.; Cabrini, I.; Duarte, N.; Baptista, J.S.; Guedes, J.C. Evaluation of shoulder risk factors in the repetitive task of slaughterhouse. *Safety* **2024**, *10*, 63. [CrossRef]
21. Brazil—Ministry of Labor and Employment (MTE). Regulatory Standard No. 36 (NR-36), Occupational Health and Safety in Meat Slaughtering and Processing Companies and Obligations. 2013. Available online: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-36-nr-36> (accessed on 28 August 2025).
22. Brazil—Ministry of Health (MS). Notifiable Diseases Information System (SINAN). 2024. Available online: <http://portalsinan.saude.gov.br/dados-epidemiologicos-sinan> (accessed on 27 May 2025).
23. Brazil—National Social Security Institute (INSS). Social Security Statistical Bulletin. 2023. Available online: https://www.gov.br/previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/arquivos/beps122023_final.pdf (accessed on 27 May 2025).
24. Fundacentro. Working Conditions in Slaughterhouses Can Affect Workers' Health. 2023. Available online: http://arquivosbiblioteca.fundacentro.gov.br/exdibris/aleph/a23_1/apache_media/GJHGXDSEJ5INP49EV1FFR4BTY5DPTJY.pdf (accessed on 1 April 2025).
25. Maatwk, F. Gendered inequalities: A comparative analysis of gendered experiences of inequality in technology in Egypt and the United Kingdom. *Gender Work Organ.* **2025**, *32*, 1604–1614. [CrossRef]
26. Spellman, C.; McBride, J. Gendering the hidden injuries of class: In-work poverty, precarity, and working women using food banks in Britain. *Gender Work Organ.* **2025**, *32*, 1421–1431. [CrossRef]
27. Kwon, M.J. Occupational health inequalities by issues on gender and social class in labor market, absenteeism and presenteeism across 26 OECD countries. *Front. Public Health* **2020**, *8*, 84. [CrossRef] [PubMed]
28. Zinn, I.; Hofmeister, H. The gender order in action, Consistent evidence from two distinct workplace settings. *J. Gender Stud.* **2022**, *31*, 941–955. [CrossRef]
29. Oliveira, L.G.; Boere, V. Health of illegal workers from cattle slaughterhouses in Northeast Brazil. *Rural Remote Health* **2021**, *21*, 6061. [CrossRef]
30. Nascimento, M.G.; Kosminsky, M.; Chi, M. Gender role in pain perception and expression, An integrative review. *Braz. J. Pain* **2020**, *3*, 58–62. [CrossRef]
31. Brazil—Ministry of Labor and Employment (MTE). Classification of Brazilian Occupations (CBO). 2017. Available online: <https://cho.mte.gov.br/choite/pages/pesquisas/BuscaPorTitulo.jsf> (accessed on 27 May 2025).
32. IBGE—Brazilian Institute of Geography and Statistics. National Classification of Economic Activities (CNAE 2.3). National Classification Committee (CONCLA). 2024. Available online: <https://cnae.ibge.gov.br/> (accessed on 27 August 2025).
33. NORC at the University of Chicago. Use of ICD-10-CM Z Codes in 2018 Medicaid Claims and Encounter Data. NORC. 2022. Available online: https://www.norc.uchicago.edu/content/dam/norc-org/pdfs/Documentation%20of%20SDOH%20in%20Medicaid%20Claims_032422.pdf (accessed on 14 January 2026).
34. International Labour Organization. International Standard Classification of Occupations (ISCO-08): Structure, Group Definitions and Occupational Correspondence Table (Vol. 1). ILO. 2012. Available online: <https://webapps.ilo.org/ilostat-files/ISCO/newdocs-08-2021/ISCO-08/ISCO-08%20EN%20Vol%201.pdf> (accessed on 12 January 2026).
35. Kasaeinasab, A.; Jahangiri, M.; Karimi, A.; Tabatabaei, H.R.; Safari, S. Respiratory disorders among workers in slaughterhouses. *Saf. Health Work* **2017**, *8*, 84–88. [CrossRef] [PubMed]
36. Ekhammar, A.; Grimby-Ekman, A.; Bernhardsson, S.; Holmgren, K.; Bornhöft, L.; Nordeman, L.; Larsson, M.E.H. Prevention of sickness absence through early identification and rehabilitation of at-risk patients with musculoskeletal disorders (PREVSAM), Short-term effects of a randomised controlled trial in primary care. *Disabil. Rehabil.* **2025**, *47*, 164–177. [CrossRef]
37. Hancharoenkul, B.; Khamwong, P.; Pirunsan, U.; Joseph, L. The effects of workplace intervention programs to manage work-related musculoskeletal pain among poultry slaughterhouse workers: A randomized controlled trial. *J. Assoc. Med. Sci.* **2024**, *57*, 10–19. [CrossRef]
38. Monteiro, V.A.; Marzoque, H.J.; Batista, M.L.; de Alencar, M.D.C.B.; Pereira, L.D.; Nääs, I.d.A. Navigating occupational hazards, Musculoskeletal disorders among slaughterhouse workers in Brazil. *Safety* **2025**, *11*, 39. [CrossRef]
39. Brazil National Health Council (CNS). Resolution n° 510, April 7, 2016, Standards Applicable to Research in the Human and Social Sciences. 2016. Available online: <https://www.gov.br/conselho-nacional-de-saude/pt-br/atos-normativos/resolucoes/2016/resolucao-no-510.pdf> (accessed on 27 August 2025).
40. Waithaka, J.K.; Warutere, P.N.; Makhonge, P.; Korir, R. Frequency and risk factors for the occurrence of work-related musculoskeletal disorders among slaughterhouse workers in Nairobi County. *Civ. Environ. Res.* **2017**, *9*, 72–79. Available online: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/CER/article/view/39072/40180> (accessed on 27 May 2025).
41. Tirloni, A.S.; dos Reis, D.C.; Borgatto, A.F.; Moro, A.R.P. Association between perception of bodily discomfort and individual and work organisational factors in Brazilian slaughterhouse workers, A cross-sectional study. *BMJ Open* **2019**, *9*, e022824. [CrossRef]
42. Reis, P.; Moro, A.; Merino, E.; Vilagra, J. Influence of gender on the prevalence of RSI/WRULD in meatpacking plants. *Work* **2012**, *41*, 4323. [CrossRef]

43. Cattani, L.; Rizza, R. Occupational gender segregation and mental health among professionals, Women's risk exposure in five micro classes. *Soc. Sci.* **2024**, *13*, 92. [CrossRef]
44. Mohammadi, G.; Marjani, M.R. Occupational musculoskeletal disorders among workers in poultry slaughter industries. *Int. J. Public Health Res.* **2017**, *5*, 78–82. Available online: <http://www.openscienceonline.com/journal/ijphr> (accessed on 12 January 2026).
45. Baker, K.M.; Hill, M.A.; Goldberg, D.G.; Kitsantas, P.; Miller, K.E.; Smith, K.M.; Hong, A. Using Z Codes to Document Social Risk Factors in the Electronic Health Record: A Scoping Review. *Med Care* **2025**, *63*, 211–221. [CrossRef] [PubMed]
46. Mohammed, H.H.; Rizk, S.M.; Ebied, E.M. Occupational health hazards as perceived by poultry processing slaughterhouse workers. *Med. J. Cairo Univ.* **2018**, *86*, 1129–1138. [CrossRef]
47. Gonçalves, M.P.; Sousa, K.R.; Oliveira, A.F. Epidemiological profile of WRMSDs in Brazil from 2018 to 2023, A descriptive analysis of national health data. *Rev. Saúde Pública* **2024**, *103*, e224070. [CrossRef]
48. Lima, A.G.C.F.; Ribeiro, C.J.N.; Lima, S.V.M.A.; Barbosa, Y.M.; Oliveira, I.M.D.; Araújo, K.C.G.M.D. Space-time analysis of work-related musculoskeletal disorders in Brazil: An ecological study. *Cad. Saúde Pública* **2024**, *40*, e00141823. [CrossRef]
49. Hertog, E. Education and the gender division of labor in Japan, Trends in paid and unpaid work from 1991 to 2016. *Gender Work Organ.* **2025**, *32*, 1632–1648. [CrossRef]
50. França, V.F.; Amorim, P.B.; Silva, L.P.; Lopes, A.T. Musculoskeletal disorders related to the working environment in the slaughter sector of a meat-packing plant. *Int. Sci. Eng. Vet. J. Health* **2023**, *2*, e002. [CrossRef]
51. Lund, C.B.; Mikkelsen, S.; Thygesen, L.C.; Hansson, G.; Thomsen, J.F. Movements of the wrist and the risk of carpal tunnel syndrome, A nationwide cohort study using objective exposure measurements. *Occup. Environ. Med.* **2019**, *76*, 519–526. [CrossRef] [PubMed]
52. Paramasivam, S.K.; Mani, K.; Paneerselvam, B. Unveiling gender-based musculoskeletal disorders in the construction industry: A comprehensive analysis. *Buildings* **2024**, *14*, 1169. [CrossRef]
53. Garcia, S.D.; Carvalho, M.; Baltazar, M. COVID-19 among slaughterhouse workers, Relationship between workers' health and food safety. *Rev. Bras. Med. Trab.* **2022**, *20*, 86–93. [CrossRef] [PubMed]
54. Tirloni, A.S.; Reis, D.C.; Moro, A.R.P. Effect of knife use and overlapping gloves on finger temperature of poultry slaughterhouse workers. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2024**, *21*, 1314. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

3.4 Artigo 4: Modelagem da Automação Humanizada na Indústria de Processamento de Carne: Implicações Ergonômicas e Organizacionais

Dando continuidade às análises realizadas nesta pesquisa, foi elaborado o artigo intitulado “Modelagem da Automação Humanizada na Indústria de Processamento de Carne: Implicações Ergonômicas e Organizacionais”, cujo o objetivo do estudo consiste em propor uma modelagem conceitual para a automação humanizada, integrando tecnologias como robótica colaborativa, sensores e Inteligência Artificial para mitigar riscos ocupacionais e promover a sustentabilidade do trabalho. A pesquisa adota uma abordagem de revisão integrativa qualitativa e modelagem estratégica, fundamentada em evidências técnicas que alimentam as análises SWOT e TOWS.

O estudo discute como a transição para a Indústria 5.0 permite que a eficiência tecnológica coexista com critérios ESG, posicionando a saúde do trabalhador como eixo central da governança industrial. Os resultados demonstram que, embora a automação reduza drasticamente a carga biomecânica e a prevalência de DORT, ela exige estratégias de *reskilling* (requalificação) para gerenciar novos riscos psicossociais, como o *technostress*. Este artigo está estritamente alinhado aos objetivos desta dissertação ao propor diretrizes operacionais para substituir modelos de produção rígidos por sistemas ciber-físicos humanizados, capazes de realizar a manutenção preditiva do capital humano.

O manuscrito foi submetido ao Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP 2026) e, até o momento, encontra-se em processo de avaliação. O texto completo do artigo é apresentado na sequência como parte integrante do conjunto de evidências que fundamentam esta dissertação.

