

**Proposta de adequação à Norma Regulamentadora
NR-12: estudo de caso em máquina de manufatura de
Poliestireno Expandido**

Autor: Gabriel Rodrigues da Costa

Orientador: Prof.^a Dr.^a Cristina Almeida Magalhães.

Belo Horizonte, MG

2026

GABRIEL RODRIGUES DA COSTA

**PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO À NORMA
REGULAMENTADORA NR-12:
estudo de caso em máquina de manufatura de
Poliestireno Expandido**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado no Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica do Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais,
como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Cristina Almeida
Magalhães.

Belo Horizonte

2026

C838p Costa, Gabriel Rodrigues da
Proposta de adequação à Norma Regulamentadora NR-12: estudo de caso em máquina de manufatura de poliestireno expandido / Gabriel Rodrigues da Costa – 2026.
107 f. : il., gráfs., tabs., fotos.

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de graduação do Programa de Graduação em Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

Orientadora: Cristina Almeida Magalhães.

Banca examinadora: Cristina Almeida Magalhães, Ivanilza Felizardo e Marcelo Rios de Araújo.

Bibliografia: f. 105-107.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Avaliação de riscos – Teses. 2. Trabalhadores da indústria – Normas – Teses. 3. Segurança do trabalho – Teses. 4. Poliestireno – Teses. 5. Segurança industrial – Estatística – Teses. I. Magalhães, Cristina Almeida. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.

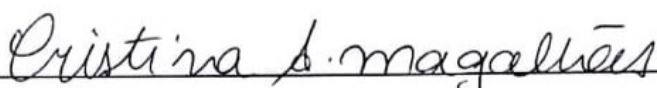
CDD 363.17

GABRIEL RODRIGUES DA COSTA

PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO À NORMA REGULAMENTADORA NR-12:
ESTUDO DE CASO EM MÁQUINA DE MANUFATURA DE POLIESTIRENO
EXPANDIDO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentada no Curso de Graduação em Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

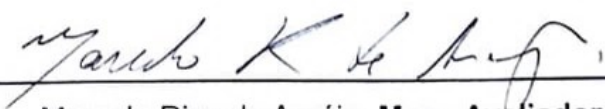
Data de aprovação: 18/06/2026


Cristina Almeida Magalhães, Dr.^a, Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Nova Gameleira
CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais


Ivanilza Felizardo, Dr.^a, Avaliador

Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Nova Gameleira
CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais


Marcelo Rios de Araújo, Msc., Avaliador

Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Nova Gameleira
CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

*“Tudo neste mundo tem o seu tempo;
cada coisa tem a sua ocasião”*

Eclesiastes 3:1, NTLH

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo seu amor e cuidado incondicional, o qual me mantém de pé para desfrutar de cada nova manhã, suas misericórdias se renovando.

A minha esposa, Jéssica, cujo amor, companheirismo e compreensão foram fundamentais. A minha filha, Liz, que suportou minhas ausências e foi a motivação diária para buscar um futuro melhor.

Aos meus pais, Ricardo e Sirlene, e ao meu irmão Gustavo, pelo incentivo e apoio. Sem vocês, a realização desse sonho não seria possível.

A minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Cristina, pela orientação, paciência e sugestões durante o processo de desenvolvimento deste trabalho.

A empresa especializada em manufatura de Poliestireno Expandido localizada na região metropolitana de Belo Horizonte pela confiança e abertura para a realização deste estudo de caso.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e ao corpo docente pela infraestrutura e ensinamentos proporcionados durante todo o curso de graduação.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A NR-12 estabelece requisitos técnicos e organizacionais destinados à prevenção de acidentes e à garantia da integridade física dos trabalhadores que interagem com máquinas e equipamentos industriais. Este trabalho apresenta uma proposta de adequação de uma máquina de manufatura de Poliestireno Expandido (EPS), especificamente a guilhotina de corte vertical a fio quente identificada como MG001, instalada em pátio fabril localizado na região metropolitana de Belo Horizonte. A pesquisa caracteriza-se como estudo de caso com abordagem qualitativa, estruturada a partir de pesquisa-ação, visita técnica ao equipamento, levantamento das condições operacionais e aplicação de metodologia de apreciação de riscos conforme diretrizes da ABNT NBR ISO 12100 e utilização do método Hazard Rating Number (HRN). Foram identificados riscos mecânicos e térmicos associados ao fio aquecido, ausência ou inadequação de proteções físicas, deficiência em dispositivos de parada de emergência, lacunas na sinalização de segurança e fragilidades nos procedimentos operacionais. Com base na análise realizada, foram determinadas a categoria de segurança e o Performance Level Requerido (PLr), conforme critérios da ABNT NBR ISO 13849-1, permitindo a proposição de medidas técnicas voltadas à mitigação dos riscos, incluindo instalação de proteções fixas e móveis com intertravamento, melhoria no arranjo físico, implementação de dispositivos de parada de emergência e adequação documental e de capacitação. Com base na projeção do cenário pós-adequação e nos novos valores estimados de HRN, verificou-se potencial de redução dos riscos identificados entre 60% e 90%, dependendo do cenário analisado. Esses resultados indicam que as medidas propostas podem contribuir significativamente para o aumento da segurança operacional, conformidade legal e melhoria das condições de trabalho. Conclui-se que a adequação sistematizada à NR-12 contribui para a redução de acidentes, melhoria das condições de trabalho e fortalecimento da cultura de segurança no ambiente industrial.

Palavras-chave: Apreciação de Risco; Adequação à NR-12; Poliestireno Expandido (EPS); Hazard Rating Number.

ABSTRACT

The Brazilian Regulatory Standard NR-12 establishes technical and organizational requirements aimed at preventing occupational accidents and ensuring worker safety in the operation of machinery and equipment. This study presents a proposal for the safety compliance adaptation of an Expanded Polystyrene (EPS) manufacturing machine, specifically a vertical hot-wire cutting guillotine identified as MG001, installed in an industrial facility located in the metropolitan region of Belo Horizonte. The research is characterized as a qualitative case study structured through an action-research approach, including on-site technical inspection, operational condition assessment, and risk appraisal based on the guidelines of ABNT NBR ISO 12100. The Hazard Rating Number (HRN) method was applied to estimate and classify risk levels. Mechanical and thermal hazards associated with the heated wire were identified, as well as deficiencies related to physical guarding, emergency stop devices, safety signaling, and operational procedures. Based on the risk analysis, the required safety category and Performance Level (PLr) were determined according to ABNT NBR ISO 13849-1 criteria, enabling the proposal of engineering control measures focused on risk reduction. Suggested improvements include the installation of fixed and interlocked movable guards, enhancement of the physical layout, implementation of emergency stop systems, and updates to documentation and operator training programs. Based on the projected post-adaptation scenario and the new estimated HRN values, a potential reduction ranging from 60% to 90% in the identified risks was determined, depending on the evaluated scenario. The results suggest that the proposed measures can significantly enhance operational safety, ensure compliance with applicable regulations, and improve workplace conditions. It is concluded that systematic compliance with NR-12 strengthens workplace safety culture and contributes to sustainable industrial performance.

Keywords: Risk Assessment; NR-12 Compliance; Expanded Polystyrene (EPS); Hazard Rating Number.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Painel de Controle	29
Figura 2 – Botão de parada de emergência	32
Figura 3 – Fluxograma das etapas da apreciação de riscos	45
Figura 4 – Hierarquia do Controle de Riscos.....	48
Figura 5 – Parâmetros do HRN	50
Figura 6 – Hazard Rating Number (HRN)	51
Figura 7 – Relação entre categoria do sistema, MTTFd, cobertura de diagnóstico e Performance Level Requerido (PLr).1	52
Figura 8 – Escala de níveis de Performance Level Requerido	54
Figura 9 – Categoria de Segurança	56
Figura 10 – Etapas da Pesquisa	58
Figura 11 – Pátio fabril.....	62
Figura 12 – Processo produtivo.....	63
Figura 13 – Modelo em 3D, Máquina de manufatura	65
Figura 14 – Layout original MG001	66
Figura 15 – Priorização dos Cenários	77
Figura 16 – Performance Level Requerido (PLr)	79
Figura 17 – Novo Arranjo Físico Industrial da Guilhotina MG001	82
Figura 18 – Exemplo de sinalização horizontal de segurança.....	83
Figura 19 – Exemplo de barreira física modular para atendimento à NR-12....	83
Figura 20 – Exemplo de barreira optoeletrônica (cortina de luz)	84
Figura 21 – Arquitetura do Sistema de Segurança	84
Figura 22 – Exemplo de painel de controle industrial com sistema de comando de segurança	85
Figura 23 – Sinalização vertical de advertência para zona de risco mecânico. 86	
Figura 24 – Exemplo de Torre luminosa	86
Figura 25 – Checklist de Arranjo Físico	88
Figura 26 – Checklist de Instalações e Dispositivos Elétricos	88
Figura 27 – Checklist de Dispositivos de partida, acionamento e parada	89
Figura 28 – Checklist de Dispositivos de parada de emergência	90
Figura 29 – Checklist de Sistemas de Segurança	90
Figura 30 – Checklist de Riscos Adicionais	92
Figura 31 – Checklist de Manutenção, inspeção, preparação, ajuste e reparos	92

Figura 32 – Checklist de Sinalização	93
Figura 33 – Checklist de Manuais	93
Figura 34 – Checklist de Procedimentos de trabalho e segurança	94
Figura 35 – Checklist de Capacitação	94
Figura 36 – Checklist de Aspectos Ergonômicos	94
Figura 37 – Seções APR NR-12.....	95
Figura 38 (a/b/c) - Comparativo Geral	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perigos	69
Tabela 2 - Classificação do HRN	70
Tabela 3 – CENÁRIO 1	71
Tabela 4 - CENÁRIO 2	72
Tabela 5 - CENÁRIO 3	73
Tabela 6 - CENÁRIO 4	74
Tabela 7 - Cenários de risco na Guilhotina MG001	76

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APR	Análise Preliminar de Riscos
CAT	Comunicação de Acidente de Trabalho
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
CNC	Comando Numérico Computadorizado
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
DPH	Degree of Possible Harm (Severidade do Dano)
EPS	Poliestireno Expandido
FE	Frequency of Exposure (Frequência de Exposição)
HRN	Hazard Rating Number
ISSO	International Organization for Standardization
LO	Likelihood of Occurrence (Probabilidade de Ocorrência)
LOTO	Lockout/Tagout (Bloqueio e Etiquetagem)
MTTFd	Mean Time To Dangerous Failure
NP	Number of Persons Exposed (Número de Pessoas Expostas)
NR	Norma Regulamentadora
OIT	Organização Internacional do Trabalho
PL	Performance Level
PLr	Performance Level Requerido
PPR	Programa de Proteção Respiratória
PGR	Programa de Gerenciamento de Riscos
SST	Segurança e Saúde no Trabalho
TR	Technical Report (Relatório Técnico)

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização do Tema e Formulação do Problema	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Justificativa	15
1.3.1 Relevância Social e Preventiva	15
1.3.2 Relevância Técnica e Acadêmica	16
1.3.3 Relevância Legal e Organizacional	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Manufaturas	17
2.1.1 Contexto Histórico	18
2.1.2 Sistemas de Manufatura.....	20
2.1.3 Automação	21
2.2 Normas	22
2.2.1 Contexto Histórico	23
2.2.2 Normas Regulamentadoras Brasileiras	24
2.2.3 NR-12	24
2.2.3.1 Processo de Adequação.....	25
2.2.3.2 Requisitos Essenciais.....	26
2.2.3.2.1 Arranjo Físico e Instalações.....	27
2.2.3.2.2 Instalações e Dispositivos Elétricos.....	28
2.2.3.2.3 Dispositivos de partida, acionamento e parada	29
2.2.3.2.4 Sistemas de Segurança.....	30
2.2.3.2.5 Dispositivo de parada de emergência	31
2.2.3.2.6 Meio de acesso permanente	32
2.2.3.2.7 Componentes Pressurizados.....	33
2.2.3.2.8 Transportadores de Materiais	34
2.2.3.2.9 Aspectos Ergonômicos	35
2.2.3.2.10 Riscos Adicionais.....	36
2.2.3.2.11 Manutenção,inspeção,preparação,ajustes e reparos ..	37
2.2.3.2.12 Sinalização	38
2.2.3.2.13 Manuais	38