Modelagem da Automação Humanizada na Indústria de Processamento de Carne: Implicações Ergonômicas e Organizacionais

Lilian Dias Pereira (Universidade Paulista)

Vando Aparecido Monteiro (Universidade Paulista)

Africano Florindo Francisco Samo (Universidade Paulista)

Hércules José Marzoque (Universidade Paulista)

Irenilza de Alencar Nääs (Universidade Paulista)



Contexto: O processamento de carne enfrenta desafios críticos de saúde ocupacional devido à repetitividade e ao frio, condições que elevam a prevalência de Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRT). Intervenções organizacionais tradicionais mostram-se insuficientes em linhas de alta cadência. Objetivo: Propor uma modelagem conceitual de automação humanizada, integrando robótica colaborativa, sensores e Inteligência Artificial para mitigar riscos e promover a sustentabilidade do trabalho. Métodos: Revisão integrativa em quatro etapas, combinada a uma matriz de conversão de critérios para estruturação das análises SWOT e TOWS fundamentadas em evidências técnicas. Resultados: As evidências indicam que robôs colaborativos reduzem substancialmente a força manual e melhoram os escores posturais. Sistemas de sensoriamento inercial e visão computacional mitigam desvios articulares com alta precisão, enquanto modelos de Machine Learning apresentam elevado desempenho na predição de agravos ocupacionais. Conclusão: A automação humanizada viabiliza uma gestão proativa alinhada aos pilares da Indústria 5.0 e aos critérios ESG. O estudo avança a literatura ao propor a Matriz TOWS para o setor, demonstrando que o modelo desloca o esforço físico para a supervisão cognitiva e gestão preditiva. Sugere-se para trabalhos futuros a aplicação do método AHP para priorização estratégica e programas de reskilling para a transição profissional.

Palavras-chave: Sustentabilidade Social; Robótica Colaborativa; Saúde Ocupacional; Gestão Estratégica.

1. Introdução

A produção de proteína animal é vital para a economia e segurança alimentar global, com o Brasil na liderança das exportações (Hinrichsen, 2010; ABPA, 2025). Contudo, o ambiente em frigoríficos impõe baixas temperaturas, ritmos intensos e repetitividade (Villalobos & Mac Cawley, 2022), elevando a prevalência de Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRT) (Tirloni *et al.*, 2021). Esses agravos geram impactos financeiros expressivos devido ao elevado absenteísmo, consolidando a indústria de carnes como uma das profissões com as maiores taxas de acidentes e lesões ocupacionais (Maithani *et al.*, 2021).

Historicamente, a automação nesta indústria priorizou ganhos de produtividade e redução de custos operacionais por meio de sistemas rígidos (Mason *et al.*, 2021). Contudo, observa-se uma lacuna persistente na literatura quanto à integração das dimensões psicossociais e do bem-estar dos operadores no desenvolvimento de novos sistemas ciberfísicos (Bispo & Amaral, 2024). Embora a robótica avance tecnicamente, ainda há um entendimento limitado sobre como o deslocamento de riscos biomecânicos pode gerar novas formas de *technostress* e sobrecarga cognitiva (Cunha *et al.*, 2022). Outro ponto sem resposta clara na gestão industrial é a eficácia de modelos que integram o sensoriamento em tempo real à governança participativa para mitigar dinamicamente riscos emergentes (Colim *et al.*, 2021; Kim *et al.*, 2023).

Diante deste cenário, emerge o problema de pesquisa: como a implementação da automação humanizada pode mitigar riscos ergonômicos e melhorar o bem-estar na indústria de processamento de carne? Este estudo justifica-se pela necessidade de preencher essas lacunas teóricas, alinhando o avanço tecnológico aos princípios da sustentabilidade social e da gestão estratégica do trabalho (Mason *et al.*, 2024). Portanto, o objetivo deste artigo é propor uma modelagem conceitual para a automação humanizada. Os impactos estratégicos são analisados por meio de uma matriz SWOT baseada em evidências técnicas e organizacionais, alinhada às avaliações recentes de inovação e sustentabilidade industrial (Dutra *et al.*, 2024; Ferreira *et al.*, 2019; Marzoque *et al.*, 2025; Oliveira *et al.*, 2023).

2. Referencial Teórico

A complexidade e a variabilidade biológica das carcaças tornam a automação rígida convencional, historicamente focada apenas no ganho de escala e de velocidade (Hinrichsen, 2010), insuficiente para o setor de carnes (Kim *et al.*, 2023). Com a Indústria 4.0, o cenário evolui para sistemas ciberfísicos que integram sensores avançados e inteligência artificial para adaptar o corte em tempo real à morfologia do animal (Takács *et al.*, 2024). Um exemplo central dessa transição é o *Meat Factory Cell* (MFC), que substitui linhas de produção engessadas por

células robóticas flexíveis e higiênicas (Mason *et al.*, 2024). Contudo, a Indústria 5.0 impõe que essa eficiência tecnológica coexista com critérios ESG, posicionando a saúde do trabalhador como eixo central da governança (Bispo & Amaral, 2024). Para gerenciar essa transição sociotécnica e integrar a produtividade ao bem-estar, utiliza-se a análise SWOT como ferramenta de diagnóstico ocupacional (Istrat *et al.*, 2024; Van Erp *et al.*, 2024), aliada à Matriz TOWS para confrontar riscos operacionais e derivar diretrizes estratégicas de sustentabilidade no chão de fábrica (Ferreira *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2023).

A alta prevalência de Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRT) na indústria de proteína animal decorre de uma triade biomecânica crítica: alta repetitividade, exigência de força de preensão acima dos limiares de tolerância em ferramentas de corte e exposição ao frio extremo, condições operacionais que potencializam severamente o risco de lesões (Tirloni *et al.*, 2021; Villalobos & Mac Cawley, 2022). A severidade dessas lesões apresenta forte disparidade demográfica nas linhas de alto ritmo, nas quais modelos preditivos confirmam que mulheres com mais de 24,5 anos e com mais de 1.620 dias na mesma função constituem o estrato de maior vulnerabilidade ao agravamento clínico (Marzoque *et al.*, 2025; Zinn & Hofmeister, 2022).

Alinhada aos pilares da Indústria 5.0, a automação humanizada diferencia-se ao estabelecer o bem-estar do operador como requisito primário de projeto (Arana-Landín *et al.*, 2023). O uso de sistemas robóticos avançados neutraliza a exposição ao perigo ao transferir tarefas biomecânicas de alto risco para máquinas (Benson *et al.*, 2023). Tecnologias de ajuste dinâmico são essenciais nesse processo, pois mitigam disparidades e promovem a equidade ocupacional ao adaptarem o posto às capacidades individuais (Zinn & Hofmeister, 2022). Estudos confirmam que a adoção de sistemas autônomos com Inteligência Artificial melhora significativamente o desempenho social do setor, garantindo ganhos em saúde, segurança e desenvolvimento de novas competências (Valente *et al.*, 2023).

Apesar dos benefícios físicos, a transição para ambientes automatizados gera desafios psicossociais severos, como o *technostress*, a carga mental induzida por tecnologias imersivas e a ansiedade relacionada à substituição ou obsolescência tecnológica (Bispo & Amaral, 2024; Cunha *et al.*, 2022; Nazareno & Schiff, 2021). A consolidação do conceito de "Operador 4.0" ilustra a mudança do papel humano da execução braçal para a supervisão, o que demanda novas competências analíticas e gera fadiga decorrente da vigilância constante (Cunha *et al.*, 2022; Moura & Moura, 2021). Episódios de falha na automação impõem o dilema cognitivo de estabilidade e flexibilidade, exigindo que o operador reassuma o controle manual de forma

subitânea, o que eleva drasticamente a carga mental e os riscos de acidentes (Stasch & Mack, 2025). Dessa forma, a sustentabilidade da automação depende de estratégias corporativas de *reskilling* (requalificação profissional), essenciais para que o trabalhador desenvolva o novo perfil exigido pela Indústria 5.0, focado na tomada de decisão assertiva, na gestão da confiança no sistema e na supervisão de complexos cibernéticos (Bispo & Amaral, 2024; Gualtieri *et al.*, 2021). Portanto, a gestão da produção deve adotar uma rigorosa abordagem sociotécnica, na qual o sucesso da automação depende da maneira como a organização gerencia a interface humano-máquina, prevenindo a sobrecarga cognitiva e promovendo a resiliência humana e produtiva (Leso *et al.*, 2018).

3. Metodologia

Esta pesquisa conduz uma revisão integrativa qualitativa em quatro etapas, complementada por modelagem conceitual estratégica (Mason *et al.*, 2024). Esse rigor metodológico assegura a replicabilidade na análise da automação humanizada no setor de proteína animal (Aly *et al.*, 2023), viabilizando a integração de fatores tecnológicos e humanos em ambientes industriais complexos (Arana-Landín *et al.*, 2023; Valente *et al.*, 2023).

A coleta de dados ocorreu nas bases Scopus, Web of Science e Google Scholar, garantindo abrangência temática (Cardoso *et al.*, 2021). A estratégia mapeou as dimensões tecnológicas, ergonômicas e organizacionais da literatura (Bispo & Amaral, 2024), combinando perspectivas de engenharia e ergonomia, procedimento validado na indústria de carnes (Romanov *et al.*, 2022). Quanto aos descritores, o Eixo Tecnológico incluiu *robotics* (robótica), *automation*, *cobots* (robôs colaborativos) e *machine vision* (visão computacional) (Lyu *et al.*, 2025); o Eixo Ergonômico focou em WRMSDs (DMRTs), *biomechanical load* (carga biomecânica) e *ergonomic risk* (Tirloni *et al.*, 2021); e o Eixo Social abrangeu *worker welfare* (bem-estar), *psychosocial risk* (risco psicossocial), *human-centered design* (design centrado no humano) e critérios ESG (Bispo & Amaral, 2024). Essa estrutura fundamentou o diagnóstico SWOT e a derivação de diretrizes por meio da Matriz TOWS (Ferreira *et al.*, 2019).

Quanto aos critérios de seleção e elegibilidade, incluíram-se artigos revisados por pares que cruzassem ao menos dois eixos conceituais, garantindo a interseção entre o ambiente produtivo e os fatores humanos (Bispo & Amaral, 2024). Excluíram-se estudos focados exclusivamente na eficiência ou na qualidade alimentar, sem interface direta com a saúde e a ergonomia do trabalhador (Cunha *et al.*, 2022). Essa triagem alinha a pesquisa ao estado da arte, minimiza vieses de seleção e garante a consistência metodológica necessária à replicabilidade do estudo (Cardoso *et al.*, 2021; Gualtieri *et al.*, 2021).

Por fim, para a categorização e análise dos estudos, o material selecionado foi organizado em dimensões analíticas, como níveis de automação e riscos psicossociais, consolidando as evidências que sustentam a Modelagem Conceitual de Automação Humanizada. A Tabela 2 sintetiza o corpus bibliográfico final e o processo de extração

Tabela 2: Síntese do Corpus Bibliográfico e Evidências Estratégicas

Autor (Ano)	Tecnologia / Inovação	Dimensão de Análise	Principal Evidência/ Resultado
Mason <i>et al.</i> (2021/2024)	<i>Meat Factory Cell</i> (MFC): Estação de trabalho robótica modular que substitui a linha de produção tradicional por células de processamento autônomas.	Automação e Sustentabilidade: Eficiência das máquinas e economia de recursos.	Viabilidade de automação para múltiplos volumes de produção, com aumento da higiene e adaptação à deformação biológica.
Colim <i>et al.</i> (2021)	<i>Cobots</i> e Sensores IMU: Robôs que trabalham ao lado de humanos e sensores vestíveis que monitoram o movimento do corpo em tempo real.	Ergonomia Digital: Monitoramento computadorizado da postura e movimentos do corpo	Melhoria ergonômica comprovada, permitindo adequar a estação aos trabalhadores com limitações osteomusculares.
Maithani <i>et al.</i> (2021)	Sistema <i>Exoscarpe</i> (pHRI): Tecnologia assistiva baseada na interação física entre o humano e o robô para auxiliar na força de corte.	Mitigação de DMRT: Redução de doenças decorrentes do esforço físico repetitivo.	Redução de 30% no esforço físico manual exigido do trabalhador durante o corte.
Marzoque <i>et al.</i> (2025)	<i>Machine Learning</i> (IA): algoritmos de Inteligência Artificial que aprendem com dados históricos para prever eventos futuros.	Gestão Preventiva: Uso de dados para antecipar e evitar problemas de saúde.	Precisão de 95,3% na capacidade preditiva do modelo de agravo de lesões por DMRT no chão de fábrica.
Wright <i>et al.</i> (2024)	Faca Instrumentada: Faca conectada ao sistema com coleta de dados analíticos de corte.	Sensores de segurança: Uso de "olhos eletrônicos" para garantir a segurança no trabalho.	98% de precisão na prevenção de colisões entre máquina e humano, garantindo um trabalho seguro em conjunto.
Dutra <i>et al.</i> (2024)	Mecanização no setor agrícola: Uso de máquinas para substituir o esforço físico humano na coleta e transporte de cargas pesadas.	Viabilidade Econômica: Análise de lucro e retorno financeiro do investimento.	Viabilidade Financeira (VPL): VPL positivo (+64,786 USD), indicando que o ganho compensa o investimento tecnológico e o impacto trabalhista.
Bispo & Amaral (2024)	Análise Sociotécnica: Estudo da transição do operador convencional para o Operador 4.0.	Riscos Emergentes: Novos problemas de saúde mental decorrentes do uso de tecnologia.	Identificação de <i>Technostress</i> : Descoberta de que a tecnologia pode causar estresse mental e cansaço por excesso de informação (riscos cognitivos). A automação surge como resposta estratégica à escassez e à rotatividade da mão de obra, embora enfrente o desafio da variabilidade biológica.
Lyu <i>et al.</i> (2025)	Sistemas robóticos e automatizados no processamento de carnes.	Automação e Mão de Obra.	Constatação de que a deformidade e a variabilidade anatômica das carcaças dificultam a adaptação de sensores e robôs convencionais.
Kim <i>et al.</i> (2023)	Robótica para processos de abate (suínos e bovinos).	Complexidade e Desafios Operacionais.	Dificuldade tecnológica atual para mimetizar perfeitamente a percepção tátil humana na execução de movimentos e cortes complexos/finos.
Aly <i>et al.</i> (2023)	Tecnologias de sensoriamento (raio-x, visão 3D, ultrassom e sensores táteis).	Limitações Tecnológicas.	

Takács et al. (2024)	Smart grippers (garras robóticas inteligentes) com sensores de força e visão.	Manipulação de Tecidos.	A manipulação de objetos macios, escorregadios e deformáveis na indústria de carnes exige <i>hardwares</i> específicos e algoritmos de prevenção de falhas.
Cunha et al. (2022)	Interação Humano-Máquina e a transição para o "Operador 4.0".	Ergonomia Cognitiva e Riscos Psicossociais.	A inserção tecnológica e a vigilância constante de sistemas podem gerar <i>technostress</i> , sobrecarga mental, ansiedade e alienação do operador.
Valente et al. (2023)	Avaliação do Ciclo de Vida Social de Sistemas Robóticos Autônomos (ARS).	Sustentabilidade Social e Resistência à Mudança.	A automação altera a dinâmica de trabalho e pode gerar barreiras culturais e medo de substituição, exigindo modelos de governança para mitigar resistências.
Dias (2020)	Rotação de Tarefas: Estratégia de revezamento de funcionários entre diferentes postos de trabalho para evitar a fadiga.	Organização do Trabalho: Como o revezamento de tarefas afeta o cansaço humano.	Constatação de que o revezamento isolado é ineficaz para mitigar a fadiga em tarefas frigoríficas de alto ritmo.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), baseado na literatura revisada.

Na modelagem conceitual por meio da análise SWOT, a técnica foi aplicada para converter evidências em fatores estratégicos, método consolidado na avaliação de riscos e de segurança industrial (Ferreira *et al.*, 2019; Istrat *et al.*, 2024; van Erp *et al.*, 2024). Para garantir objetividade, estruturou-se uma matriz de conversão fundamentada em metodologias multicritério (Oliveira *et al.*, 2023). A Tabela 3 detalha a alimentação dos quadrantes, associando os achados técnicos às projeções de mercado.

Tabela 3: Matriz de Conversão de Evidências para Modelagem SWOT

Quadrante SWOT	Fator Estratégico Derivado	Critério de Repetibilidade	Fonte de Evidência (Exemplos)
Forças	Redução de sobrecarga física e DMRT	Redução de 30% no esforço de corte e melhoria do escore RULA (método que avalia a sobrecarga nos braços e no tronco para estimar o risco de lesão).	Maithani (2021); Colim (2021)
Fraquezas	Limitação em cortes complexos e alto custo	Dificuldade do robô em lidar com a variabilidade biológica (diferenças de tamanho e forma entre carcaças) e restrição financeira para plantas de pequeno porte.	Kim (2023); Aly (2023)
Oportunidades	Sustentabilidade e suprimento de mão de obra	Atendimento à necessidade estratégica de reduzir o absenteísmo (faltas ao trabalho por motivos de saúde), que atinge 30% no setor.	Mason (2021); ABPA (2025)
Ameaças	Riscos psicossociais e falha em métodos tradicionais	Evidência de que o revezamento de funcionários (rotação de tarefas) não resolve o risco e pode aumentar o <i>technostress</i> (estresse causado pela adaptação à tecnologia)	Bispo & Amaral (2024); Dias (2020)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), baseado na literatura revisada.

Após a estruturação dos fatores, os dados foram submetidos a uma validação por triangulação metodológica e de dados, visando reduzir vieses subjetivos e aumentar a robustez do construto (Arana-Landín *et al.*, 2023). Este tipo de modelagem conceitual e análise baseada em *frameworks* de decisão é suportada pela literatura que busca prever o impacto da automação em dimensões organizacionais e de bem-estar (Leso *et al.*, 2018).

4. Resultados

Os dados extraídos do corpus bibliográfico revelam um panorama de transição tecnológica focado na superação dos limites da ergonomia tradicional na indústria de proteína animal. A sistematização dessas evidências permite compreender como as soluções *ciberfísicas* (tecnologias que conectam máquinas reais a sistemas digitais e sensores em tempo real) atuam diretamente nos fatores de risco biomecânico e na gestão preditiva da saúde ocupacional.

No escopo das tecnologias emergentes para mitigação de DMRT, a análise dos estudos selecionados permitiu identificar um ecossistema de soluções focadas na transição para a Indústria 5.0, priorizando a interação humano-centrada. As evidências técnicas extraídas indicam que: os Sistemas Assistivos e *Cobots*, como o *Exoscarne* (KUKA LWR), demonstraram redução de 30% na força manual exigida do trabalhador (Maithani *et al.*, 2021), enquanto o uso do modelo UR10e reduziu o risco ergonômico de níveis críticos (4,9) para aceitáveis (2,9) na escala RULA (Colim *et al.*, 2021); a Digitalização e Sensores, especialmente os de movimento inercial (IMUs) vestíveis, permitiram medir reduções de 20% a 45% nos desvios de punho (Colim *et al.*, 2021), ao passo que facas instrumentadas com sensores de proximidade e IMUs alcançaram até 98,1% de precisão na detecção de contato e prevenção de acidentes (Wright *et al.*, 2024); e a Inteligência Artificial (IA) e Predição, via modelos de *Machine Learning*, apresentaram 95,3% de precisão na predição de agravamento de DMRT em chão de fábrica (Marzoque *et al.*, 2025), além de viabilizarem células robóticas (como o *Meat Factory Cell*) que utilizam visão 3D para adaptar trajetórias de corte à variabilidade morfológica das carcaças em tempo real (Lyu *et al.*, 2025; Mason *et al.*, 2024).

Em relação aos impactos da automação nas dimensões de bem-estar, a implementação de sistemas automatizados e robóticos na cadeia de proteína animal gera impactos multidimensionais que reconfiguram a natureza do trabalho manual. No que tange à Dimensão Física (Carga Biomecânica), as evidências indicam que a automação atua na remoção direta de tarefas que são a etiologia primária de DMRT no setor (Gualtieri *et al.*, 2021; Romanov *et al.*, 2022); a substituição de tarefas manuais por robôs em estágios críticos visa reduzir o absenteísmo, que atinge taxas de 20% a 30% em frigoríficos (Mason *et al.*, 2021); o uso de

robôs colaborativos permite neutralizar posturas forçadas, eliminando riscos severos como a torção de tronco (Colim *et al.*, 2021); a adoção de tecnologias assistivas proporciona redução de 30% na força manual necessária para o corte (Maithani *et al.*, 2021); e, por fim, o uso de sensores vestíveis monitora e corrige posturas em tempo real, reduzindo os desvios angulares articulares (Cardoso *et al.*, 2021; Colim *et al.*, 2021), enquanto ferramentas instrumentadas previnem acidentes de corte por meio da detecção de contato (Wright *et al.*, 2024).

A modelagem conceitual proposta culmina na análise estratégica apresentada na Tabela 4. Esta matriz traduz as evidências quantitativas e qualitativas extraídas da literatura em direcionadores para a gestão da produção e da saúde ocupacional no setor de proteína animal.

Tabela 4: Matriz SWOT da Automação Humanizada no Processamento de Carne

Forças	Fraquezas
Redução de carga biomecânica: Queda de 30% na força manual (Maithani <i>et al.</i> , 2021) e melhoria nos escores RULA (Colim <i>et al.</i> , 2021). Eficiência Operacional: Mitigação do absenteísmo, que atualmente atinge taxas críticas de 20% a 30% no setor (Mason <i>et al.</i> , 2021). Segurança do Trabalho: Eliminação de posturas forçadas (Colim <i>et al.</i> , 2021) e altíssima precisão na prevenção de acidentes de corte e laceros (Wright <i>et al.</i> , 2024).	Complexidade Biológica: Dificuldade de adaptação dos sensores à variabilidade e deformidade das carcaças (Kim <i>et al.</i> , 2023; Lyu <i>et al.</i> , 2025). Barreira Econômica: Elevado investimento inicial (CAPEX) e riscos de implementação em larga escala (Dutra, 2024; Mason <i>et al.</i> , 2021). Limitação Sensorial: Dificuldade tecnológica em mimetizar a percepção tátil humana para a execução de movimentos e cortes finos (Aly <i>et al.</i> , 2023; Takács <i>et al.</i> , 2024).
Oportunidades	Ameaças
Sustentabilidade Social (ESG - Ambiental, Social e Governança): Atendimento a metas globais de bem-estar e redução de doenças ocupacionais (Mason <i>et al.</i> , 2021). Escassez de Mão de Obra: Automação como resposta estratégica à rotatividade no setor de abate (Lyu <i>et al.</i> , 2025). Predição via IA: Uso de <i>Machine Learning</i> para antecipar agravamentos de lesões muito antes do afastamento crônico do trabalhador (Marzoque <i>et al.</i> , 2025).	Riscos Psicossociais: Surgimento de <i>technostress</i> , ansiedade e sobrecarga cognitiva (Bispo & Amaral, 2024; Cunha <i>et al.</i> , 2022). Ineficácia de Métodos Tradicionais: Rotação de tarefas insuficiente para mitigar riscos em linhas de alto ritmo (Dias, 2020). Resistência à Mudança: Barreiras culturais, dependência excessiva do sistema ou medo da substituição tecnológica por parte do operador (Valente <i>et al.</i> , 2023; Stasch, 2023).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), baseado na literatura revisada.

Com base no diagnóstico SWOT, aplicou-se a Matriz TOWS para derivar diretrizes operacionais. Esta abordagem fundamenta-se na eficácia do cruzamento estratégico para alinhar a operação aos novos requisitos de sustentabilidade social e de segurança da Indústria 5.0 (Van Erp *et al.*, 2024; Istrat *et al.*, 2024).