2.2.3.2.14 Procedimentos de Trabalho e Segurança.....	39
2.2.3.2.15 Capacitação.....	40
2.2.4 ABNT NBR ISO 12100	41
2.2.4.1 Riscos.....	42
2.2.4.2 Avaliação de Riscos	43
2.2.4.3 Fluxograma.....	44
2.2.4.4 Análise de Riscos	46
2.2.4.5 Estimativa de Riscos	47
2.2.4.6 Método de Redução de Riscos.....	47
2.2.5 ISO-TR 14.121 - 2	48
2.2.5.1 Método Hazard Rating Number (HRN).....	49
2.2.6 ABNT NBR ISO 13849	51
2.2.6.1 Performance Level Requerido (PLr)	53
2.2.7 ABNT NBR 14153.....	55
2.2.7.1 Categoria	55
2.2.7.2 Sistemas de Segurança	57
3. METODOLOGIA.....	58
3.1 Natureza e Classificação da Pesquisa	58
3.2 Etapas de Elaboração da Pesquisa	58
3.2.1 Planejamento da Pesquisa-Ação.....	59
3.2.2 Coleta de Dados.....	59
3.2.3 Análise de Dados.....	60
3.2.4 Proposição de Ações de Adequação e Melhoria	60
3.2.5 Simulação de Cenário Pós-Adequação.....	61
3.3 Limitações Metodológicas	61
4. ESTUDO DE CASO	62
4.1 Caracterização da Empresa	62
4.2 Caracterização Técnica da Guilhotina MG001	63
4.3 Caracterização do Layout Físico	65
4.4 Caracterização do Processo Produtivo de Corte	66
4.5 Análise de Risco da MG001	67
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1 Avaliação de Risco GUILHOTINA_MG001	68
5.1.1 Determinação dos Limites da Máquina	68
5.1.2 Identificação dos Perigos	69

5.1.3 Estimativa de Risco - Método Hazard Rating Number (HRN)	70
5.1.3.1 CENÁRIO 1 – Corte na Zona de fio quente	71
5.1.3.2 CENÁRIO 2 - Esmagamento na Descida do fio quente	72
5.1.3.3 CENÁRIO 3 – Choque Elétrico no Pannel.....	73
5.1.3.4 CENÁRIO 4 – Risco Ergonômico(Movimentos Repetitivos)..	74
5.1.3.5 Indicador de Risco Inicial.....	75
5.2 Categoria e Performance Level Requerido Encontrados	77
5.3 Proposta de Adequação	79
5.3.1 Propostas de Controle.....	80
5.3.2 Proposições de Melhoria	82
5.3.3 Atendimento aos Requisitos Essenciais	87
5.4 Reavaliação do Indicador de Risco	95
5.4.1 NOVO CENÁRIO 1 – Corte na Zona de fio quente	96
5.4.2 NOVO CENÁRIO 2 - Esmagamento na Descida do fio quente	96
5.4.3 NOVO CENÁRIO 3 – Choque Elétrico no Pannel	97
5.4.4 NOVO CENÁRIO 4 – Risco Ergonômico	97
5.5 Impactos da Adequação	97
5.6 Limitações do Estudo	100
6. CONCLUSÃO.....	102
6.1 Benefícios para os Trabalhadores, a Produção e a Empresa	102
6.2 Considerações Finais.....	103
6.3 Recomendações para Trabalhos Futuros.....	104
REFERÊNCIAS.....	105

1. INTRODUÇÃO

O processo de industrialização, intensificado desde a Revolução Industrial, transformou profundamente os sistemas produtivos, promovendo a mecanização das atividades e, posteriormente, a automatização dos processos fabris. Essa evolução tecnológica proporcionou aumento significativo da produtividade, padronização da qualidade e redução de custos operacionais. Contudo, paralelamente aos avanços técnicos, ampliaram-se os riscos ocupacionais decorrentes da interação entre trabalhadores e máquinas.

No cenário contemporâneo, caracterizado pela competitividade industrial e pela busca constante por eficiência produtiva, a segurança do trabalho assume papel estratégico dentro das organizações. A incorporação de dispositivos de automatização, sistemas de corte, prensagem, conformação e movimentação de materiais exige que os equipamentos estejam em conformidade com requisitos técnicos de segurança, de modo a prevenir acidentes e garantir condições adequadas de operação.

No Brasil, a NR-12 estabelece diretrizes específicas para a segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, determinando critérios relacionados ao arranjo físico, sistemas de segurança, dispositivos de parada de emergência, proteções fixas e móveis, capacitação de operadores e documentação técnica. A norma adota princípios baseados na hierarquia de controle de riscos e na necessidade de apreciação sistemática dos perigos envolvidos em cada etapa do ciclo de vida da máquina.

No setor de transformação de Poliestireno Expandido (EPS), material amplamente utilizado na construção civil, na indústria de embalagens e em aplicações de isolamento térmico, destacam-se equipamentos de corte a fio quente para seccionamento de blocos moldados. Embora tecnicamente eficientes, essas máquinas apresentam riscos mecânicos e térmicos significativos, especialmente quando operadas sem proteções adequadas ou com sistemas de segurança insuficientes.

Dentre esses equipamentos, a guilhotina de corte vertical a fio quente representa um ponto crítico do processo produtivo, pois envolve exposição direta ao elemento aquecido responsável pelo corte do material. A ausência de

barreiras físicas, intertravamentos ou dispositivos de parada eficazes pode resultar em acidentes graves, como queimaduras, lacerações e amputações.

Diante desse contexto, torna-se imprescindível a realização de estudos técnicos que promovam a análise estruturada das condições reais de operação desses equipamentos, com base em metodologias reconhecidas de apreciação de risco e nos requisitos normativos vigentes, permitindo a proposição de melhorias fundamentadas e tecnicamente viáveis.

1.1 Contextualização do Tema e Formulação do Problema

A indústria analisada neste estudo está localizada na região metropolitana de Belo Horizonte e atua na manufatura de produtos derivados de EPS. O processo produtivo envolve etapas de expansão, moldagem e corte dos blocos, sendo esta última realizada por meio de guilhotina vertical a fio quente, identificada como MG001.

Durante avaliação técnica preliminar, observou-se que o equipamento apresentava inconformidades frente aos requisitos da NR-12, especialmente no que se refere à proteção da zona de risco, sinalização, dispositivos de emergência e organização dos procedimentos operacionais. Tais condições evidenciam a necessidade de uma análise aprofundada, baseada em critérios técnicos, para identificação dos perigos, estimativa dos riscos e definição de medidas corretivas.

A problemática central deste trabalho está relacionada à seguinte questão de pesquisa:

De que forma é possível propor uma adequação técnica eficaz da guilhotina vertical de corte a fio quente MG001, garantindo conformidade com a NR-12 e promovendo redução mensurável dos indicadores de risco?

A abordagem proposta envolve a aplicação de metodologia de apreciação de risco, definição de categoria de segurança e Performance Level Requerido (PLr), além da elaboração de propostas de melhoria sob a perspectiva da Engenharia Mecânica e da Engenharia de Segurança do Trabalho, sem aprofundamento em projetos elétricos detalhados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Propor a adequação de uma máquina de manufatura de EPS guilhotina de corte vertical a fio quente (MG001) — aos requisitos da NR-12, com base na apreciação de riscos e na definição de medidas técnicas de mitigação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os principais riscos envolvidos na operação de máquinas de manufatura de EPS;
- Analisar os requisitos normativos aplicáveis, com ênfase na NR-12 e normas técnicas complementares;
- Aplicar metodologia de apreciação de riscos, utilizando ferramentas reconhecidas, como o método Hazard Rating Number (HRN);
- Determinar a categoria de segurança e o Performance Level Requerido (PLr), conforme critérios técnicos;
- Propor soluções técnicas para mitigação dos riscos identificados, sob a ótica da Engenharia Mecânica e da Engenharia de Segurança do Trabalho, sem aprofundamento em projetos elétricos;
- Avaliar os possíveis impactos das condições da máquina antes e após as intervenções propostas, estimando a redução do indicador de risco.

1.3 Justificativa

1.3.1 Relevância Social e Preventiva

Os acidentes envolvendo máquinas industriais continuam figurando entre as principais causas de afastamentos permanentes e temporários no setor produtivo. Lesões graves, como amputações e queimaduras, geram impactos diretos sobre a saúde do trabalhador e consequências socioeconômicas significativas, tanto para o indivíduo quanto para a organização.

A prevenção, nesse contexto, deve ser estruturada a partir da identificação sistemática dos perigos e da implementação de medidas técnicas que atuem na fonte do risco, priorizando proteções coletivas e sistemas de segurança integrados à máquina. Assim, este trabalho contribui para a promoção de ambientes laborais mais seguros, alinhados aos princípios da engenharia preventiva.

1.3.2 Relevância Técnica e Acadêmica

Do ponto de vista técnico, a aplicação prática de ferramentas como apreciação de risco, método Hazard Rating Number (HRN), definição de categoria de segurança e Performance Level Requerido (PLr) representa importante integração entre teoria normativa e realidade industrial. O estudo permite consolidar conhecimentos de Engenharia Mecânica e Engenharia de Segurança do Trabalho, demonstrando sua aplicabilidade no contexto fabril.

Além disso, a pesquisa contribui para a literatura acadêmica ao apresentar estudo de caso aplicado ao setor de manufatura de EPS, segmento ainda pouco explorado em trabalhos voltados especificamente à adequação de máquinas conforme a NR-12.

1.3.3 Relevância Legal e Organizacional

A conformidade com a NR-12 não é apenas uma boa prática técnica, mas uma exigência legal. O descumprimento dos requisitos pode resultar em autuações, multas administrativas, interdições de equipamentos e responsabilização civil e criminal da empresa.

Sob a ótica organizacional, a adequação da máquina tende a promover redução de passivos trabalhistas, melhoria da imagem institucional, aumento da confiabilidade operacional e fortalecimento da cultura de segurança.

Dessa forma, o presente estudo justifica-se pela necessidade de alinhar o equipamento analisado às exigências normativas vigentes, reduzir os indicadores de risco identificados e propor melhorias técnicas viáveis, contribuindo para a sustentabilidade produtiva e para a proteção da integridade física dos trabalhadores.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manufaturas

A manufatura pode ser definida como o conjunto sistematizado de operações destinadas à transformação de matérias-primas em produtos com maior valor agregado, por meio de processos físicos, mecânicos, térmicos ou químicos. Trata-se de atividade central no desenvolvimento industrial, pois articula tecnologia, organização do trabalho e gestão de recursos produtivos. Segundo Groover (2016), a manufatura moderna ultrapassa o conceito tradicional de transformação material, envolvendo também planejamento, controle da produção e integração de sistemas automatizados.

A evolução dos processos manufatureiros está diretamente relacionada ao desenvolvimento tecnológico e às demandas econômicas de cada período histórico. Conforme Hobsbawm (1996), a consolidação do sistema fabril modificou profundamente as estruturas sociais e produtivas, promovendo a centralização da produção e a mecanização das atividades anteriormente artesanais. Essa transformação ampliou a escala produtiva, mas também intensificou os riscos associados ao trabalho industrial.

Do ponto de vista da Engenharia Mecânica, a manufatura envolve a análise e aplicação de processos como usinagem, conformação mecânica, fundição, soldagem e corte térmico, entre outros. Kalpakjian e Schmid (2014) destacam que o domínio técnico desses processos é essencial para assegurar qualidade dimensional, eficiência energética e confiabilidade operacional dos equipamentos industriais. Além disso, o projeto adequado das máquinas influencia diretamente o desempenho produtivo e os níveis de segurança.

A manufatura contemporânea caracteriza-se pela integração entre sistemas físicos e informacionais, incorporando conceitos de automatização, controle estatístico de processos e melhoria contínua. Slack et al. (2010) afirmam que os sistemas produtivos atuais devem ser compreendidos como estruturas organizadas que combinam recursos humanos, tecnologia e gestão estratégica. Nesse contexto, a segurança do trabalho assume papel estruturante dentro da engenharia de produção.