Tabela 5: Diretrizes Estratégicas Derivadas do Modelo de Automação Humanizada

Cruzamento Estratégico	Estratégia Proposta (Diretriz)	Base da SWOT (Confronto)
Estratégia Ofensiva (Forças x Oportunidades)	Implementar a manutenção preditiva do capital humano via <i>Machine Learning</i> como diferencial competitivo ESG (Ambiental, Social e Governança).	Utiliza a redução da carga física (Colim <i>et al.</i> , 2021; Maithani <i>et al.</i> , 2021) e o alto ganho em segurança (Wright <i>et al.</i> , 2024) (Forças) para alavancar a predição de lesões por Inteligência Artificial (Marzoque <i>et al.</i> , 2025) e atingir metas globais ESG (Mason <i>et al.</i> , 2021) (Oportunidades).
Estratégia Defensiva (Forças x Ameças)	Desenvolver programas de <i>reskilling</i> (requalificação) focados em supervisão cognitiva para mitigar o <i>technostress</i> e a alienação.	Usa o alívio físico e postural proporcionado pela robótica (Colim <i>et al.</i> , 2021; Maithani <i>et al.</i> , 2021) (Forças) para compensar a nova sobrecarga mental e a ansiedade tecnológica (Bispo & Amaral, 2024; Cunha <i>et al.</i> , 2022), bem como a falha dos métodos tradicionais de rodizio de tarefas (Dias <i>et al.</i> , 2020) (Ameças).
Estratégia Adaptativa (Fraquezas x Oportunidades)	Fomentar parcerias e consórcios tecnológicos para diluir o alto custo de investimento (<i>CAPEX</i> - <i>Capital Expenditure</i> , investimentos em ativos de longo prazo) em plantas de menor porte.	Supera a barreira econômica (Dutra <i>et al.</i> , 2024), a rigidez técnica e a complexidade biológica das carcaças (Kim <i>et al.</i> , 2023; Lyu <i>et al.</i> , 2025) (Fraquezas) com plataformas modulares (Mason <i>et al.</i> , 2021) para suprir a escassez de mão de obra e garantir escalabilidade (Lyu <i>et al.</i> , 2025) (Oportunidades).
Estratégia de Sobrevivência (Fraquezas x Ameças)	Padronizar protocolos baseados no <i>design</i> centrado no humano para evitar falhas e acidentes.	Mitiga as limitações sensoriais da máquina (Aly <i>et al.</i> , 2023; Takács <i>et al.</i> , 2024) (Fraquezas) para evitar que falhas técnicas agravem a resistência, a insegurança e o medo de substituição tecnológica pelo operador (Stasch & Mack, 2025; Valente <i>et al.</i> , 2023) (Ameças).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base em Ferreira *et al.* (2019) e Oliveira *et al.* (2023).

5. Discussão

A análise dos resultados demonstra que a transição tecnológica no setor de proteína animal transcende a busca por eficiência produtiva, configurando-se como uma reestruturação do sistema sociotécnico (Mason *et al.*, 2021). A convergência entre robótica, sensores e inteligência artificial possibilita uma intervenção direta na etiologia dos DMRT, mas exige uma governança que mitigue novos riscos emergentes (Bispo & Amaral, 2024; Colim *et al.*, 2021). No que tange à automação e à nova fronteira da ergonomia, a redução substancial na exigência biomecânica e a melhoria significativa nos escores posturais comprovam que a robótica colaborativa atua de forma eficaz onde as intervenções administrativas tradicionais apresentam

limitações (Colim *et al.*, 2021; Maithani *et al.*, 2021). Enquanto o rodízio de tarefas demonstra ineficácia devido à homogeneidade das exigências físicas entre os postos, o que pode elevar o risco ergonômico em cenários de alto ritmo, a automação humanizada neutraliza a exposição ao retirar o operador da zona de risco direto (Dias *et al.*, 2020).

A digitalização da ergonomia converte o monitoramento ocupacional em uma ferramenta de prevenção dinâmica. Sistemas baseados em visão e sensoriamento inercial apresentam elevada acurácia na identificação de desvios posturais (Colim *et al.*, 2021), enquanto ferramentas instrumentadas atuam ativamente na detecção de contato e prevenção de acidentes (Wright *et al.*, 2024). Contudo, o desenvolvimento tecnológico requer um design participativo para que o sensoriamento promova o ajuste contínuo do posto às capacidades do operador, transcendendo a função de mera vigilância e controle corporativo e consolidando-se como um suporte real à atividade humana (Cunha *et al.*, 2022; Gualtieri *et al.*, 2021).

Sob a ótica da gestão da produção e inteligência de dados, a aplicação de modelos de *Machine Learning* com alto desempenho preditivo para antecipar o agravamento de lesões altera a lógica da gestão da produção, que passa a operar sob o paradigma da manutenção preditiva do capital humano (Marzoque *et al.*, 2025). A eficácia econômica, evidenciada pela viabilidade financeira dos projetos e pela redução expressiva nas taxas de absenteísmo, justifica o elevado investimento inicial exigido para a implementação de sistemas robóticos avançados (Dutra *et al.*, 2024; Mason *et al.*, 2021). Contudo, a gestão enfrenta o desafio da variabilidade biológica intrínseca às carcaças, exigindo algoritmos robustos para assegurar a repetibilidade do processo produtivo (Kim *et al.*, 2023). A integração entre sistemas de sensoriamento multimodal (visão computacional e força) e Inteligência Artificial não busca apenas a substituição mecânica, mas também adota um sistema de percepção sensorial avançado para o controle adaptativo em tempo real. Essa capacidade permite que a máquina ajuste suas trajetórias à deformação viscoelástica dos tecidos, mimetizando uma perícia de tomada de decisão antes restrita ao trabalhador manual (Lyu *et al.*, 2025; Wright *et al.*, 2024).

No âmbito da sustentabilidade do trabalho na Indústria 5.0, a sustentabilidade social do setor depende da mitigação do "deslocamento de riscos", fenômeno onde o alívio biomecânico pode dar lugar ao *technostress* e à sobrecarga cognitiva do operador (Bispo & Amaral, 2024). A transição do papel operacional para a supervisão de sistemas complexos exige programas de requalificação que priorizem o bem-estar mental, mitigando os efeitos da alienação tecnológica e do fenômeno *out-of-the-loop* (quando o operador perde a consciência situacional e se desconecta) durante o monitoramento de máquinas (Cunha *et al.*, 2022; Stasch & Mack, 2025).

A análise SWOT revela que, embora a resistência organizacional e os custos de implementação constituam barreiras internas, a oportunidade de alinhar o setor aos princípios da Indústria 5.0 e aos critérios ESG constitui um diferencial competitivo global (Mason *et al.*, 2021; Valente *et al.*, 2023). Assim, a automação humanizada configura-se como um modelo estratégico fundamental para garantir a resiliência e a longevidade da força de trabalho na indústria de proteína animal (Mason *et al.*, 2024).

Apesar dos benefícios claros na mitigação de DMRT, cabe ressaltar que este estudo apresenta limitações inerentes à sua abordagem metodológica qualitativa e conceitual. A análise baseou-se em evidências extraídas de um corpus bibliográfico específico, o que pode não captar a totalidade das variações operacionais em plantas frigoríficas de diferentes portes (Kim *et al.*, 2023). A escassez de dados longitudinais na literatura limita a compreensão do impacto mental e da adaptação do trabalhador à supervisão robótica em períodos prolongados (Cunha *et al.*, 2022).

Como perspectivas para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação de métodos de decisão multicritério, como o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), para priorizar as diretrizes estratégicas propostas na Matriz TOWS (Oliveira *et al.*, 2023), de forma integrada a abordagens analíticas baseadas em dados para a gestão preditiva de riscos ocupacionais na indústria frigorífica (Marzoque *et al.*, 2025). Recomenda-se também a investigação de estratégias corporativas de *reskilling* (entendidas como programas de requalificação profissional focados na transição do papel operacional para a supervisão de sistemas complexos), uma vez que a qualificação contínua é um dos desafios mais significativos para que os operadores lidem com as interações exigidas pela automação (Bispo & Amaral, 2024). É fundamental que empresas e governos invistam no aprimoramento das competências digitais para garantir uma distribuição justa dos benefícios e custos da tecnologia (Filomena, 2025).

A inserção robótica exigirá habilidades variáveis, elevando o potencial de remuneração em papéis de supervisão e teleoperação (Mason *et al.*, 2024). Esse novo perfil profissional foca no monitoramento e em decisões assertivas diante de imprevistos, demandando governança que assegure a sustentabilidade do sistema sociotécnico (Moura & Moura, 2021). Por fim, novos estudos devem explorar a integração de interfaces multimodais que permitam uma colaboração humano-robô mais intuitiva e segura, alinhada aos pilares da Indústria 5.0 e aos compromissos de governança ESG (Stasch & Mack, 2025; Valente *et al.*, 2023).

6. Conclusão



O presente estudo atingiu o objetivo de propor uma modelagem conceitual para a automação humanizada no setor de proteína animal, integrando evidências de redução da carga biomecânica à gestão preditiva da saúde ocupacional. A análise confirmou que a convergência entre robótica colaborativa, sensores multimodais e Inteligência Artificial é capaz de reduzir substancialmente a exigência física e melhorar os escores posturais dos operadores. Mais do que ganhos de eficiência, essa convergência tecnológica responde praticamente à urgência de transcender a visão tecno-centrada da Indústria 4.0, colocando a segurança e o bem-estar humano como pilares centrais da Indústria 5.0. As principais contribuições teóricas do estudo residem na constatação de que as intervenções organizacionais tradicionais, como o rodízio de tarefas, apresentam limitações críticas para mitigar riscos cumulativos em linhas de alto ritmo, exigindo a adoção de soluções ciber-físicas ativas. Do ponto de vista prático e estratégico, o estudo avança a literatura ao propor a aplicação da Matriz TOWS no setor de carnes. A modelagem demonstrou que, apesar das barreiras econômicas e da variabilidade biológica das carcaças, a automação baseada em dados oferece um caminho viável e estratégico para antecipar agravos à saúde e contornar a escassez de mão de obra.

Conclui-se, portanto, que a modernização tecnológica nos frigoríficos exige uma abordagem estritamente sociotécnica. O alívio do esforço físico proporcionado pelo maquinário deve ser obrigatoriamente acompanhado por programas de requalificação e mitigação do *technostress*, sustentados por rigorosos protocolos de governança corporativa e diretrizes ESG. Dessa forma, a automação deixa de ser tratada apenas como uma ferramenta de capacidade produtiva para garantir o atendimento aos três objetivos máximos da Indústria 5.0: a centralidade do trabalhador no design das tarefas, a sustentabilidade da operação e a resiliência do capital humano diante das contínuas transformações digitais do setor.

REFERÊNCIAS

- ABPA. (2025). Relatório Anual 2025: Brazilian Animal Protein Association. São Paulo: ABPA. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2025/04/ABPA-Annual-Report-2025.pdf>. Acesso em 27 maio 2025.
- ALY, Busem Adel; LOW, Tobias; LONG, Derek; BAILLIE, Craig; BRETT, Peter. Robotics and sensing technologies in red meat processing: A review. *Trends in Food Science & Technology*, Amsterdam, v. 137, p. 142-155, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.05.015>
- ARANA-LANDÍN, G., LASKURAIN-ITURBE, I., ITURRATE, M., & LANDETA-MANZANO, B. (2023). Assessing the influence of industry 4.0 technologies on occupational health and safety. *Heliyon*, 9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13720>.



BENSON, C., OBASI, I., AKINWANDE, D., & Ile, C. (2024). The impact of interventions on health, safety and environment in the process industry. *Heliyon*, 10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23604>.

BISPO, Lucas Gomes Miranda; AMARAL, Fernando Gonçalves. The impact of Industry 4.0 on occupational health and safety: A systematic literature review. *Journal of Safety Research*, Amsterdam, v. 90, p. 254-271, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.04.009>

CARDOSO, A.; RIBEIRO, A.; CARNEIRO, P.; COLIM, A. Evaluating Exoskeletons for WMSD Prevention: A Systematic Review of Applications and Ergonomic Approach in Occupational Settings. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2024, 21, 1695. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijvan.Erph21121695>

COLIM, Ana; MORGADO, Rita; DINIS-CARVALHO, José; SOUSA, Nuno. An Empirical Study of the Work Conditions and Productive Performance After Collaborative Robotics Implementation in a Manufacturing Assembly Process. *FME Transactions*, Belgrado, v. 49, n. 4, p. 859-866, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5937/fmc2104859C>

CUNHA, Liliana; SILVA, Daniel; MAGGIOLI, Sarah. Exploring the status of the human operator in Industry 4.0: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, Lausanne, v. 13, e889129, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.889129>

DE MEDEIROS ESPER, Ian; FROM, Pål J.; MASON, Alex. Robotisation and intelligent systems in abattoirs. *Trends in Food Science & Technology*, Amsterdam, v. 108, p. 214-222, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.005>.

DIAS, Natália Fonseca; TIRLONI, Adriana Seára; REIS, Diogo Cunha dos; MORO, Antônio Renato Pereira. Effect of Job Rotation on the Risk of Developing UI-WMSDs in Poultry Slaughterhouse Workers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, Campinas, v. 21, n. 2, p. 001-012, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102929>.

DUTRA, Fábio Mascarenhas; GARCIA, Rodrigo Garófalo; NORILLER, Rafael Martins; BINOTTO, Erlaine; BURBARELLI, Maria Fernanda de Castro; KOMIYAMA, Claudia Marie; CALDARA, Fabiana Ribeiro; VALENTIM, Jean Kaique. Economic viability analysis of mechanization in broiler chicken harvesting. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 53, e20230043, 2024. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz5320230043>

VAN ERP, T.; GALAMBOS, P.; RUDAS, L. J.; HAIDEGGER, T. Industry 5.0: The human-centric transition in smart manufacturing and safety management. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 20, n. 4, p. 115-128, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142271>

FERREIRA, Evelise Pereira; GRUBER, Crislaine; MERINO, Eugenio Andrés Díaz; MERINO, Giselle Schmidt Alves Díaz; VERGARA, Lizandra Garcia Lupi. Strategic management in the meat processing industry: an application of SWOT Analysis in storage and shipping stage. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 26, n. 2, e3147, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X-3147-19>



FILOMENA, Mattia. The impact of industrial robot penetration on workplace safety. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Oxford, v. 87, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1111/obes.70000>

GUALTIERI, L.; Rauch, E.; Vidoni, R. (2021). Emerging research fields in safety and ergonomics in industrial collaborative robotics: A systematic literature review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67, 101998. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101998>

HINRICHSEN, L. (2010). Manufacturing technology in the Danish pig slaughter industry. *Meat science*, 84 2, 271-5. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.03.012>.

ISTRAT, N.; LUMITRU, C.; CHIRU, A. Occupational Health and Safety Management Systems: A SWOT-TOWS analysis for industrial environments. *Journal of Safety and Health at Work*, v. 15, n. 2, p. 45-59, 2024. <https://eurosa.rs/wordpress/wp-content/uploads/2024/07/EUROS-A-2024-zbornik.pdf>

KIM, Juntae; KWON, Young-Kyoung; KIM, Hack-Youn; SEOL, Kuk-Hwan; CHO, Byoung-Kwan. Robot technology for pork and beef meat slaughtering process: A review. *Animals*, Basel, v. 13, n. 4, 651, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13040651>.

LESO V, FONTANA L, IAVICOLI L (2018) The occupational health and safety dimension of Industry 4.0: Industry 4.0 and occupational health. *Med Lav*. 2018;109(5):327-338. DOI: <https://doi.org/10.23749/mdl.v109i5.7282>

LYU, Yining; WU, Fan; WANG, Qingyu; LIU, Guanyu; ZHANG, Yingqi; JIANG, Huanyu; ZHOU, Mingchuan. A review of robotic and automated systems in meat processing. *Frontiers in Robotics and AI*, Lausanne, v. 12, e1578318, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/frobt.2025.1578318>

MAITHANI, Harsh; CORRALES RAMON, Juan Antonio; LEQUIEVRE, Laurent; MEZOUAR, Youcef; ALRIC, Matthieu. Exoscarne: Assistive Strategies for an Industrial Meat Cutting System Based on Physical Human-Robot Interaction. *Applied Sciences*, Basel, v. 11, n. 9, 3907, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11093907>

MARZOQUE, Hercules José; BATISTA, Marcelo Linon; NÄÄS, Irenilza de Alencar; ALENCAR, Maria do Carmo Baracho de. Machine learning models for minimizing aggravation in work-related musculoskeletal disorders among slaughterhouse workers. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, Amsterdam, v. 81, n. 4, p. 3170-3183, 2025. <https://doi.org/10.1177/10519815251329261>

MASON, Alex; Korostynska, Olga; Cordova-Lopez, Luis Eduardo; Esper, Ian de Medeiros; Romanov, Dmytro; Ross, S.; Takács, Kristóf; Haidegger, Tamás. Meat Factory Cell: Assisting meat processors address sustainability in meat production. In: 21st IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI), Budapest, p. 103-108, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1177/02783649241234035>

MASON, Alex; Esper, Ian de Medeiros; Korostynska, Olga; Cordova-Lopez, Luis Eduardo; Romanov, Dmytro; Pincková, Michaela; Bjørnstad, Per Håkon; Alvseike, Ole; POPOV, Anton; Smolkin, Olek; Manko, Maksym;



Christensen, Lars Bager; Takács, Kristóf; Haidegger, Tamás. Robutcher: A novel robotic meat factory cell platform. *The International Journal of Robotics Research*, Thousand Oaks, v. 43, n. 11, p. 1711-1730, 2024b. DOI: <https://doi.org/10.1109/CINTI53070.2021.9668392>

MOURA, J. L. S.; MOURA, R. A. Interação Humano-Máquina no Sistema Produtivo da Indústria 4.0 Visando Aumentar a Produtividade e Reduzir Lesões Por Esforços Repetitivos. In: VI Congress of Industrial Management and Aeronautical Technology (CIMatech), São José dos Campos, 2021. ISSN: 2447-5378. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/interacao-humano-maquina-no-sistema-produtivo-da-industria-4-gbaa38403k.pdf>

OLIVEIRA, Rimena Canuto; NÄÄS, Irenilza de Alencar; GARCIA, Solimar. Combining SWOT with AHP for Analyzing the Adoption of a Circular Economy in the Apparel Industry in Brazil. *Recycling*, Basel, v. 8, n. 5, e73, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/recycling8050073>

STASCH, Sophie-Marie; MACK, Wolfgang. Diagnosing cognitive control with eye-tracking metrics in a multitasking environment. *Applied Ergonomics*, Amsterdam, v. 125, e104461, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104461>

TAKÁCS, Kristóf; TÓTH, B.; GALAMBOS, Péter; RUDAS, I. J.; HAIDEGGER, Tamás. Robotic grippers for large and soft object manipulation in food processing. *Sensors*, Basel, v. 24, e4631, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24144631>

TIRLONI, S. F., TIRLONI, A. S., ROQUEIRO, N., Díaz Merino, E. A., Schmidt Alves Diaz Merino, G., & Pereira Moro, A. R. (2021). Cutting force measurement: Hand tool instrumentation used in slaughterhouses – A systematic review. *EXCLI Journal*, 20, 727–747. DOI: <https://doi.org/10.17179/excli2020-3167>

VALENTE, Clara; MØLLER, Hanne; JOHNSEN, Fredrik Moltu; SAXEGÅRD, S.; BRUNSDON, E. R.; ALVSEIKE, Ole Arne. Life cycle sustainability assessment of a novel slaughter concept. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdam, v. 280, e122651, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02256-9>

VILLALOBOS, G., & MAC CAWLEY, A. (2022). Evaluating work-related musculoskeletal disorders in the Chilean meat industry: A participatory ergonomic approach. *Applied Ergonomics*, 100, 103556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103556>

WRIGHT, Ryan; PAREKH, Sagar; WHITE, R.; LOSEY, D. Physical human-robot interaction and intention detection in red meat processing systems. *USDA National Institute of Food and Agriculture*, Virginia, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50569-4>

ZINN, I., & HOFMEISTER, H. (2022). The gender order in action: Consistent evidence from two distinct workplace settings. *Journal of Gender Studies*, 31(8), 941–955. <https://doi.org/10.1080/09589236.2022.2115019>

CAPÍTULO IV

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as considerações finais desta dissertação, consolidando os principais achados dos artigos científicos para responder ao objetivo geral da pesquisa. Inicialmente, são apresentadas as conclusões (4.1), que resumem os padrões de adoecimento por DMRTs na cadeia produtiva de proteína animal e suas implicações. Em seguida, são detalhadas as recomendações para trabalhos futuros (4.2), visando expandir a análise para novas metodologias e abordagens teóricas, que fundamentarão a continuidade da investigação acadêmica.

4.1. Conclusões

A abordagem integrada e longitudinal dos dados do SINAN (2006 a 2024) analisou os Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DMRTs) na cadeia produtiva de proteína animal no Brasil, que era o Objetivo Geral dessa pesquisa.

Em resposta ao Objetivo Específico 1 (Diagnósticos e Ocupações), o estudo identificou que seis funções concentraram 91% dos registros de agravos. A análise por função ocupacional revelou uma associação direta entre as exigências biomecânicas e os diagnósticos notificados. O diagnóstico M75 (Lesões do Ombro) foi o mais incidente em funções de corte e desossa, como magarefe (25%), abatedor (24%) e açougueiro (23%). Por sua vez, o código Z57 (Exposição Ocupacional a Fatores de Risco) apresentou predominância expressiva na função de avicultor (81%).

Em relação aos Objetivos Específicos 2 e 3 (Gênero, Idade e Segregação de Riscos), a pesquisa revelou uma significativa segregação de riscos ocupacionais no setor.