A crescente complexidade dos equipamentos industriais exige abordagem sistêmica na análise das condições operacionais. Groover (2016) ressalta que o

aumento do grau de mecanização e automatização eleva a necessidade de controles técnicos rigorosos, especialmente no que se refere à proteção de partes móveis e zonas perigosas. Assim, a manufatura moderna demanda integração entre eficiência produtiva e prevenção de riscos.

Além dos aspectos técnicos, a manufatura também envolve responsabilidade legal e social. No Brasil, as exigências normativas relacionadas à segurança em máquinas reforçam a necessidade de adequação contínua dos equipamentos industriais (BRASIL, 2010). A conformidade com regulamentações torna-se requisito indispensável para a continuidade das operações.

A segurança, portanto, não deve ser tratada como elemento acessório, mas como parte integrante do projeto e operação dos sistemas manufatureiros. Chiavenato (2014) enfatiza que ambientes produtivos seguros contribuem para redução de afastamentos, aumento da produtividade e fortalecimento da cultura organizacional. A prevenção deve estar incorporada à estratégia empresarial.

Dessa forma, a manufatura deve ser compreendida como sistema sociotécnico complexo, no qual tecnologia, organização do trabalho e segurança interagem continuamente. A análise dos processos produtivos exige visão integrada que considere não apenas desempenho operacional, mas também a mitigação de riscos ocupacionais (SLACK et al., 2010).

2.1.1 Contexto Histórico

A transformação estrutural dos sistemas produtivos teve início com a Revolução Industrial, ocorrida no século XVIII, inicialmente na Inglaterra. Esse período marcou a substituição progressiva da produção artesanal pela mecanização industrial, impulsionada pela introdução da máquina a vapor e pela concentração da produção em fábricas (HOBSEWORTH, 1996). Tal mudança alterou profundamente as relações de trabalho e a organização econômica.

A Primeira Revolução Industrial caracterizou-se pela mecanização da indústria têxtil e pela utilização intensiva de energia a vapor. Segundo Landes (1994), essa fase representou ruptura significativa com os métodos produtivos tradicionais, promovendo aumento da capacidade produtiva e redução do tempo de fabricação. Contudo, as condições de trabalho eram precárias e marcadas pela ausência de regulamentação.

A Segunda Revolução Industrial, no final do século XIX, introduziu a eletrificação, o aço como principal material estrutural e os sistemas de produção em massa. Hobsbawm (1996) destaca que a padronização e a especialização das tarefas permitiram ganhos expressivos de escala, mas também intensificaram a repetitividade e a exposição a riscos mecânicos.

O modelo fordista consolidou a linha de montagem como paradigma produtivo do século XX. Womack, Jones e Roos (2004) explicam que a produção em massa possibilitou a democratização do consumo, ao mesmo tempo em que exigiu maior controle sobre o ritmo de trabalho. A mecanização crescente ampliou a necessidade de dispositivos de proteção nas máquinas.

Com a Terceira Revolução Industrial, a partir da segunda metade do século XX, surgiram a automatização, a eletrônica e os controladores programáveis. Groover (2016) observa que essa fase reduziu a dependência exclusiva da força humana, mas aumentou a complexidade técnica dos equipamentos industriais. A integração entre sistemas mecânicos e eletrônicos passou a demandar novos padrões de segurança.

Na contemporaneidade, a chamada Indústria 4.0 representa novo estágio evolutivo, caracterizado por sistemas ciberfísicos, digitalização e conectividade em tempo real. Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) apontam que essa transformação amplia a eficiência operacional, mas também introduz novos desafios relacionados à gestão de riscos tecnológicos.

Historicamente, o aumento da mecanização esteve associado à elevação do número de acidentes industriais, especialmente em períodos de ausência de regulamentação adequada. Dejours (1992) ressalta que as condições inseguras de trabalho foram determinantes para o surgimento de movimentos sociais e legislações protetivas.

Assim, a evolução industrial não pode ser analisada apenas sob a ótica da produtividade, mas também sob o prisma da segurança e da proteção ao trabalhador. O desenvolvimento das normas técnicas e regulamentadoras tornou-se resposta necessária aos riscos inerentes ao processo de mecanização (BRASIL, 2010).

2.1.2 Sistemas de Manufatura

Os sistemas de manufatura podem ser classificados conforme o volume de produção e a variedade de produtos fabricados. Slack et al. (2010) destacam que essa classificação auxilia na definição de layout, fluxo de materiais e organização das operações industriais. Cada modelo produtivo apresenta características específicas que influenciam desempenho e segurança.

A manufatura por projeto é aplicada a produtos únicos ou altamente customizados, exigindo planejamento detalhado e elevada especialização técnica. Groover (2016) explica que esse sistema é comum em grandes obras e estruturas industriais, onde a flexibilidade é requisito essencial. A variabilidade das operações pode aumentar a exposição a riscos não padronizados.

O sistema job shop caracteriza-se por produção intermitente e rotas variáveis de processamento. Kalpakjian e Schmid (2014) ressaltam que a diversidade de operações exige operadores qualificados e equipamentos versáteis. Essa complexidade operacional demanda análise criteriosa das condições de segurança.

A manufatura em lote combina padronização com certa flexibilidade produtiva, permitindo produção em quantidades definidas. Slack et al. (2010) apontam que esse modelo é amplamente utilizado na indústria de transformação, inclusive no processamento de materiais poliméricos. A alternância entre lotes pode exigir ajustes frequentes nas máquinas.

A produção em massa caracteriza-se por elevado volume e baixa variedade, com operações altamente repetitivas. Womack, Jones e Roos (2004) afirmam que a eficiência é alcançada por meio da padronização extrema e do ritmo contínuo. Entretanto, a repetitividade pode gerar fadiga e aumentar a probabilidade de falhas humanas.

Manufatura contínua envolve fluxo ininterrupto de produção, comum em indústrias químicas e petroquímicas. Groover (2016) observa que a interrupção desses processos pode acarretar perdas significativas. Nesses sistemas, a segurança depende fortemente da confiabilidade dos equipamentos.

Independentemente do modelo adotado, todos os sistemas manufatureiros apresentam riscos inerentes à operação de máquinas e à movimentação de materiais. Chiavenato (2014) enfatiza que a prevenção deve considerar as características específicas de cada processo produtivo.

Portanto, a escolha do sistema de manufatura impacta diretamente a organização do trabalho, o layout industrial e o nível de exposição aos riscos ocupacionais. A análise técnica deve integrar eficiência produtiva e segurança operacional (SLACK et al., 2010).

2.1.3 Automatização

A automatização industrial consiste na aplicação de sistemas tecnológicos destinados ao controle automático de processos produtivos, reduzindo intervenção manual direta. Groover (2016) define automatização como uso de equipamentos e sistemas de controle capazes de executar tarefas com mínima supervisão humana, aumentando precisão e produtividade.

Embora a automatização reduza variabilidade e erros operacionais, não elimina completamente a necessidade de interação humana. Kalpakjian e Schmid (2014) ressaltam que operadores continuam responsáveis por supervisão, alimentação de materiais, ajustes e manutenção. Esses momentos representam situações críticas de exposição ao risco.

A interação homem-máquina constitui elemento central na análise de segurança industrial. Dejours (1992) aponta que muitos acidentes decorrem da necessidade de acesso a zonas perigosas para intervenção operacional. Assim, o projeto da máquina deve priorizar eliminação ou isolamento dos riscos.

A ergonomia aplicada à engenharia contribui significativamente para a redução de falhas humanas. Iida e Buarque (2016) defendem que o dimensionamento adequado de comandos, alturas de trabalho e distâncias de segurança influencia diretamente a prevenção de acidentes. Interfaces mal projetadas podem comprometer a segurança.

Os princípios de análise de risco estabelecem que as medidas de proteção devem ser incorporadas ainda na fase de projeto do equipamento. A ISO 12100 (ISO, 2010) determina que a eliminação do perigo deve preceder a adoção de proteções complementares, seguindo hierarquia técnica de controle.

Além disso, sistemas automatizados devem conter dispositivos de intertravamento, sensores e mecanismos de parada de emergência. A adoção desses recursos reduz significativamente a probabilidade de acidentes graves (ABNT, 2013). A ausência desses dispositivos caracteriza falha de projeto.

Atividades de manutenção e ajustes operacionais representam momentos de maior vulnerabilidade. Brasil (2010) ressalta que intervenções em máquinas devem seguir procedimentos seguros e estar acompanhadas de dispositivos que impeçam acionamentos inesperados.

Portanto, a automatização do pátio fabril deve ser compreendida como processo integrado que combina tecnologia, ergonomia e segurança. A eficiência produtiva somente é sustentável quando associada à proteção sistemática do trabalhador (SLACK et al., 2010).

2.2 Normas

As Normas Regulamentadoras (NR) constituem o alicerce jurídico e técnico da Segurança e Saúde no Trabalho (SST) no Brasil. Elas consistem em obrigações, deveres e direitos a serem seguidos por empregadores e trabalhadores com o objetivo de garantir um ambiente de trabalho hígido, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes. No contexto deste estudo, as NRs são o parâmetro fundamental para avaliar a conformidade da guilhotina de corte vertical de EPS.

A existência dessas normas permite que a fiscalização tenha critérios objetivos para autuações. Segundo Scherer (2017), as NRs funcionam como guias de projeto, determinando que a segurança deve ser incorporada desde a concepção da máquina. O cumprimento estrito das normas é uma estratégia de mitigação de riscos jurídicos e financeiros para as organizações.

A hierarquia normativa brasileira coloca as NRs como normas especiais que detalham a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Elas são periodicamente revisadas para acompanhar a evolução tecnológica dos processos de manufatura, como observado por Braga (2022) em estudos de adequação industrial. No setor fabril, a aplicação dessas normas influencia desde o arranjo físico até a capacitação dos operadores.

Além do aspecto legal, as NRs promovem a padronização de procedimentos. Conforme aponta Govaski (2014), isso facilita a gestão de riscos ao criar uma linguagem comum entre engenheiros e gestores. A aplicação correta reduz o absenteísmo e aumenta a eficiência operacional ao evitar paradas não planejadas por acidentes.

A integração das NRs com normas técnicas (ABNT) e internacionais (ISO) é uma tendência crescente. De acordo com Brasil (2019), esse alinhamento é essencial para empresas que operam com tecnologias globais, como as máquinas de transformação de poliestireno expandido. O entendimento das NRs é o primeiro passo para qualquer processo de adequação.

No cenário atual, a conformidade normativa é um indicador de maturidade em gestão. O descumprimento pode acarretar responsabilidade civil e criminal dos gestores em caso de acidentes. Por fim, as NRs são ferramentas de proteção do capital humano, o ativo mais importante de qualquer pátio fabril.

2.2.1 Contexto Histórico

O surgimento das normas de segurança remonta à Revolução Industrial, quando a transição para a produção mecanizada expôs os trabalhadores a novos perigos. Naquela época, a ausência total de proteções em máquinas resultava em altos índices de mutilações. O foco era exclusivamente na produtividade, negligenciando a integridade física.

Com o tempo, movimentos sociais passaram a exigir condições dignas. Segundo Scherer (2017), a criação da OIT em 1919 foi o marco global que serviu de base para que países como o Brasil iniciassem seus arcabouços legais. Historicamente, a percepção de risco evoluiu de uma fatalidade para algo gerenciável pela engenharia.

O conceito de "segurança na fonte" alterou a forma como as máquinas eram projetadas. Conforme descreve Govaski (2014), a segurança passou a ser parte integrante do equipamento, não um acessório. No Brasil, a industrialização acelerada do século XX impulsionou a criação de legislações específicas para proteger a mão de obra.

A transição da proteção focada no comportamento para a proteção focada no ambiente representa um salto qualitativo. Antigamente, culpava-se o operário; hoje, busca-se entender falhas de projeto. Esse contexto explica por que normas como a NR-12 tornaram-se rigorosas e detalhadas.