Padrão de Gênero: O estudo observou uma inversão nos padrões epidemiológicos a partir de 2022, com as notificações masculinas superando as

femininas. As mulheres continuaram a concentrar maior incidência de lesões de membros superiores (M75, M65 e G56) em funções de linha de produção, enquanto o aumento masculino está associado ao crescimento do código Z57, o que pode refletir um maior reconhecimento dos riscos ambientais (como frio e vibração) em funções tipicamente masculinas. Neste contexto, a persistência de lesões em membros superiores (ombros e punhos) entre as mulheres revela uma segregação ocupacional crítica na cadeia produtiva de proteína animal. Sob a ótica da Engenharia de Produção, esse fenômeno é associado à alocação de trabalhadoras em postos de trabalho com ciclos de tempo reduzidos e alta exigência de repetitividade, como as linhas de embalagem e acabamento de cortes. Conforme observado por Paramasivam *et al.* (2024), as disparidades de gênero nos agravos musculoesqueléticos não decorrem apenas de fatores fisiológicos, mas de falhas no projeto do sistema de trabalho que não considera as variações das dimensões físicas e a carga ergonômica diferenciada entre os gêneros. Neste cenário, evidencia-se que os sistemas produtivos tradicionais falharam ao não contemplar variações das dimensões físicas e a carga ergonômica diferenciada entre os gêneros (Zinn & Hofmeister, 2022). Em contrapartida, a adoção de modelos de Automação Humanizada e interfaces colaborativas surge como uma resposta tecnológica capaz de superar essa segregação. Essa transição não apenas reduz a carga biomecânica, mas atua como um vetor de sustentabilidade social para a promoção da equidade de gênero na indústria de proteína animal (Cunha *et al.*, 2022; Maithani *et al.*, 2021)

Adicionalmente, os achados deste estudo enfatizam que a sustentabilidade da participação feminina na cadeia produtiva de proteína animal depende da implementação de protocolos ergonômicos diferenciados por gênero. É imperativo que as intervenções de engenharia e gestão priorizem a redução de lesões por esforços repetitivos nessas funções de predominância feminina. A reforma das práticas de emprego para assegurar que o trabalho das mulheres seja fisicamente sustentável e economicamente viável é uma necessidade para o alcance da equidade laboral e para o crescimento econômico do setor a longo prazo. Portanto, a gestão de riscos deve evoluir para uma abordagem que reconheça as dinâmicas da força de trabalho e a segregação ocupacional, garantindo que o desenvolvimento industrial não ocorra em detrimento da integridade física da trabalhadora.

Faixa Etária: A maior incidência de afastamentos concentrou-se entre trabalhadores em plena fase produtiva, nas faixas de 20 a 49 anos, para ambos os gêneros, com indícios de que as desigualdades influenciam o absenteísmo e a permanência na força de trabalho. A concentração dos afastamentos na faixa etária entre 20 e 49 anos representa uma ameaça direta à sustentabilidade operacional e ao capital humano das organizações. Esta é a fase de maior produtividade e maturidade técnica do colaborador, e sua retirada precoce do fluxo produtivo acarreta custos elevados de rotatividade (turnover) e necessidade de novos treinamentos (Brunner *et al.*, 2019). A perda desse conhecimento tácito e a interrupção da curva de aprendizado geram ineficiências que impactam a competitividade da cadeia, reforçando que os DMRTs devem ser tratados como uma falha na gestão de ativos humanos e não apenas como um custo assistencial isolado. A implementação de sistemas assistivos e colaborativos converte os postos de trabalho em ambientes ergonomicamente protegidos, permitindo prolongar a vida útil profissional destes trabalhadores (Valente *et al.*, 2020). Consequentemente, garante-se a resiliência do sistema produtivo por meio da manutenção do capital intelectual e da expertise tácita, evitando o colapso por falta de mão de obra qualificada (Islam *et al.*, 2025; Maithani *et al.*, 2021)

O estudo conclui que a persistência dos DMRTs e a desigualdade na exposição e no adoecimento exigem que as políticas de saúde do trabalhador sejam sensíveis ao gênero e à idade, com a adoção de estratégias de prevenção diferenciadas. A eficácia da prevenção depende da integração entre o monitoramento contínuo dos agravos, a gestão psicossocial e a formulação de estratégias que reconheçam a segregação estrutural da força de trabalho.

A despeito das contribuições deste estudo, algumas limitações devem ser consideradas. Embora a pesquisa tenha adotado a segmentação por elos da cadeia produtiva de proteína animal como unidade de análise para garantir uma visão sistêmica, reconhece-se que a impossibilidade de uma estratificação intrassetorial mais profunda (distinguindo isoladamente frigoríficos de aves, suínos e pescados) deve-se à natureza dos dados secundários, que em certos estratos poderiam apresentar uma amostragem reduzida, comprometendo a robustez estatística das inferências.

Adicionalmente, este estudo concentrou-se nos indicadores de absenteísmo (afastamentos registrados). Contudo, o fenômeno do presenteísmo, em que o trabalhador permanece na atividade mesmo com sintomas, representa uma dimensão crítica do adoecimento ocupacional não capturada pelas bases de notificação compulsória, sugerindo que a magnitude real dos agravos pode ser ainda mais expressiva. A avaliação desse fenômeno exigiria a aplicação de instrumentos de autorrelato e escalas de produtividade validadas, que permitem identificar a redução da capacidade funcional e o impacto das condições de saúde no desempenho das tarefas, mesmo quando não há o afastamento formal do posto de trabalho.

Como recomendação estratégica para a gestão de sistemas de operação, propõe-se a integração dos dados de vigilância oficial, como os provenientes do SINAN, aos sistemas de monitoramento interno das empresas. A utilização de indicadores, como o código Z57, permite que os gestores identifiquem precocemente as áreas críticas de exposição antes da manifestação de patologias clínicas. Nesse sentido, as intervenções de engenharia propostas devem ser norteadas pelo conceito de automação humanizada, característica da Indústria 5.0. Mais do que a simples busca por eficiência, a automação deve atuar como tecnologia assistiva, priorizando a eliminação de tarefas de alta repetitividade e sobrecarga biomecânica, além da implementação de pausas de recuperação baseadas na carga de trabalho real. Isso devolve ao trabalhador um papel de supervisão técnica em um ambiente laboral ergonomicamente seguro e cognitivamente sustentável. Esta modelagem, fundamentada na análise SWOT e na Matriz TOWS desenvolvidas nesta pesquisa, indica que a integração de Machine Learning e visão computacional à rotina dos frigoríficos é o caminho para uma gestão preditiva, capaz de alinhar a produtividade aos critérios ESG (Environmental, Social, and Governance).

4.2. Recomendações de trabalhos futuros

Recomenda-se que a continuidade da investigação acadêmica priorize a quantificação econômica da saúde do trabalhador, um tema tangenciado, mas não aprofundado nesta dissertação. É crucial mensurar os custos diretos e indiretos gerados pelos afastamentos por DMRTs para as empresas e o ônus para o sistema

previdenciário, pois essa análise é fundamental para justificar a adoção de políticas preventivas mais eficazes e o investimento em saúde do trabalhador. Em particular, é essencial que pesquisas futuras calculem o Retorno sobre o Investimento (ROI) de tecnologias de substituição, avaliando o benefício financeiro de empresas que substituem o trabalho manual por mecanização ou automação. Essa análise deve verificar se o investimento em novas tecnologias e na reengenharia dos postos de trabalho corresponde à redução dos DMRTs e, conseqüentemente, na diminuição dos custos com absenteísmo e indenizações.

No campo da inovação, sugere-se investigar a eficácia real da mecanização e da automação dos processos produtivos sob a ótica da Indústria 5.0, verificando se a transição para sistemas automatizados favorece a humanização do trabalho. A pesquisa futura deve incorporar o desenvolvimento de modelos preditivos avançados que utilizem os dados históricos do SINAN para antecipar picos de notificações e otimizar a alocação de trabalhadores de forma proativa, avaliando se a colaboração humano-máquina contribui para a longevidade da força de trabalho e para a mitigação dos riscos segregados por gênero. Sugere-se ainda a aplicação de métodos de auxílio à decisão multicritério, como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), para priorizar quais postos de trabalho devem receber investimentos em automação de forma mais urgente, baseando-se no cruzamento de dados epidemiológicos do SINAN e viabilidade técnica.

Adicionalmente, torna-se necessário realizar estudos longitudinais específicos sobre o período pós-2022, a fim de validar se a inversão na distribuição de gênero observada nesta pesquisa se consolida como uma tendência permanente.

Por fim, para aprofundar a análise interseccional das desigualdades, sugere-se expandir o escopo de variáveis com a inclusão de outros marcadores sociais, como raça/etnia e escolaridade, visando uma compreensão mais completa das múltiplas vulnerabilidades no adoecimento. É igualmente imperativo adotar metodologias mistas (quanti-qualitativas), integrando os dados epidemiológicos utilizados nesta dissertação a abordagens que explorem a percepção dos trabalhadores sobre o cotidiano operacional, a eficácia das intervenções preventivas e o clima organizacional. Tais investigações permitiriam uma compreensão detalhada das especificidades de cada segmento da cadeia e devem priorizar a análise da

sustentabilidade física e econômica da participação feminina, verificando se as intervenções de engenharia propostas são de fato eficazes na manutenção das mulheres em postos críticos. O objetivo deve ser garantir que a busca pela equidade laboral seja acompanhada pela preservação da integridade física da trabalhadora ao longo de toda a sua vida produtiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aarstad, J., & Kvitastein, O. A. (2023). Effect of long-term absenteeism on the operating revenues, productivity, and employment of enterprises. *Administrative Sciences*, 13(6), 156. DOI: <https://doi.org/10.3390/admsci13060156>.

ABPA. Relatório anual de 2024. Disponível em: https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2024/04/ABPA-Relatorio-Anual-2024_capa_frango.pdf. Acessado em 09 nov. 2024.

Aly, B. A., Low, T., Long, D., Baillie, C., & Brett, P. (2023). Robotics and sensing technologies in red meat processing: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 137, 142-155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.05.015>

Andersen, L. L., Vinstrup, J., Sundstrup, E., Skovlund, S. V., Villadsen, E., & Thorsen, S. V. (2021). Combined ergonomic exposures and development of musculoskeletal pain in the general working population: A prospective cohort study. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 47(4), 287. DOI: <https://doi.org/10.5271/sjweh.3954>.

Andersen, L. L., Pedersen, J., Sundstrup, E., Thorsen, S. V., & Rugulies, R. (2021). High physical work demands have worse consequences for older workers: prospective study of long-term sickness absence among 69 117 employees. *Occupational and environmental medicine*, 78(11), 829-834. DOI: <https://doi.org/10.1136/oemed-2020-107281>.

Archer, L., Peat, G., Snell, K. I., Hill, J. C., Dunn, K. M., Foster, N. E., ... & Wynne-Jones, G. (2025). Musculoskeletal health and work: development and Internal–External cross-validation of a model to predict risk of work absence and presenteeism in people seeking primary healthcare. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 35(3), 578-591. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10926-024-10223-w>.

Bensken, W. P., Alberti, P. M., Stange, K. C., Sajatovic, M., & Koroukian, S. M. (2022). ICD-10 Z-code health-related social needs and increased healthcare utilization. *American journal of preventive medicine*, 62(4), e232-e241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2021.10.004>.

Benson, C., Obasi, I. C., Akinwande, D. V., & Ile, C. (2024). The impact of interventions on health, safety and environment in the process industry. *Heliyon*, 10(1). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23604>.

Bispo, L. G. M., & Amaral, F. G. (2024). The impact of Industry 4.0 on occupational health and safety: A systematic literature review. *Journal of Safety Research*, 90, 254-271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.04.009>.

Biswas, A., Harbin, S., Irvin, E., Johnston, H., Begum, M., Tiong, M., ... & Smith, P. (2022). Differences between men and women in their risk of work injury and disability: A systematic review. *American journal of industrial medicine*, 65(7), 576-588. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajim.23364>.

Bouzigon, R., Dupuy, O., Tiemessen, I., De Nardi, M., Bernard, J. P., Mihailovic, T., ... & Dugué, B. M. (2021). Cryostimulation for post-exercise recovery in athletes: a consensus and position paper. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 688828.. DOI: <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.688828>.

BRASIL. Fator Acidentário de Prevenção – FAP e Risco Ambiental do Trabalho – RAT. Brasília: Ministério da Previdência Social, 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/fap>. Acesso em: 10 jan. 2025.

BRASIL. Legislação da Previdência Social. Disponível em: <https://www.gov.br/previdencia/pt-br/assuntos/legislacao>. Acessado em: 15 jan. 2025.

BRASIL. Ministério da Economia. Relatório de Análise de Impacto Regulatório: Norma Regulamentadora nº 17 – Ergonomia. Brasília: Secretaria Especial de Previdência e Trabalho, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-17-nr-17>. Acessado em: 09 novembro 2024.

BRASIL. Ministério da Previdência e Assistência Social; Ministério da Fazenda. **Portaria Interministerial nº 488, de 23 de novembro de 1999**. Dispõe sobre a relação CNAE versus grau de risco para fins de apuração do RAT. Diário Oficial da União, Brasília, 24 nov. 1999. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/orientacao-tributaria/declaracoes-e-demonstrativos/gfip-sefip-guia-do-fgts-e-informacoes-a-previdencia-social-1/fap-fator-acidentario-de-prevencao-legislacao-perguntas-frequentes-dados-da-empresa>. Acessado em 18 jan. 2025

BRASIL. Ministério da Previdência Social. Contribuições ao RGPS. Disponível em: <https://www.gov.br/previdencia/pt-br>. Acessado em: 18 jan. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. (2023). Lesões por esforços repetitivos (LER) e distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT). Governo Federal. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/saude-do-trabalhador/vigilancia-em-saude-do-trabalhador-vigisat/doencas-e-agravs-relacionados-ao-trabalho/lesoes-por-esforcos-repetitivos-ler-disturbios-osteomusculares-relacionadas-ao-trabalho-dort> Acessado em fevereiro de 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN): dados epidemiológicos. Disponível em: <https://portalsinan.saude.gov.br/dados-epidemiologicos-SINAN>. Acessado em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Classificação Brasileira de Ocupações (CBO). Disponível em: <https://cbo.mte.gov.br/cbosite/pages/pesquisas/BuscaPorTitulo.jsf>. Acessado em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras - NR. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acessado em: 09 nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 01 – Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais. Portaria MTE nº 1.419, de 27 de agosto de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/2024/portaria-mte-no-1-419-nr-01-gro-nova-redacao.pdf/view>. Acessado em: 09 novembro 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 36 – Segurança e Saúde no Trabalho nas Organizações de Abate e Processamento de Carnes e Derivados. Portaria MTE nº 1.065, de 1º de julho de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/2024/portaria-mte-no-1-065-nova-nr-36.pdf/view>. Acessado em: 09 novembro 2024.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 5.201, de 12 de agosto de 2024. Altera a Lista Nacional de Notificação Compulsória de Doenças, Agravos e Eventos de Saúde Pública nos serviços de saúde públicos e privados em todo o território nacional. Brasília: Ministério da Saúde, 2024. Acessado em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2024/prt5201_19_08_2024.html

Brunner, B., Igic, I., Keller, A. C., & Wieser, S. (2019). Who gains the most from improving working conditions? Health-related absenteeism and presenteeism due to stress at work: B. Brunner et al. *The European Journal of Health Economics*, 20(8), 1165-1180. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10198-019-01084-9>

Cardoso, A., Colim, A., Bicho, E., Braga, A. C., Menozzi, M., & Arezes, P. (2021). Ergonomics and human factors as a requirement to implement safer collaborative robotic workstations: A literature review. *Safety*, 7(4), 71. DOI: <https://doi.org/10.3390/safety7040071>

Christiansen, D. H., Nielsen, K. J., Andersen, D. R., & Andersen, J. H. (2022). Musculoskeletal health climate is associated with musculoskeletal pain and sickness

absence among workers: a cross-sectional study. *BMJ open*, 12(4), e056485. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-056485>.

CID10.COM.BR. Classificação Internacional de Doenças – CID-10. Disponível em: <https://cid10.com.br/>. Acessado em: 19 abr. 2025.

Colim, A., Sousa, N., Carneiro, P., Costa, N., Arezes, P., & Cardoso, A. (2020). Ergonomic intervention on a packing workstation with robotic aid—case study at a furniture manufacturing industry. *Work*, 66(1), 229-237. DOI: <https://doi.org/10.3233/WOR-203144>.

Cunha, L., Silva, D., & Maggioli, S. (2022). Exploring the status of the human operator in Industry 4.0: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 13, 889129..DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.889129>.

Esper, I. M., From, P. J., & Mason, A. (2021). Robotisation and intelligent systems in abattoirs. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 214-222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.005>.

Dias, N. F., Tirloni, A. S., dos Reis, D. C., & Moro, A. R. P. (2020). Risk of slaughterhouse workers developing work-related musculoskeletal disorders in different organizational working conditions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 76, 102929. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102929>.

dos Reis, D. C., Ramos, E., Reis, P. F., Hemberger, P. K., Gontijo, L. A., & Moro, A. R. P. (2015). Assessment of risk factors of upper-limb musculoskeletal disorders in poultry slaughterhouse. *Procedia Manufacturing*, 3, 4309-4314. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.423>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Balanço social 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1163847/1/BS-2023.pdf>. Acessado em: 09 nov. 2024.

EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK. *Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. Disponível em: <https://osha.europa.eu/en/publications/work-related-musculoskeletal-disorders-prevalence-costs-and-demographics-eu>. Acessado em: 12 maio 2025.

França, V. F., Amorim, P. B., Silva, L. P., & Lopes, A. T. (2023). Musculoskeletal disorders related to the working environment in the slaughter sector of a meat-packing plant. *Int. Sci. Eng. Vet. J. Health*, 2, e002.DOI: <https://10.56238/isevjhv2n5-002>.

FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. *Panorama da Saúde do Trabalhador na Indústria da Proteína Animal*. Brasília, DF, 2023. <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/centrais-de-conteudo/pesquisa-intervencao/estudo-preliminar-em-frigorificos>. Acessado em: 19 abr. 2025.

G1. Brasil deve aproveitar crise entre China e frigoríficos dos EUA para reforçar exportação de carne ao país asiático, dizem economistas. **G1 Economia**, 27 abr. 2025. <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2025/04/27/brasil-deve-aproveitar-crise-entre-china-e-frigorificos-dos-eua-para-reforcar-exportacao-de-carne-ao-pais-asiatico-dizem-economistas.ghtml>. Acessado em: 15 maio 2025.

Garcia, S. D., de Carvalho, M., & Baltazar, M. (2022). COVID-19 among slaughterhouse workers: relationship between worker's health and food safety. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, 20(1), 86.. DOI: <http://dx.doi.org/10.47626/1679-4435-2022-794>

Ghasemi, F., Gholamizadeh, K., Rahmani, R., & Doosti-Irani, A. (2020). Prevalence and severity of carpal tunnel syndrome symptoms among Iranian butchers and their association with occupational risk factors: Implications for ergonomic interventions. *Work*, 66(4), 817-825. DOI: <https://doi.org/10.3233/WOR-203227>.

Gómez, M. M. (2020). Prediction of work-related musculoskeletal discomfort in the meat processing industry using statistical models. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 75, 102876. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.102876>.

GOVERNMENT OF CANADA. *Ergonomics in the workplace – preventing musculoskeletal injuries*. 2025. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/employment-social-development/services/health-safety/reports/ergonomics/module1.html>. Acessado em: 12 maio 2025.

Greggi, C., Visconti, V. V., Albanese, M., Gasperini, B., Chiavoghilefu, A., Prezioso, C., ... & Tarantino, U. (2024). Work-related musculoskeletal disorders: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 13(13), 3964. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm13133964>.

Heidari, M., Borujeni, M. G., Rezaei, P., & Abyaneh, S. K. (2019). Work-related musculoskeletal disorders and their associated factors in nurses: a cross-sectional study in Iran. *The Malaysian journal of medical sciences: MJMS*, 26(2), 122. DOI: <http://doi.org/10.21315/mjms2019.26.2.13>.

Hinrichsen, L. (2010). Manufacturing technology in the Danish pig slaughter industry. *Meat science*, 84(2), 271-275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.03.012>

Hulshof, C. T., Pega, F., Neupane, S., van der Molen, H. F., Colosio, C., Daams, J. G., ... & Frings-Dresen, M. H. (2021). The prevalence of occupational exposure to ergonomic risk factors: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO

Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. Environment international, 146, 106157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106157>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/classificacoes/cnae.html>. Acessado em: 18 maio 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Relatórios sobre Previdência Social no Brasil. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br>. Acessado em: 6 jan. 2025.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). Management of occupational safety and health. Geneva: ILO, 2019. Disponível em: https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/resources-library/publications/WCMS_733595/lang--en/index.htm. Acessado em: 10 abr. 2025.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. 2012. International Standard Classification of Occupations (ISCO-08): Structure, group definitions and occupational correspondence table (Vol. 1). ILO. <https://webapps.ilo.org/ilostat-files/ISCO/newdocs-08-2021/ISCO-08/ISCO-08%20EN%20Vol%201.pdf>. Acessado em 12 Janeiro 2026

Islam, M. T., Sepanloo, K., Woo, S., Woo, S. H., & Son, Y. J. (2025). A review of the industry 4.0 to 5.0 transition: exploring the intersection, challenges, and opportunities of technology and human-machine collaboration. *Machines*, 13(4), 267. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines13040267>

Jackson, J. A., Sund, M., Barlari Lobos, G., Melin, L., & Mathiassen, S. E. (2023). Assessing the efficacy of a job rotation for improving occupational physical and psychosocial work environment, musculoskeletal health, social equality, production quality and resilience at a commercial laundromat: protocol for a longitudinal case study. *BMJ open*, 13(5), e067633. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-067633>.

Januário, P. L., & Rodolpho, D. (2021). RISCOS E ACIDENTES DE TRABALHO EM FRIGORÍFICOS NO BRASIL. *Revista Interface Tecnológica*, 18(2), 690-700. DOI: <https://doi.org/10.31510/infa.v18i2.1267>.

Kim, J., Kwon, Y.-K., Kim, H.-W., Seol, K.-H., & CHO, B.-K. (2023). Robot technology for pork and beef meat slaughtering process: A review. *Animals*, 13(4), 651. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13040651>.

Kwon, M. J. (2020). Occupational health inequalities by issues on gender and social class in labor market: Absenteeism and presenteeism across 26 OECD countries. *Frontiers in Public Health*, 8, 84. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00084>

Lee, Y.-C., Hong, X., & Man, S. S. (2023). Prevalence and associated factors of work-related musculoskeletal disorders symptoms among construction workers: A cross-sectional study in South China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4653. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20054653>.

Lowe, B. D., Hayden, M., Albers, J., & Naber, S. (2022). Case studies of robots and automation as health/safety interventions in small manufacturing enterprises. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 32(6), 921–955. DOI: <https://doi.org/10.1002/hfm.20971>.

Luger, T.; Maher, C. G.; Rieger, M. A.; Steinhilber, B. Work-break schedules for preventing musculoskeletal symptoms and disorders in healthy workers. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012886.pub2>.

Lund, C. B., Mikkelsen, S., Thygesen, L. C., Hansson, G. Å., & Thomsen, J. F. (2019). Movements of the wrist and the risk of carpal tunnel syndrome: a nationwide cohort study using objective exposure measurements. *Occupational and environmental medicine*, 76(8), 519-526. DOI: <https://doi.org/10.1136/oemed-2018-105619>.

Maithani, H., Corrales, J. A., Lequievre, L., Mezouar, Y., & Alric, M. (2021). Exoscarne: Assistive strategies for an industrial meat cutting system based on physical human-robot interaction. *Applied Sciences*, 11(9), 3907. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11093907>.

Marra, G. C., Cohen, S. C., & de Oliveira Cardoso, T. A. (2019). Reflexões sobre o trabalho em frigoríficos e seus impactos sobre a saúde dos trabalhadores. *Trabalho & Educação*, 28(2), 231-243. DOI: <https://doi.org/10.35699/2238-037X.2019.13534>.