A evolução das ferramentas de análise, como o método HRN, reflete essa jornada histórica de controle. O histórico das normas demonstra que a segurança é fruto de um aprendizado acumulado sobre falhas passadas. Conclui-se que o

contexto das NRs é uma crônica da valorização progressiva da vida humana no trabalho.

2.2.2 Normas Regulamentadoras Brasileiras

As Normas Regulamentadoras brasileiras foram aprovadas pela Portaria MTb nº 3.214/1978, consolidando o capítulo V da CLT. Atualmente, existem diversas normas vigentes que cobrem desde aspectos gerais até riscos específicos. Elas são a bússola para a implementação de sistemas de segurança no país.

Entre as mais relevantes para o setor de EPS, destacam-se a NR-1, a NR-6 e a NR-12. De acordo com Braga (2022), a aplicação de uma NR raramente ocorre de forma isolada, formando um sistema de gestão integrado. Elas definem requisitos mínimos de segurança.

As NRs brasileiras são elaboradas de forma tripartite (governo, empregadores e trabalhadores). Segundo Brasil (2019), esse modelo busca o equilíbrio entre viabilidade econômica e proteção ao trabalhador. Revisões recentes buscam simplificar os textos, focando mais na gestão de riscos.

O descumprimento acarreta penalidades previstas na NR-28. Para a guilhotina em estudo, a não conformidade representa risco de interdição. Isso ressalta a importância da adequação técnica fundamentada na legislação vigente.

Além do caráter punitivo, as NRs oferecem um roteiro para melhoria contínua. Elas elevam a competitividade da indústria ao alinhar o país a padrões internacionais. A conformidade é frequentemente uma exigência para certificações de qualidade.

A aplicação das NRs exige profissionais habilitados para interpretar os requisitos. No caso do EPS, a integração da NR-12 com a ergonomia é crucial. Em suma, as NRs brasileiras são o fundamento legal que sustenta a segurança operacional.

2.2.3 NR-12

A NR-12 estabelece princípios fundamentais para garantir a integridade física dos trabalhadores em máquinas. Para a manufatura de EPS, ela é o guia

principal para a adequação da guilhotina de corte. Esta norma abrange todas as fases de vida da máquina, do projeto ao descarte.

A norma exige que as máquinas possuam sistemas de segurança que impeçam o acesso às zonas de perigo. Conforme detalha Scherer (2017), a proteção pode ser realizada por barreiras físicas ou dispositivos eletrônicos. Um dos pilares é a Avaliação de Risco, que deve ser documentada.

A NR-12 detalha requisitos para sistemas de comando e paradas de emergência. No caso de corte a fio quente, a proteção contra riscos térmicos é complementar. A norma afirma que a segurança não deve depender apenas da atenção do operador.

Sua estrutura moderna permite o uso de cortinas de luz e scanners. Ela define categorias de segurança que determinam a confiabilidade do sistema. Para este trabalho, o foco são os aspectos mecânicos e de segurança.

A norma exige ainda a capacitação dos operadores e manuais em português. O objetivo é que o trabalhador conheça os riscos operacionais. Segundo Govaski (2014), a conformidade com a NR-12 é um compromisso ético com a vida.

2.2.3.1 Processo de Adequação

O processo de adequação de máquinas à NR-12 deve ser conduzido de forma estruturada, sistemática e tecnicamente fundamentada, partindo da apreciação de riscos até a implementação e validação das medidas de segurança. Conforme estabelece a NR-12, a conformidade não se restringe à instalação de dispositivos isolados, mas exige integração entre projeto mecânico, sistemas de comando e organização do trabalho (BRASIL, 2010).

A adequação técnica deve ser precedida por levantamento detalhado das condições reais de operação da máquina, incluindo análise das fases de uso, manutenção, ajustes e limpeza. A ABNT NBR ISO 12100 (ABNT, 2013) orienta que a apreciação de riscos deve considerar todo o ciclo de vida do equipamento, garantindo abordagem abrangente dos perigos existentes.

No contexto da guilhotina vertical de corte a fio quente (MG001), o processo de adequação envolve a identificação de zonas de risco mecânico e térmico, avaliação da confiabilidade dos sistemas de comando e verificação da existência de dispositivos de proteção coletiva. Segundo Groover (2016),

máquinas de corte apresentam elevado potencial de lesões graves, exigindo sistemas de segurança com grau adequado de confiabilidade.

Após a identificação dos perigos, procede-se à estimativa do risco e à definição da categoria de segurança e do Performance Level Requerido (PLr), conforme critérios da ABNT NBR ISO 13849-1 (ABNT, 2013). Essa etapa é fundamental para determinar o nível de desempenho que o sistema de comando relacionado à segurança deve alcançar.

O processo de adequação também deve observar a hierarquia de medidas de proteção, priorizando soluções intrinsecamente seguras antes da adoção de dispositivos complementares (ISO, 2010). Assim, sempre que possível, o projeto mecânico deve ser modificado para eliminar o perigo na fonte.

Por fim, a implementação das melhorias deve ser acompanhada de validação técnica, testes funcionais e atualização documental, incluindo manuais, diagramas e registros de capacitação. A NR-12 reforça que a segurança deve ser comprovada e documentada, garantindo rastreabilidade das intervenções realizadas (BRASIL, 2010).

2.2.3.2 Requisitos Essenciais da NR-12

A NR-12 estabelece requisitos técnicos e organizacionais mínimos para garantir a segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Seu objetivo central é assegurar a integridade física dos trabalhadores por meio de medidas de prevenção aplicáveis desde o projeto até a desativação do equipamento (BRASIL, 2010).

Entre os requisitos essenciais destacam-se: arranjo físico adequado, sistemas de segurança confiáveis, dispositivos de parada de emergência, proteções fixas e móveis, capacitação de operadores e documentação técnica completa. Esses elementos formam conjunto integrado de proteção (BRASIL, 2010).

A norma exige que as máquinas possuam sistemas de segurança capazes de impedir o acesso às zonas de perigo durante seu funcionamento. Conforme a ABNT NBR ISO 12100 (ABNT, 2013), tais sistemas devem ser compatíveis com o risco identificado na apreciação realizada.

Outro requisito essencial refere-se à proteção contra acionamentos involuntários ou inesperados. A NR-12 determina que os comandos devem

possuir dispositivos que evitem partidas acidentais após falhas de energia ou intervenções de manutenção (BRASIL, 2010).

A norma também estabelece critérios para sinalização de segurança, manuais em língua portuguesa e capacitação formal dos operadores. Segundo Chiavenato (2014), a capacitação contribui para redução de falhas humanas e fortalecimento da cultura de segurança.

Além dos aspectos técnicos, a NR-12 exige documentação comprobatória das medidas implementadas, incluindo laudos, diagramas e registros de inspeção. Essa exigência reforça a rastreabilidade das ações corretivas (BRASIL, 2010).

Portanto, os requisitos essenciais da NR-12 não se limitam à instalação de dispositivos físicos, mas abrangem conjunto sistêmico de ações técnicas, administrativas e documentais, assegurando conformidade legal e proteção efetiva do trabalhador.

2.2.3.2.1 Arranjo Físico e Instalações

O arranjo físico constitui elemento fundamental na prevenção de acidentes em ambientes industriais. A NR-12 estabelece que as máquinas devem ser instaladas de forma a garantir espaço suficiente para operação, manutenção, circulação e evacuação segura (BRASIL, 2010).

A organização do layout influencia diretamente a exposição aos riscos. Slack et al. (2010) afirmam que o posicionamento inadequado de equipamentos pode gerar cruzamento de fluxos, áreas de confinamento e aumento da probabilidade de acidentes. Dessa forma, o projeto do layout deve integrar segurança e eficiência produtiva.

No caso da guilhotina de corte de EPS, deve-se assegurar distância mínima entre a máquina e outras estruturas, garantindo acesso seguro às zonas de intervenção técnica. A ISO 12100 (ISO, 2010) reforça que o espaço ao redor da máquina deve permitir postura adequada e evitar riscos ergonômicos.

A NR-12 também exige pisos nivelados, resistentes e antiderrapantes nas áreas de operação. Essas condições reduzem riscos de quedas e facilitam movimentação segura de materiais (BRASIL, 2010).

Outro aspecto relevante é a iluminação adequada da área de trabalho. Lida e Buarque (2016) destacam que iluminação insuficiente pode comprometer a percepção visual do operador, aumentando probabilidade de erro.

A ventilação e organização dos cabos e mangueiras também fazem parte das exigências estruturais. Ambientes desorganizados elevam riscos de tropeços e dificultam acesso rápido aos dispositivos de emergência (BRASIL, 2010).

Assim, o arranjo físico não deve ser tratado como elemento secundário, mas como componente essencial do sistema de segurança da máquina, contribuindo para redução do risco global do processo produtivo.

2.2.3.2.2 Instalações e Dispositivos Elétricos

As instalações e dispositivos elétricos constituem parte crítica da segurança de máquinas, especialmente no que se refere aos sistemas de comando relacionados à segurança. A NR-12 estabelece que os circuitos elétricos devem ser projetados e mantidos de forma a prevenir choques elétricos, curtos-circuitos e acionamentos involuntários (BRASIL, 2010).

A confiabilidade dos sistemas de segurança depende diretamente da qualidade do projeto elétrico, incluindo seleção adequada de relés de segurança, contadores monitorados e dispositivos de intertravamento. Conforme a ABNT NBR ISO 13849-1 (ABNT, 2013), o desempenho do sistema deve atender ao Performance Level Requerido (PLr).

A norma também exige que os componentes elétricos estejam protegidos contra poeira, umidade e danos mecânicos. No setor de EPS, a presença de partículas leves pode comprometer contatos elétricos se não houver proteção adequada (REIS et al., 2015).

Outro requisito refere-se à necessidade de dispositivos que impeçam religamento automático após falha de energia. A ISO 12100 (ISO, 2010) estabelece que o restabelecimento da energia não deve resultar em partida inesperada da máquina.

Embora este trabalho concentre-se na adequação mecânica e estrutural da guilhotina MG001, reconhece-se que a validação completa do sistema de segurança exige análise detalhada do projeto elétrico. A elaboração de

diagramas, cálculos de MTTFd e verificação de cobertura diagnóstica são etapas típicas de projetos elétricos especializados (ABNT, 2013).

Dessa forma, sugere-se como continuidade deste estudo a realização de projeto elétrico específico para validação formal do Performance Level Requerido (PLr) alcançado, incluindo simulação de falhas e testes documentados. Tal aprofundamento contribuiria para ampliar a robustez técnica da adequação proposta.

Conclui-se que as instalações elétricas representam componente essencial da segurança de máquinas e devem ser tratadas de forma integrada aos aspectos mecânicos, consolidando abordagem multidisciplinar da engenharia de segurança (BRASIL, 2010).

2.2.3.2.3 Dispositivos de partida, acionamento e parada

Os dispositivos de partida, acionamento e parada constituem elementos fundamentais para o controle seguro de máquinas e equipamentos industriais. A NR-12 estabelece que esses dispositivos devem ser projetados de forma a impedir acionamentos involuntários e garantir que a máquina opere apenas sob comando intencional do operador (BRASIL, 2010). Essa exigência reduz significativamente a probabilidade de acidentes decorrentes de partidas inesperadas.

Conforme ilustrado na Figura 1, os painéis de comando industriais utilizam botões e sinalizadores com cores padronizadas para facilitar a identificação das funções operacionais e de emergência, contribuindo para a segurança e a ergonomia na interação homem-máquina.

Figura 1 – Painel de Controle



Fonte: Dreamstime (2013).

A norma determina que os comandos de partida sejam claramente identificados e protegidos contra acionamentos acidentais, podendo incluir proteção mecânica, rebaixamento do botão ou sistema de confirmação (BRASIL, 2010). Essa medida é especialmente relevante em ambientes industriais onde há circulação constante de trabalhadores.

A ISO 12100 reforça que a prevenção de partidas inesperadas constitui princípio essencial da segurança de máquinas (ISO, 2010). O restabelecimento de energia após falha elétrica não pode resultar em religamento automático do equipamento, sendo necessária nova ação deliberada do operador.

No caso da guilhotina de corte de EPS, os dispositivos de acionamento devem estar posicionados fora da zona de risco, garantindo que o operador não esteja exposto ao fio aquecido durante o início do ciclo. Groover (2016) destaca que o posicionamento inadequado de comandos pode aumentar significativamente a exposição ao perigo.

Os dispositivos de parada normal também devem ser facilmente acessíveis e permitir interrupção segura do processo. A NR-12 exige que a parada seja priorizada em relação à partida, ou seja, o comando de parada deve prevalecer sobre qualquer outro sinal (BRASIL, 2010).

Além disso, os comandos devem ser projetados segundo princípios ergonômicos, facilitando identificação visual e tátil. Lida e Buarque (2016) ressaltam que interfaces mal dimensionadas podem gerar erros operacionais, aumentando riscos de acidentes.

Portanto, os dispositivos de partida, acionamento e parada não representam apenas elementos funcionais da máquina, mas componentes essenciais do sistema de segurança, devendo atender aos critérios normativos e às melhores práticas de engenharia.

2.2.3.2.4 Sistemas de Segurança

Os sistemas de segurança compreendem o conjunto de dispositivos e arquiteturas destinados a prevenir ou mitigar riscos identificados na apreciação de riscos. A NR-12 determina que tais sistemas sejam integrados ao projeto da máquina e compatíveis com o nível de risco identificado (BRASIL, 2010).

A ISO 13849-1 estabelece que os sistemas de segurança devem possuir arquitetura adequada à categoria e ao Performance Level Requerido (PLr)

(ABNT, 2013). Isso implica utilização de componentes certificados, circuitos redundantes e monitoramento de falhas quando necessário.

Entre os sistemas mais comuns estão proteções fixas, proteções móveis com intertravamento, cortinas de luz, relés de segurança e sensores de posição. A escolha depende do tipo de risco e da frequência de acesso à zona perigosa (ISO, 2010).

No caso da guilhotina MG001, a adoção de proteção móvel com intertravamento monitorado pode impedir funcionamento do equipamento quando a área de corte estiver acessível. Segundo Scherer (2017), essa solução é eficaz para máquinas com necessidade de intervenção frequente.

Os sistemas de segurança devem ser projetados de modo que uma falha simples não resulte na perda da função de segurança. Essa exigência está diretamente associada às categorias 3 e 4 da ISO 13849-1 (ABNT, 2013).

A validação do sistema deve incluir testes funcionais documentados, assegurando que o desempenho atenda ao PLr definido. A rastreabilidade é requisito indispensável para comprovação da conformidade (BRASIL, 2010).

Portanto, os sistemas de segurança representam o núcleo técnico da adequação à NR-12, integrando engenharia mecânica, elétrica e de controle em abordagem multidisciplinar.

2.2.3.2.5 Dispositivo de parada de emergência

O dispositivo de parada de emergência é um dos requisitos mais relevantes da NR-12, sendo obrigatório em praticamente todas as máquinas industriais. Sua função é permitir interrupção rápida do processo em situações de risco iminente (BRASIL, 2010).

Conforme ilustrado na Figura 2, o botão de parada de emergência possui formato tipo cogumelo e coloração vermelha sobre fundo amarelo, características que facilitam sua rápida identificação e acionamento em situações de emergência.

A norma estabelece que o dispositivo de parada de emergência deve ser facilmente identificável, de cor vermelha sobre fundo amarelo, e possuir acionamento por golpe ou pressão, sem necessidade de força excessiva (BRASIL, 2010). O formato tipo cogumelo é amplamente adotado devido à sua eficiência ergonômica.

Figura 2 – Botão de parada de emergência



Fonte: Dreamstime (2014).

Segundo a ABNT NBR ISO 13849-1, o circuito da parada de emergência deve atender ao Performance Level Requerido (PLr) requerido definido na análise de risco (ABNT, 2013). Isso significa que sua confiabilidade deve ser compatível com a severidade do dano potencial.

A ISO 12100 (ISO, 2010) destaca que a parada de emergência não substitui outras medidas de proteção, mas atua como recurso complementar para mitigação de situações inesperadas. Ela deve reduzir o risco o mais rapidamente possível.

Na guilhotina de corte a fio quente, o dispositivo deve interromper imediatamente a alimentação elétrica do fio aquecido e o movimento mecânico associado, minimizando riscos de queimaduras e lacerações. Groover (2016) ressalta que máquinas de corte exigem resposta rápida em situações críticas.

A NR-12 também determina que o dispositivo de parada de emergência não pode ser utilizado como substituto da parada normal do equipamento (BRASIL, 2010). Sua finalidade é exclusivamente emergencial.

Assim, o sistema de parada de emergência deve ser projetado com redundância e monitoramento adequados, garantindo que sua falha não comprometa a integridade física do operador.

2.2.3.2.6 Meio de acesso permanente

A NR-12 estabelece que máquinas e equipamentos que necessitem de acesso frequente para operação, abastecimento ou manutenção devem possuir meios de acesso permanentes e seguros (BRASIL, 2010). Essa exigência inclui escadas, plataformas, passarelas e guarda-corpos.

O objetivo é evitar improvisações, como uso de caixas, estruturas não projetadas ou escaladas indevidas. Slack et al. (2010) destacam que a organização do ambiente influencia diretamente a segurança operacional.

A norma determina que esses meios de acesso atendam a requisitos de resistência estrutural, estabilidade e proteção contra quedas. A ISO 12100 (ISO, 2010) reforça que a redução do risco deve considerar também perigos associados à manutenção.

Plataformas devem possuir piso antiderrapante e guarda-corpo com rodapé quando houver risco de queda. Lida e Buarque (2016) ressaltam que o projeto deve considerar ergonomia e postura adequada do trabalhador.

No caso da guilhotina de EPS, caso haja necessidade de ajuste superior do fio ou inspeção em altura, deve ser previsto meio de acesso permanente, eliminando práticas inseguras.

Dessa forma, o meio de acesso permanente integra o sistema global de segurança, assegurando que intervenções técnicas ocorram em condições adequadas e controladas.

2.2.3.2.7 Componentes Pressurizados

Componentes pressurizados representam fonte significativa de risco em ambientes industriais, especialmente quando envolvem ar comprimido ou sistemas pneumáticos. A NR-12 exige que esses sistemas sejam projetados e mantidos de forma segura, prevenindo rupturas e liberações abruptas de energia (BRASIL, 2010).

A energia armazenada sob pressão pode causar projeção de partículas, ruptura de mangueiras e movimentos inesperados de atuadores. A ISO 12100 (ISO, 2010) classifica esse tipo de perigo como risco mecânico associado à energia potencial acumulada.

Os componentes devem possuir válvulas de segurança, reguladores de pressão e dispositivos de bloqueio para manutenção. Segundo Groover (2016), a liberação controlada da energia é requisito essencial para evitar acidentes durante intervenções técnicas.

A NR-12 também determina que intervenções em sistemas pressurizados sejam realizadas somente após despressurização segura (BRASIL, 2010). Procedimentos de bloqueio e etiquetagem são recomendados.

No contexto da máquina de corte de EPS, caso existam sistemas pneumáticos auxiliares (como fixação de material ou movimentação), estes devem ser avaliados quanto à integridade das conexões e proteção contra rompimentos.

A manutenção preventiva periódica é indispensável para evitar falhas por desgaste ou fadiga dos componentes. Slack et al. (2010) destacam que a confiabilidade do sistema produtivo depende da integridade dos seus subsistemas energéticos.

Assim, os componentes pressurizados devem ser tratados como elementos críticos da segurança da máquina, exigindo controle técnico rigoroso e integração ao processo de apreciação e redução de riscos.

2.2.3.2.8 Transportadores de Materiais

Os transportadores de materiais constituem elementos auxiliares relevantes no processo produtivo, sendo responsáveis pela movimentação de cargas entre etapas de fabricação. A NR-12 estabelece que esses equipamentos devem possuir dispositivos de segurança que impeçam acesso às partes móveis e zonas de esmagamento, cisalhamento ou aprisionamento (BRASIL, 2010).

Correias transportadoras, roletes, esteiras e sistemas motorizados apresentam riscos mecânicos significativos, especialmente nos pontos de retorno, polias e áreas de transição. Conforme a ISO 12100 (ISO, 2010), esses pontos devem ser identificados na apreciação de riscos como zonas perigosas permanentes.

A norma determina que os transportadores possuam proteções fixas ou móveis nas áreas críticas, evitando contato acidental com partes móveis (BRASIL, 2010). A ausência dessas proteções é causa recorrente de acidentes com amputações e fraturas em ambientes industriais.

Além das proteções físicas, a NR-12 exige que os transportadores possuam dispositivos de parada de emergência distribuídos ao longo do percurso, possibilitando rápida intervenção em caso de incidente (BRASIL, 2010). Essa medida reduz o tempo de resposta diante de situações inesperadas.

No contexto da manufatura de EPS, o transporte de blocos até a guilhotina pode envolver movimentação manual ou mecanizada. Slack et al. (2010)

destacam que o fluxo inadequado de materiais pode gerar congestionamentos e aumentar riscos ergonômicos e mecânicos.

Outro aspecto relevante refere-se à estabilidade estrutural e ao correto dimensionamento do transportador para o peso do material. Groover (2016) observa que falhas estruturais podem resultar em colapsos parciais, colocando operadores em risco.

Portanto, os transportadores de materiais devem ser incorporados à análise global da segurança da máquina, garantindo que sua integração ao processo produtivo não introduza novos perigos ao ambiente industrial.

2.2.3.2.9 Aspectos Ergonômicos

Os aspectos ergonômicos constituem parte essencial da segurança de máquinas, pois influenciam diretamente a interação homem-máquina e a probabilidade de ocorrência de falhas humanas. A NR-12 determina que o projeto das máquinas considere princípios ergonômicos, garantindo conforto, segurança e eficiência (BRASIL, 2010).

A ergonomia aplicada à engenharia visa adaptar o trabalho às características físicas e cognitivas do trabalhador. Segundo Lida e Buarque (2016), posturas inadequadas, movimentos repetitivos e esforços excessivos podem resultar em lesões musculoesqueléticas e aumento da fadiga.

A ISO 12100 (ISO, 2010) orienta que o projeto da máquina minimize necessidade de acesso a zonas perigosas e reduza exigências físicas desnecessárias. A organização adequada dos comandos e visores melhora a precisão operacional.

No caso da guilhotina de EPS, a altura da mesa de trabalho, posicionamento dos comandos e distância da zona de corte devem ser dimensionados de forma a evitar inclinações excessivas do tronco ou movimentos bruscos. Groover (2016) ressalta que inadequações ergonômicas elevam o risco de acidentes indiretos.

A iluminação adequada e o controle do ruído também integram a análise ergonômica. Ambientes mal iluminados ou com ruído excessivo podem comprometer concentração do operador e aumentar probabilidade de erro (IIDA; BUARQUE, 2016).

Além dos fatores físicos, aspectos organizacionais, como ritmo de trabalho e pausas adequadas, influenciam o bem-estar do trabalhador. Dejours (1992) argumenta que pressão constante por produtividade pode levar à negligência de práticas seguras.

Assim, a consideração dos aspectos ergonômicos na adequação à NR-12 fortalece a abordagem preventiva, integrando segurança física, conforto operacional e eficiência produtiva em um sistema coerente de gestão de riscos.

2.2.3.2.10 Riscos Adicionais

Além dos riscos mecânicos diretamente associados ao funcionamento da máquina, a NR-12 exige a identificação e controle de riscos adicionais que possam comprometer a integridade dos trabalhadores (BRASIL, 2010). Esses riscos incluem agentes físicos, químicos, térmicos, ergonômicos e organizacionais.

A ISO 12100 (ISO, 2010) orienta que a apreciação de riscos considere todas as fontes de energia e condições ambientais que possam gerar dano. No caso da guilhotina de corte a fio quente, o risco térmico é particularmente relevante devido à alta temperatura do elemento de corte.

O ruído gerado por motores e sistemas auxiliares também deve ser avaliado, pois pode ultrapassar limites de tolerância estabelecidos em outras normas regulamentadoras, como a NR-15 (BRASIL, 2019). Exposição prolongada pode resultar em perdas auditivas ocupacionais.