Marzoque, H. J., Batista, M. L., Nääs, I. D. A., & de Alencar, M. D. C. B. (2025). Machine learning models for minimizing aggravation in work-related musculoskeletal disorders among slaughterhouse workers. *Work*, 81(4), 3170-3183. DOI: <https://doi.org/10.1177/10519815251329261>.

Mason, A., Korostynska, O., Cordova-Lopez, L. E., Esper, I., Romanov, D., Ross, S., ... & Haidegger, T. (2021, November). Meat factory cell: Assisting meat processors address sustainability in meat production. In: *2021 IEEE 21st international symposium on computational intelligence and informatics (CINTI)* (pp. 000103-000108). IEEE. DOI: https://www.sustainablerobotics.org/wp-content/uploads/2021/09/IROS_2021_MFC_Sustainability-Manuscript-S-Ross95.pdf

Matias, J. L. N., & Moreira, A. L. M. (2021). Empresa contemporânea e meio ambiente do trabalho: o dever de tutela para além da questão nacional e monetarizante. *Revista Jurídica da FA7*, 18(3), 107-122. DOI <https://doi.org/10.24067/rjfa7;18.3:1680>.

Minghelli, B., Ettro, N., Simão, J., & Maurício, K. (2019). Work-related self-reported musculoskeletal injuries in Portuguese hypermarket cashiers. *La Medicina Del Lavoro*, 110(3), 191. DOI: <https://doi.org/10.23749/mdl.v110i3.7771>.

MINISTÈRE DU TRAVAIL. *Plan Santé au Travail 2016-2020 et Accord National Interprofessionnel (ANI)*. França, 2024. Disponível em: <https://travail-emploi.gouv.fr>. Acessado em: 12 maio 2025.

Mohammed, H. H., Rizk, S. M., & Ebied, E. M. (2018). Occupational health hazards as perceived by poultry processing slaughterhouse workers. *Medical Journal of Cairo University*, 86(3), 1129–1138. DOI: https://mjcu.journals.ekb.eg/article_56127.html

Monteiro, V. A., Marzoque, H. J., Batista, M. L., Alencar, M. D. C. B. D., Pereira, L. D., & Nääs, I. D. A. (2025). Navigating Occupational Hazards: Musculoskeletal Disorders Among Slaughterhouse Workers in Brazil. *Safety*, 11(2), 39. DOI: <https://doi.org/10.3390/safety11020039>.

Moura, J. L., & Moura, R. A. D. (2019). Interação humano-máquina no sistema produtivo da indústria 4.0 visando aumentar a produtividade e reduzir lesões por esforços repetitivos. *Fatec de São José dos Campos/SP*. DOI: <https://scispace.com/pdf/interacao-humano-maquina-no-sistema-produtivo-da-industria-4-g0aa38403k.pdf>

Nascimento, A., & Messias, I. A. D. (2018). Rodízio de postos em abate de bovinos: para além das dimensões físicas do trabalho. *Cadernos de Saúde Pública*, 34, e00095817. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311x00095817>

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA). Ergonomics for the prevention of musculoskeletal disorders: guidelines for meatpacking plants. U.S. Department of Labor. Disponível em: <https://www.osha.gov/publications/OSHA3123>. Acesado em: 19 abr. 2025.

Oliveira, L. G. F., & Boere, V. (2021). Health of illegal workers from cattle slaughterhouses in Northeast Brazil. *Rural and Remote Health*, 21(4), 1-9. DOI: <https://doi.org/10.22605/RRH6061>.

Paramasivam, S. K., Mani, K., & Paneerselvam, B. (2024). Unveiling gender-based musculoskeletal disorders in the construction industry: A comprehensive analysis. *Buildings*, 14(4), 1169. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14041169>

Pontonnier, C., De Zee, M., Samani, A., Dumont, G., & Madeleine, P. (2014). Strengths and limitations of a musculoskeletal model for an analysis of simulated meat cutting tasks. *Applied ergonomics*, 45(3), 592-600. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.08.003>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal de Saúde. Diretoria de Vigilância em Saúde. (2024). Boletim epidemiológico Sentinela nº 05/2024: o sistema de integração e a saúde do trabalhador. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Disponível em: https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/hotsites/sms/vigilancia-em-saude/BOLETIM%20EPID%20SENTINELA%2005_2024.pdf Acessado em fevereiro de 2025).

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal de Saúde. Diretoria de Vigilância em Saúde. (2024). Boletim LER/DORT 2024. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Disponível em: https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/hotsites/sms/vigilancia-em-saude/BOLETIM_LER_DORT_2024_0.pdf Acessado em fevereiro de 2025.

RECEITA FEDERAL. Malha Fiscal PJ/GFIP - Operação GILRAT - Parâmetro 50.002. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/orientacao-tributaria/declaracoes-e-demonstrativos/revisao-de-declaracao-malha/malha-fiscal-pj-gfip-operacao-gilrat>. Acessado em: 15 jan. 2025.

Romanov, D., Korostynska, O., Lekang, O. I., & Mason, A. (2022). Towards human-robot collaboration in meat processing: Challenges and possibilities. *Journal of Food Engineering*, 331, 111117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111117>

Rosado, A. S., Cabrini, I., Duarte, N., Baptista, J. S., & Guedes, J. C. (2024). Evaluation of shoulder risk factors in the repetitive task of slaughterhouse. *Safety*, 10(3), 63. DOI: <https://doi.org/10.3390/safety10030063>.

Santos, A. B., & Batalha, M. O. (2023). The internationalization of meatpacking firms: a competence-based approach. *British Food Journal*, 125(2), 731-751. DOI: <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2021-0471>.

Schram, J. L., Robroek, S. J., Ots, P., Brouwer, S., Burdorf, A., Van Zon, S. K., & Oude Hengel, K. M. (2020). Influence of changing working conditions on exit from paid employment among workers with a chronic disease. *Occupational and environmental medicine*, 77(9), 628-633. DOI: <https://doi.org/10.1136/oemed-2019-106383>.

Sears, J. M., Edmonds, A. T., MacEachen, E., & Fulton-Kehoe, D. (2021). Workplace improvements to support safe and sustained return to work: Suggestions from a survey of workers with permanent impairments. *American journal of industrial medicine*, 64(9), 731-743. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajim.23274>.

Serranheira, F., Uva, A. D. S., & Espírito-Santo, J. (2009). Estratégia de avaliação do risco de lesões músculo-esqueléticas de membros superiores ligadas ao trabalho aplicada na indústria de abate e desmancha de carne em Portugal. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 34(119), 58-66. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0303-76572009000100007>.

Silva, E. M. da, Batinga, G. L., & Tonon, L. (2022). Precariedade, adoecimento e exaustão de trabalhadores da agroindústria frigorífica brasileira na (pós) pandemia. *Anais do XLVI Encontro da ANPAD (EnANPAD 2022)*. Online, 21–23 de setembro de 2022. Disponível em: <https://anpad.com.br/uploads/articles/120/approved/72bcba983cd3b0bf1d4251311d8b3772.pdf>.

Slade, J., & Alleyne, E. (2023). The psychological impact of slaughterhouse employment: A systematic literature review. *Trauma, Violence, & Abuse*, 24(2), 429-440. DOI : <https://doi.org/10.1177/15248380211030243>.

SMARTLAB. (2025). SST – Segurança e Saúde no Trabalho. *Ministério Público do Trabalho (MPT) & Organização Internacional do Trabalho (OIT)*. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst>. Acessado em 5 de outubro de 2025.

Sompan, R., Keeratisiroj, O., Aungudornpukdee, P., & Mahaboonpeeti, R. (2024). Prevalence of work-related musculoskeletal disorders and ergonomic risk assessment among production workers of pig slaughterhouse in the town municipality of Ang Thong, Thailand. *International Journal of Occupational Safety and Health*, 14(1), 69-76. DOI: <https://doi.org/10.3126/ijosh.v14i1.57401>.

Sun, Q., Yuan, Y., Xu, B., Gao, S., Zhai, X., Xu, F., & Shi, J. (2025). Innovative technologies reshaping meat industrialization: *Challenges and opportunities in the intelligent era*. *Foods*, 14(13), 2230. DOI : <https://doi.org/10.3390/foods14132230>.

Sundstrup, E., Seeberg, K. G. V., Bengtson, E., & Andersen, L. L. (2020). A systematic review of workplace interventions to rehabilitate musculoskeletal disorders among employees with physical demanding work. *Journal of occupational rehabilitation*, 30(4), 588-612. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10926-020-09879-x>.

Taibi, Y., Metzler, Y. A., Bellingrath, S., & Müller, A. (2021). A systematic overview on the risk effects of psychosocial work characteristics on musculoskeletal disorders, absenteeism, and workplace accidents. *Applied ergonomics*, 95, 103434. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103434>.

Tirloni, A. S., Dos Reis, D. C., Tirloni, S. F., & Moro, A. R. P. (2020). Exertion perception when performing cutting tasks in poultry slaughterhouses: risk assessment of developing musculoskeletal disorders. *International journal of environmental research and public health*, 17(24), 9534. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17249534>.

Tirloni, A. S., Reis, D. C. D., Borgatto, A. F., & Moro, A. R. P. (2019). Association between perception of bodily discomfort and individual and work organisational factors in Brazilian slaughterhouse workers: a cross-sectional study. *BMJ open*, 9(2), e022824. DOI : <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-022824>.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). *Relatórios do Tribunal de Contas da União*. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.tcu.gov.br>. Acessado em: 10 jan. 2025.

Ubri, P. S., Swietek, K., Sawyer, J., Pyatt, T., & Stead, M. (2022). Use of ICD-10-CM Z Codes in 2018 Medicaid Claims and Encounter Data. *NORC at the University of Chicago*. Disponível em: https://www.norc.org/content/dam/norc-org/pdfs/Documentation%20of%20SDOH%20in%20Medicaid%20Claims_032422.pdf

Ursachi, C. Ș., Munteanu, F. D., & Cioca, G. (2021). The safety of slaughterhouse workers during the pandemic crisis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2633. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18052633>

Waithaka, J. K., Warutere, P. N., Makhonge, P., & Korir, R. (2017). Frequency and Risk Factors for the Occurrence of Work Related Musculoskeletal Disorders among Slaughter House Workers in Nairobi County. *Environ. Res*, 9, 72-79. Disponível em: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/CER/article/view/39072>

WORLD HEALTH ORGANIZATION; INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. WHO/ILO joint estimates of the work-related burden of disease and injury, 2000–2016: global monitoring report. Geneva: WHO; ILO, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034945>. Acesso em: 2 maio 2025.

Wu, J., Hu, Z., Han, Z., Gu, Y., Yang, L., & Sun, B. (2021). Human physiological responses of exposure to extremely cold environments. *Journal of Thermal Biology*, 98, 102933. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102933>

Zinn, I., & Hofmeister, H. (2022). The gender order in action: Consistent evidence from two distinct workplace settings. *Journal of Gender studies*, 31(8), 941-955. DOI: <https://doi.org/10.1080/09589236.2022.2115019>.

OECD/FAO – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico / Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. (2023). Perspectivas Agrícolas da OECD-FAO 2023–2032. OECD Publishing. Acessado em: <https://doi.org/10.1787/19991142>

UNIÃO EUROPEIA. Comissão Europeia, Direção-Geral da Agricultura e do Desenvolvimento Rural. (2025). Perspectivas agrícolas da União Europeia para mercados, renda e meio ambiente, 2025–2035. Serviço de Publicações da União Europeia. DOI: https://agriculture.ec.europa.eu/data-and-analysis/markets/outlook_en

ANEXOS



Figura 3 – Certificado de Participação – ENEGEP 2025



Figura 4 – Certificado de Publicação – Revista Safety