Outro risco adicional refere-se à geração de partículas ou vapores durante o corte do EPS. Embora o material seja amplamente utilizado na indústria, a ventilação adequada do ambiente é necessária para evitar desconforto respiratório ou acúmulo de resíduos inflamáveis (SANTOS; OLIVEIRA, 2021).

Aspectos ergonômicos também devem ser considerados, especialmente quando há movimentação manual de blocos de EPS. Lida e Buarque (2016) ressaltam que esforços repetitivos e posturas inadequadas aumentam incidência de lesões musculoesqueléticas.

Riscos organizacionais, como pressão por produtividade e ausência de treinamento adequado, também influenciam a probabilidade de acidentes. Dejours (1992) argumenta que fatores psicossociais podem comprometer a percepção de risco do trabalhador.

Assim, a identificação de riscos adicionais amplia a abrangência da adequação à NR-12, garantindo que o processo de segurança não se restrinja apenas aos elementos mecânicos da máquina.

2.2.3.2.11 Manutenção, inspeção, preparação, ajustes e reparos

A NR-12 estabelece que as atividades de manutenção, inspeção, preparação, ajustes e reparos devem ser realizadas em condições seguras, prevenindo acionamentos inesperados e exposição a partes perigosas (BRASIL, 2010). Essas fases são reconhecidas como momentos críticos de vulnerabilidade.

A ISO 12100 (ISO, 2010) determina que a apreciação de riscos considere todas as fases do ciclo de vida da máquina, incluindo intervenções técnicas. Muitas ocorrências de acidentes graves estão associadas a manutenção realizada sem bloqueio adequado da energia.

A norma exige a adoção de procedimentos de bloqueio e etiquetagem (lockout/tagout), assegurando que fontes de energia elétrica, mecânica ou pneumática sejam isoladas antes da intervenção (BRASIL, 2010). Essa prática impede partidas acidentais durante ajustes.

No caso da guilhotina MG001, a substituição ou ajuste do fio quente deve ocorrer somente após desligamento completo e resfriamento do elemento térmico. Groover (2016) destaca que energia térmica residual também representa risco significativo.

A NR-12 também determina que apenas trabalhadores capacitados e autorizados realizem intervenções técnicas (BRASIL, 2010). A qualificação reduz erros operacionais e aumenta a confiabilidade do procedimento.

A documentação das inspeções e manutenções periódicas é requisito fundamental para comprovação da conformidade. Slack et al. (2010) ressaltam que manutenção preventiva contribui para redução de falhas inesperadas e aumento da disponibilidade operacional.

Portanto, a gestão segura das atividades de manutenção integra o sistema global de segurança da máquina, assegurando que o risco não se eleve durante intervenções técnicas necessárias.

2.2.3.2.12 Sinalização

A sinalização constitui medida complementar de segurança destinada a alertar trabalhadores sobre riscos residuais que não puderam ser eliminados por meio de soluções técnicas. A NR-12 exige que as máquinas possuam sinalização clara, visível e compreensível (BRASIL, 2010).

A sinalização deve indicar zonas de perigo, riscos específicos, necessidade de uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e procedimentos de emergência. Conforme a ISO 12100 (ISO, 2010), a informação ao usuário representa última etapa da hierarquia de redução de riscos.

Placas de advertência devem seguir padrões de cores e símbolos reconhecidos internacionalmente, garantindo fácil identificação. A utilização de pictogramas facilita compreensão mesmo em ambientes com ruído elevado ou diversidade de escolaridade (ABNT, 2013).

No caso da guilhotina de corte, é indispensável sinalização de risco térmico e de corte, além de identificação do dispositivo de parada de emergência. A visibilidade desses elementos reduz tempo de reação em situações críticas.

A NR-12 também exige que manuais e instruções estejam redigidos em língua portuguesa e disponíveis aos operadores (BRASIL, 2010). A informação formal complementa a sinalização visual.

lida e Buarque (2016) destacam que a sinalização deve considerar fatores ergonômicos, como altura de instalação e contraste visual, para garantir eficácia comunicacional.

Assim, a sinalização integra o sistema de segurança como medida de controle residual, reforçando a percepção de risco e contribuindo para a prevenção de acidentes no ambiente industrial.

2.2.3.2.13 Manuais

A NR-12 estabelece que todas as máquinas e equipamentos devem possuir manual de instruções fornecido pelo fabricante ou elaborado por profissional legalmente habilitado quando inexistente (BRASIL, 2010). O manual constitui documento técnico essencial para garantir operação segura e manutenção adequada do equipamento.

O conteúdo mínimo do manual deve incluir informações sobre instalação, operação, manutenção, inspeção, riscos existentes e medidas de segurança

aplicáveis (BRASIL, 2010). Essas informações permitem que o operador compreenda as limitações técnicas da máquina e os cuidados necessários para evitar acidentes.

Segundo a ABNT NBR ISO 12100 (ABNT, 2013), a informação para uso é parte integrante da estratégia de redução de riscos, devendo complementar as medidas de proteção física implementadas no equipamento. O manual não substitui proteções técnicas, mas orienta o usuário quanto ao risco residual.

A norma determina que o manual esteja redigido em língua portuguesa, com linguagem clara e objetiva, facilitando a compreensão por parte dos trabalhadores (BRASIL, 2010). A ausência desse documento configura não conformidade normativa relevante.

No caso da guilhotina MG001, o manual deve conter orientações específicas sobre operação do fio quente, procedimentos de substituição, cuidados com aquecimento e riscos térmicos associados. Groover (2016) destaca que máquinas de corte exigem instruções detalhadas quanto aos perigos inerentes ao processo.

Além disso, o manual deve contemplar orientações sobre bloqueio de energia para manutenção e inspeções periódicas recomendadas. Slack et al. (2010) ressaltam que a documentação técnica adequada contribui para aumento da confiabilidade operacional.

Portanto, os manuais representam instrumento formal de gestão da segurança, assegurando padronização de procedimentos e fortalecendo a conformidade com os requisitos essenciais da NR-12.

2.2.3.2.14 Procedimentos de Trabalho e Segurança

A NR-12 exige que as organizações estabeleçam procedimentos formais de trabalho e segurança para operação, manutenção e intervenção em máquinas (BRASIL, 2010). Esses procedimentos devem ser documentados, divulgados e aplicados de forma sistemática.

Os procedimentos têm como finalidade padronizar ações e reduzir a variabilidade comportamental que pode aumentar a probabilidade de acidentes. Segundo Dejours (1992), a ausência de regras claras favorece improvisações e exposição a riscos desnecessários.

A ISO 12100 (ISO, 2010) destaca que medidas administrativas, como procedimentos operacionais, compõem a última etapa da hierarquia de redução de riscos, sendo aplicadas após a implementação das medidas técnicas de proteção.

No contexto da guilhotina de EPS, devem existir procedimentos específicos para partida segura, troca do fio de corte, limpeza da área e bloqueio de energia antes de intervenções. Groover (2016) ressalta que tarefas não rotineiras representam maior potencial de risco.

Os procedimentos devem contemplar também situações de emergência, incluindo acionamento da parada de emergência e comunicação imediata ao responsável técnico. A NR-12 reforça que trabalhadores devem estar familiarizados com essas orientações (BRASIL, 2010).

A formalização documental dos procedimentos contribui para rastreabilidade e auditorias internas de segurança. Slack et al. (2010) apontam que processos bem definidos aumentam eficiência e reduzem falhas humanas.

Assim, os procedimentos de trabalho e segurança consolidam a integração entre medidas técnicas e comportamentais, reforçando a cultura organizacional voltada à prevenção de acidentes.

2.2.3.2.15 Capacitação

A capacitação dos trabalhadores constitui requisito obrigatório da NR-12, sendo indispensável para operação segura de máquinas e equipamentos (BRASIL, 2010). A norma determina que apenas trabalhadores capacitados e autorizados possam operar máquinas industriais.

O treinamento deve abranger riscos associados ao equipamento, funcionamento dos sistemas de segurança, procedimentos de emergência e medidas preventivas. Segundo Chiavenato (2014), a qualificação profissional contribui para redução de erros operacionais e melhoria do desempenho organizacional.

A capacitação deve ser realizada antes do início das atividades e sempre que houver modificações no equipamento ou nos processos produtivos (BRASIL, 2010). Essa atualização contínua assegura que o trabalhador esteja apto a lidar com novas condições operacionais.

A ISO 12100 (ISO, 2010) reforça que o fator humano influencia diretamente o nível de risco residual, sendo o treinamento ferramenta essencial para complementação das medidas técnicas.

No caso da guilhotina MG001, o treinamento deve incluir orientações sobre riscos térmicos do fio quente, importância do intertravamento das proteções e correta utilização da parada de emergência. Groover (2016) destaca que conhecimento técnico reduz exposição a situações críticas.

A NR-12 também exige registro documental da capacitação, incluindo carga horária, conteúdo programático e assinatura dos participantes (BRASIL, 2010). Essa formalização é fundamental para comprovação da conformidade legal.

Portanto, a capacitação não deve ser vista apenas como obrigação normativa, mas como investimento estratégico na prevenção de acidentes e na sustentabilidade do processo produtivo.

2.2.4 ABNT NBR ISO 12100

A ABNT NBR ISO 12100 estabelece os princípios gerais de projeto para a segurança de máquinas. Ela fornece a metodologia técnica para a execução prática da apreciação de riscos. Enquanto a NR-12 dá as diretrizes legais, a ISO 12100 oferece o caminho técnico.

Esta norma preconiza a eliminação de perigos na fonte por meio do projeto intrinsecamente seguro. Caso não seja possível, orienta a adoção de proteções. A ISO 12100 introduz a "iteração", onde o processo de avaliação é repetido até o risco ser aceitável.

Um ponto fundamental é a distinção entre perigo e risco. Essa clareza permite priorizar as ações de adequação no pátio fabril. Conforme Braga (2022), a norma também considera o uso incorreto previsível da máquina.

A utilização da ISO 12100 confere validade técnica internacional ao estudo. Ela assegura que as soluções seguem as melhores práticas mundiais. A norma serve como a estrutura técnica para o laudo de conformidade.

Em resumo, a ISO 12100 é a ferramenta que transforma exigência legal em solução de engenharia. Ela fornece o fluxo lógico para que a redução de riscos seja estruturada. Sem ela, o processo seria baseado em intuições, e não em normas técnicas.

2.2.4.1 Riscos

A presença de riscos é inerente às atividades industriais, especialmente em ambientes que envolvem máquinas, equipamentos e processos produtivos complexos. No contexto da engenharia, o risco está associado à possibilidade de ocorrência de eventos capazes de causar danos à integridade física do trabalhador, prejuízos materiais ou impactos ambientais (ISO, 2010). A compreensão técnica desse conceito é fundamental para o desenvolvimento de estratégias preventivas eficazes.

Nos sistemas industriais, os riscos podem ser classificados em mecânicos, elétricos, térmicos, ergonômicos e organizacionais, dependendo da natureza da fonte de perigo. Segundo Groover (2016), a interação entre operadores e máquinas com partes móveis ou elementos aquecidos representa uma das principais causas de acidentes na indústria de manufatura. Essa realidade reforça a necessidade de identificação sistemática dos perigos.

Do ponto de vista normativo, a gestão de riscos é requisito essencial para a conformidade com regulamentações de segurança. A NR-12 estabelece que toda máquina deve passar por processo de apreciação de riscos antes de sua utilização ou adequação (BRASIL, 2010). Essa exigência demonstra que a análise de riscos não é apenas recomendação técnica, mas obrigação legal.

A literatura técnica destaca que o risco resulta da combinação entre a probabilidade de ocorrência de um evento perigoso e a severidade de suas consequências (ISO, 2010). Assim, um perigo somente se caracteriza como risco relevante quando existe possibilidade concreta de dano. Essa abordagem permite quantificação e priorização das intervenções.

Além dos fatores técnicos, aspectos humanos e organizacionais influenciam significativamente a exposição ao risco. Dejours (1992) aponta que a pressão por produtividade, a fadiga e a falta de treinamento podem aumentar a probabilidade de falhas operacionais. Dessa forma, o gerenciamento de riscos deve considerar o sistema produtivo como um todo.

Portanto, o estudo dos riscos no ambiente industrial constitui etapa fundamental da engenharia preventiva. A análise estruturada permite identificar vulnerabilidades, propor melhorias técnicas e promover ambientes de trabalho mais seguros e sustentáveis (SLACK et al., 2010).

O conceito de risco está diretamente relacionado à probabilidade de ocorrência de um evento indesejado associado a determinada atividade ou condição operacional. Segundo a ISO 12100 (ISO, 2010), risco é a combinação entre a probabilidade de ocorrência de dano e a severidade desse dano. Essa definição é amplamente adotada em estudos de segurança de máquinas.

É importante distinguir risco de perigo. O perigo refere-se à fonte com potencial de causar dano, enquanto o risco corresponde à exposição efetiva a esse perigo sob determinadas condições (ABNT, 2013). Essa diferenciação é essencial para o correto desenvolvimento da apreciação de riscos em ambientes industriais.

Na engenharia de segurança, o risco é analisado de forma sistemática, considerando fatores como frequência de exposição, possibilidade de evitar o dano e gravidade das consequências. Groover (2016) ressalta que máquinas com partes móveis desprotegidas representam perigo permanente, cujo risco varia conforme a interação humana.

O conceito de risco também envolve percepção subjetiva por parte dos trabalhadores. Dejours (1992) argumenta que a banalização de situações perigosas pode reduzir a percepção de risco, aumentando a probabilidade de acidentes. Assim, a cultura organizacional influencia diretamente o controle preventivo.

A legislação brasileira reforça a necessidade de avaliação técnica do risco antes da implementação ou adequação de máquinas. A NR-12 determina que a identificação dos perigos e avaliação dos riscos deve preceder qualquer intervenção no equipamento (BRASIL, 2010). Tal exigência consolida o conceito como ferramenta de gestão.

Portanto, o risco não deve ser compreendido apenas como evento eventual, mas como variável mensurável que pode ser analisada, classificada e reduzida por meio de métodos técnicos adequados (ISO, 2010).

2.2.4.2 Apreciação de Riscos

A apreciação de riscos é processo estruturado destinado a identificar perigos, analisar situações perigosas e estimar os riscos associados a uma máquina ou processo. Conforme a ISO 12100 (ISO, 2010), essa etapa é indispensável para determinar a necessidade de medidas de proteção.

Esse procedimento envolve análise sistemática das fases de vida da máquina, incluindo instalação, operação, manutenção e desativação. A abordagem considera não apenas condições normais de uso, mas também situações previsíveis de mau uso (ABNT, 2013). Essa perspectiva amplia a eficácia preventiva.

A NR-12 estabelece que a apreciação de riscos deve fundamentar a definição das medidas de segurança aplicáveis aos equipamentos industriais (BRASIL, 2010). Assim, o processo não é meramente teórico, mas instrumento prático para tomada de decisão técnica.

A apreciação de riscos exige levantamento detalhado das características do equipamento, incluindo partes móveis, sistemas de comando e dispositivos de segurança existentes. Groover (2016) destaca que a ausência de proteções adequadas aumenta significativamente o nível de risco.

Além dos aspectos técnicos, deve-se considerar fatores humanos, como capacitação e comportamento operacional. Dejours (1992) enfatiza que falhas humanas podem ser consequência de condições organizacionais inadequadas. Logo, a apreciação deve ser multidisciplinar.

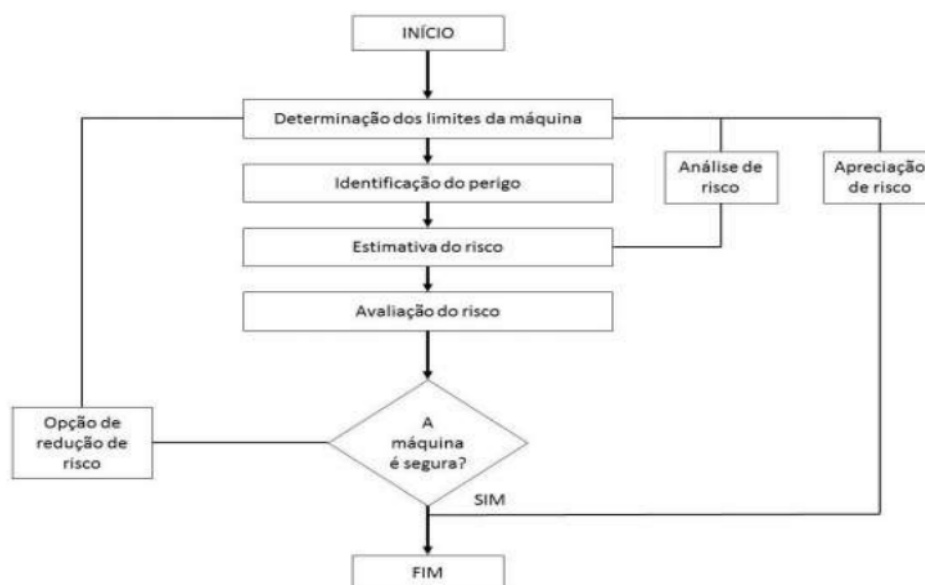
Dessa forma, a apreciação de riscos constitui ferramenta essencial para garantir que máquinas operem dentro de padrões aceitáveis de segurança, possibilitando posterior definição de medidas corretivas ou preventivas (ISO, 2010).

2.2.4.3 Fluxograma

O fluxograma estabelecido pela ABNT NBR ISO 12100:2013 representa a estrutura metodológica para condução da apreciação e redução de riscos em máquinas. A norma organiza o processo em etapas sequenciais e iterativas, iniciando pela definição dos limites da máquina, identificação dos perigos, estimativa e avaliação do risco, até a implementação das medidas de redução (ABNT, 2013). Esse fluxo garante coerência técnica na tomada de decisão.

O processo de apreciação de riscos em máquinas segue uma sequência estruturada que envolve a determinação dos limites da máquina, a identificação dos perigos, a estimativa e a avaliação dos riscos, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma das etapas da apreciação de riscos



Fonte: ABNT NBR ISO 12.100, 2013

A primeira etapa consiste na determinação dos limites da máquina, incluindo limites de uso, espaço, tempo e intervenções previsíveis. Segundo a ISO 12100 (ISO, 2010), essa definição é essencial para delimitar o escopo da análise e evitar omissões relevantes. No caso da guilhotina de corte de EPS, deve-se considerar operação normal, manutenção, limpeza e ajustes.

Em seguida, o fluxograma orienta a identificação sistemática dos perigos, abrangendo riscos mecânicos, térmicos, elétricos, ergonômicos e organizacionais. A norma enfatiza que devem ser consideradas também situações de uso incorreto previsível (ABNT, 2013). Essa abordagem amplia a efetividade preventiva ao antecipar comportamentos operacionais comuns.

Após a identificação dos perigos, realiza-se a estimativa do risco, considerando severidade e probabilidade de ocorrência. Conforme a ISO 12100 (ISO, 2010), essa etapa fornece base objetiva para a avaliação, permitindo classificar se o risco é aceitável ou se exige intervenção técnica.

Caso o risco seja considerado não aceitável, o fluxograma conduz à fase de redução do risco, aplicando a hierarquia de medidas: projeto intrinsecamente seguro, proteções técnicas e, por último, informações de uso e medidas administrativas (ABNT, 2013). Essa sequência impede que soluções meramente administrativas substituam proteções físicas necessárias.

Um aspecto fundamental do fluxograma é seu caráter iterativo. Após a implementação das medidas, o processo deve ser reavaliado para verificar se o risco residual atingiu nível aceitável. Caso contrário, novas medidas devem ser aplicadas (ISO, 2010). Essa lógica reforça a natureza dinâmica da gestão de riscos.

Dessa forma, o processo de apreciação de riscos representa uma etapa essencial na adequação de máquinas e equipamentos, permitindo a adoção de medidas de proteção compatíveis com os requisitos de segurança estabelecidos pela legislação brasileira e pelas normas técnicas internacionais aplicáveis (FUNDACENTRO, 2022).

2.2.4.4 Análise de Riscos

A análise de riscos corresponde à etapa da apreciação destinada à identificação dos perigos e à descrição das situações potencialmente perigosas. Segundo a ISO 12100 (ISO, 2010), essa fase envolve reconhecimento detalhado das fontes de dano e dos mecanismos de exposição.

Durante a análise, devem ser consideradas todas as interações possíveis entre operador e máquina. Groover (2016) afirma que zonas de corte, esmagamento ou aquecimento representam pontos críticos que exigem atenção específica. A identificação dessas áreas orienta intervenções futuras.

A análise de riscos também contempla avaliação das tarefas realizadas, incluindo ajustes e manutenção. A NR-12 determina que atividades de intervenção devem ser analisadas quanto ao risco de acionamento inesperado (BRASIL, 2010). Essa verificação previne acidentes graves.

Métodos qualitativos e quantitativos podem ser empregados nessa fase. ABNT (2013) recomenda que a identificação dos perigos seja documentada de forma clara, garantindo rastreabilidade das decisões técnicas adotadas.

Aspectos ergonômicos também devem ser considerados, uma vez que posturas inadequadas e esforços repetitivos podem ampliar exposição ao perigo (IIDA; BUARQUE, 2016). A análise abrangente aumenta confiabilidade do estudo.

Portanto, a análise de riscos constitui etapa fundamental para compreensão detalhada das vulnerabilidades do sistema produtivo, servindo de base para estimativa e posterior redução do risco (ISO, 2010).

2.2.4.5 Estimativa de Riscos

A estimativa de riscos consiste na determinação do nível de risco associado a cada perigo identificado. Conforme a ISO 12100 (ISO, 2010), essa etapa considera severidade do dano e probabilidade de ocorrência.

A probabilidade pode ser influenciada por frequência de exposição, tempo de permanência na zona de risco e possibilidade de evitar o dano. ABNT (2013) destaca que esses fatores devem ser analisados de forma integrada para correta classificação.

A severidade refere-se à magnitude das consequências possíveis, variando desde lesões leves até danos permanentes ou fatais. Groover (2016) observa que máquinas de corte apresentam potencial de causar lesões irreversíveis, elevando o nível de risco estimado.

A NR-12 exige que a estimativa seja utilizada como base para definição das medidas de proteção necessárias (BRASIL, 2010). Dessa forma, riscos classificados como altos demandam intervenção prioritária.

Diversos métodos podem ser utilizados para estimativa, incluindo matrizes de risco e modelos numéricos. Cada ferramenta apresenta vantagens e limitações, devendo ser escolhida conforme complexidade do sistema analisado (ISO, 2010).

Assim, a estimativa de riscos permite transformar dados qualitativos em parâmetros objetivos, facilitando priorização de ações corretivas e planejamento de melhorias técnicas.

2.2.4.6 Método de Redução de Riscos

A redução de riscos corresponde à etapa final do processo de apreciação, na qual são definidas e implementadas medidas destinadas a eliminar ou minimizar os perigos identificados. A ISO 12100 (ISO, 2010) estabelece hierarquia de medidas (eliminação, substituição, medidas de projeto, proteções coletivas, sinalização e EPIs) para eliminar ou mitigar perigos, que estão dispostas das mais efetivas para as com menor impacto, que deve ser seguida, conforme representada na Figura 4.

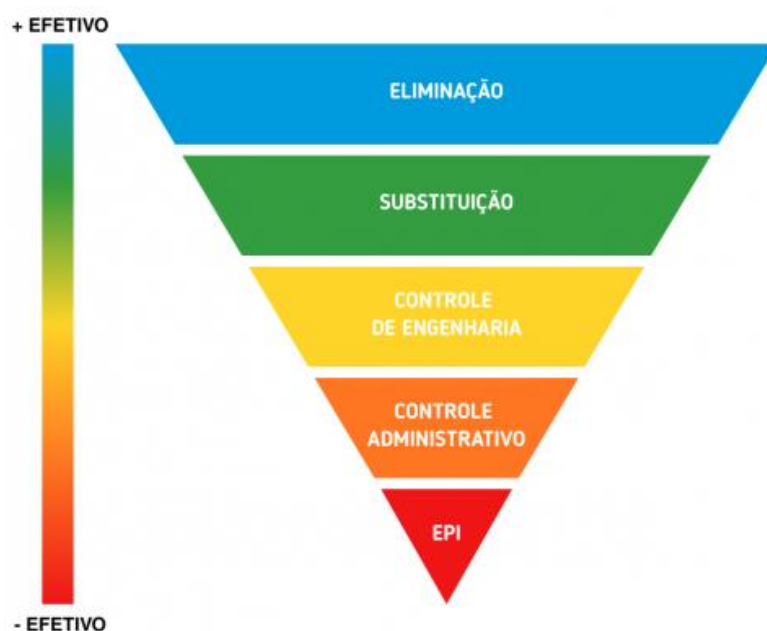
A primeira prioridade consiste na eliminação do perigo por meio de alteração do projeto da máquina. Quando isso não é possível, devem ser

adotadas medidas de proteção coletiva, como barreiras físicas e dispositivos de intertravamento (ABNT, 2013).

A NR-12 reforça que sistemas de segurança devem ser integrados ao equipamento e não apenas adicionados posteriormente (BRASIL, 2010). A proteção deve ser concebida como parte estrutural do projeto.

Medidas administrativas, como capacitação e procedimentos operacionais, também contribuem para redução do risco. Chiavenato (2014) destaca que treinamento adequado reduz falhas humanas e melhora desempenho organizacional.

Figura 4 - Hierarquia do Controle de Riscos



Fonte: ABNT NBR ISO 12.100, 2013

A ergonomia desempenha papel importante na redução de riscos relacionados à postura e esforço físico. Iida e Buarque (2016) afirmam que adaptações ergonômicas diminuem incidência de lesões ocupacionais.

Assim, a redução de riscos deve ser entendida como processo contínuo, integrado à gestão industrial, garantindo que níveis residuais permaneçam dentro de limites aceitáveis conforme critérios normativos (ISO, 2010).

2.2.5 ISO - TR 14.121 - 2

A ISO-TR 14.121-Parte 2 complementa a ISO 12100 com orientações práticas para a avaliação de risco. Ela detalha diversos métodos, como o HRN

(Hazard Rating Number). O uso de métodos quantitativos permite comparar o nível de risco "antes" e "depois" das intervenções.

A norma orienta como decompor a operação em tarefas e identificar perigos. Para a guilhotina MG001, isso envolve mapear desde o carregamento até a retirada do EPS. A ISO-TR 14.121-2 garante que nenhum perigo seja ignorado na inspeção.

Ela discute como estimar a probabilidade do dano, considerando a frequência de exposição. No caso do EPS, a alta interação homem-máquina aumenta esse fator. A norma fornece critérios para ponderar esses elementos de forma imparcial.

A aplicação desta norma facilita a comunicação técnica entre departamentos. Ao usar métodos padronizados, as melhorias tornam-se justificáveis. Segundo Scherer (2017), ela transforma a percepção subjetiva de perigo em indicadores numéricos.

Por fim, a ISO-TR 14.121-2 é o guia que sustenta a elaboração das propostas de melhoria. Ela garante que a apreciação seja uma análise profunda que reduza acidentes reais. É o alicerce para os resultados de "Novo HRN" esperados no estudo.

2.2.5.1 Método Hazard Rating Number (HRN)

O método Hazard Rating Number (HRN) é ferramenta quantitativa utilizada para estimar o nível de risco por meio da atribuição de valores numéricos a variáveis específicas. Segundo literatura técnica, o HRN considera severidade do dano (DPH), frequência de exposição (FE), probabilidade de ocorrência (LO) e número de pessoas expostas (NP) (PICKERSGILL, 2001).

Os parâmetros utilizados no método HRN estão apresentados na Figura 5, adaptados de Ziel Engenharia (2017), contemplando a probabilidade de ocorrência, frequência de exposição, severidade do dano e número de pessoas expostas.

A metodologia baseia-se na multiplicação desses fatores, resultando em índice numérico que representa magnitude do risco.

$$HRN = FE \times DPH \times NP \times LO$$

Figura 5 – Parâmetros do HRN

Frequência de Exposição (FE)	Severidade do Dano (DPH)	Nº de Pessoas Expostas (NP)	Probabilidade de Ocorrência (LO)
0,5 - Anualmente	0,1 - Arranhão / escoriação	1 - 1 a 2 pessoas	0,033 - Quase impossível, mas pode ocorrer em ocasiões extremas
1 - Mensalmente	0,5 - Dilaceração / corte / enfermidade leve	2 - 3 a 7 pessoas	1 - Altamente improvável, mas pode ocorrer
1,5 - Semanalmente	1 - Fratura leve de osso - dedos das mãos / dedos dos pés	4 - 8 a 15 pessoas	1,5 - Improvável, embora concebível
2,5 - Diariamente	2 - Fratura grave de osso - mão / braço / perna	8 - 16 a 50 pessoas	2 - Possível, mas não usual
4 - Em termos de hora	4 - Perda de 1 ou 2 dedos das mãos /dedos dos pés	12 - Mais de 50 pessoas	5 - Alguma chance, pode acontecer
5 - Constante	8 - Amputação de perna / mão, perda parcial da audição ou visão		8 - Provável, sem surpresas
	10 - Amputação de 2 pernas ou mãos, perda parcial da audição ou visão em ambos ouvidos ou olhos		10 - Muito provável, esperado
	12 - Enfermidade permanente ou crítica		15 - Certeza, sem dúvida
	15 - Fatalidade		

Fonte: Ziel Engenharia (2017)

Valores mais elevados indicam necessidade urgente de intervenção técnica (PICKERSGILL, 2001). Essa abordagem facilita priorização das ações. A Figura 6 - Hazard Rating Number (HRN), mostra os níveis de risco que podem ser obtidos através da aplicação da fórmula do HRN.

A graduação de cor varia do verde, para resultados de HRN aceitáveis, amarelo para resultados que devem ser tratados com atenção, e vermelho, para níveis que sejam inaceitáveis e que necessitem de intervenção imediata.

Figura 6 - Hazard Rating Number (HRN)

HRN		
Resultado	Risco	Avaliação
0 – 1	Aceitável	Considerar possíveis ações. Manter as medidas de proteção
1 – 5	Muito baixo	
5 – 10	Baixo	Garantir que as medidas atuais de proteção são eficazes. Aprimorar com ações complementares.
10 – 50	Significante	
50 – 100	Alto	Devem ser realizadas ações para reduzir ou eliminar o risco. Garantir a implementação de proteções ou dispositivos de segurança.
100 – 500	Muito alto	
500 - 1000	Extremo	Ação imediata para reduzir ou eliminar o risco.
Maior que 1000	Inaceitável	Interromper atividade até eliminação ou redução do risco.

Fonte: Ziel Engenharia (2017)

O HRN apresenta vantagem por permitir comparação entre diferentes situações perigosas dentro de um mesmo ambiente industrial. Groover (2016) destaca que métodos quantitativos oferecem maior objetividade na tomada de decisão.

Entretanto, a precisão do método depende da correta atribuição dos valores às variáveis. A ISO 12100 (ISO, 2010) recomenda que qualquer método de estimativa seja aplicado por profissional capacitado, garantindo consistência dos resultados.

No contexto da NR-12, o HRN pode auxiliar na justificativa técnica das medidas de adequação propostas (BRASIL, 2010). A redução do índice após intervenções evidencia eficácia das ações implementadas.

Portanto, o método HRN constitui ferramenta prática e eficiente para quantificação do risco, contribuindo para fundamentação técnica das decisões de engenharia de segurança.

2.2.6 ABNT NBR ISO 13849

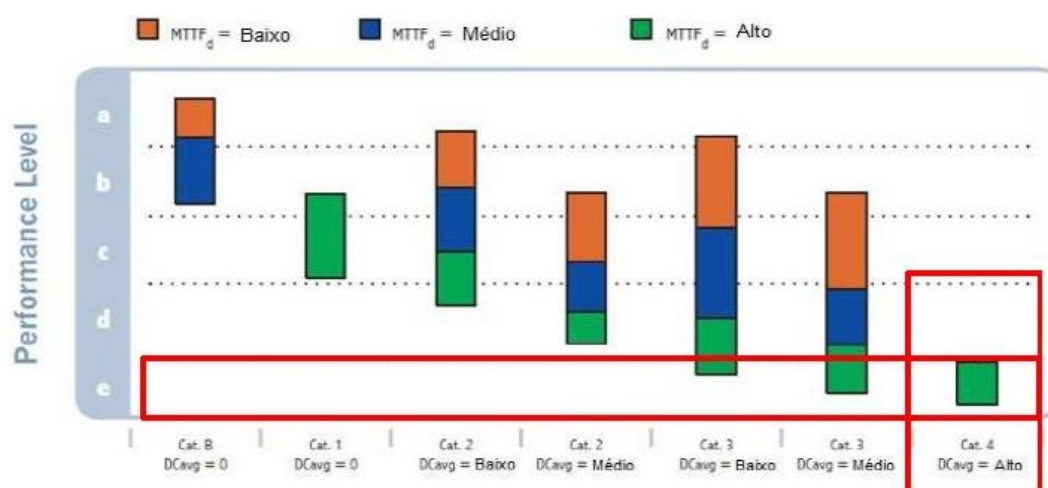
A ABNT NBR ISO 13849-1 estabelece princípios para projeto e validação de partes de sistemas de comando relacionadas à segurança (ABNT, 2013). Ela substitui progressivamente a NBR 14153 ao introduzir abordagem probabilística baseada em Performance Level Requerido (PLr).

A norma considera fatores como MTTF_d (tempo médio até falha perigosa), cobertura diagnóstica e arquitetura do sistema. Esses parâmetros permitem cálculo mais preciso da confiabilidade do circuito de segurança (ABNT, 2013).

Segundo a ISO 12100 (ISO, 2010), a redução de risco deve ser validada tecnicamente, e a ISO 13849-1 fornece os critérios para essa validação quando envolve sistemas de comando.

Conforme apresentado na Figura 7, categorias mais elevadas associadas a valores altos de MTTF_d e DCavg possibilitam a obtenção de níveis superiores de Performance Level (PL), contribuindo para a redução dos riscos associados às máquinas.

Figura 7 – Relação entre categoria do sistema, MTTF_d, cobertura de diagnóstico e Performance Level Requerido (PLr).



Fonte: Adaptado de Sensy (2026).

A determinação do Performance Level Requerido (PLr) do sistema de segurança foi realizada conforme os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 13849. O nível de desempenho é definido a partir da combinação entre a categoria da arquitetura do sistema de controle, o tempo médio até falha perigosa dos componentes (MTTF_d) e a cobertura de diagnóstico (DCavg). A Figura acima apresenta a relação entre esses parâmetros e os níveis de desempenho possíveis, variando de PL a até PL e, sendo este último associado ao maior nível de redução de risco. Sistemas classificados como categoria 4 com alta cobertura de diagnóstico e alto MTTF_d são capazes de atingir o nível

máximo de desempenho, garantindo maior confiabilidade das funções de segurança.

A norma também exige documentação detalhada do projeto, incluindo diagramas elétricos, especificação de componentes e registros de testes. A rastreabilidade é requisito fundamental para comprovação da conformidade.

No caso da guilhotina MG001, a aplicação da ISO 13849-1 orienta a seleção de dispositivos compatíveis com o PLr definido, como relés de segurança certificados e chaves de intertravamento monitoradas.

Dessa forma, a ISO 13849-1 representa o principal referencial técnico internacional para validação de sistemas de comando relacionados à segurança (ABNT, 2013).

2.2.6.1 Performance Level Requerido (PLr)

O Performance Level Requerido (PLr) corresponde ao nível de desempenho necessário para que o sistema de segurança reduza o risco a patamar aceitável. Conforme a ABNT NBR ISO 13849-1 (ABNT, 2013), o PLr é determinado com base na severidade do dano, frequência de exposição e possibilidade de evitar o perigo.

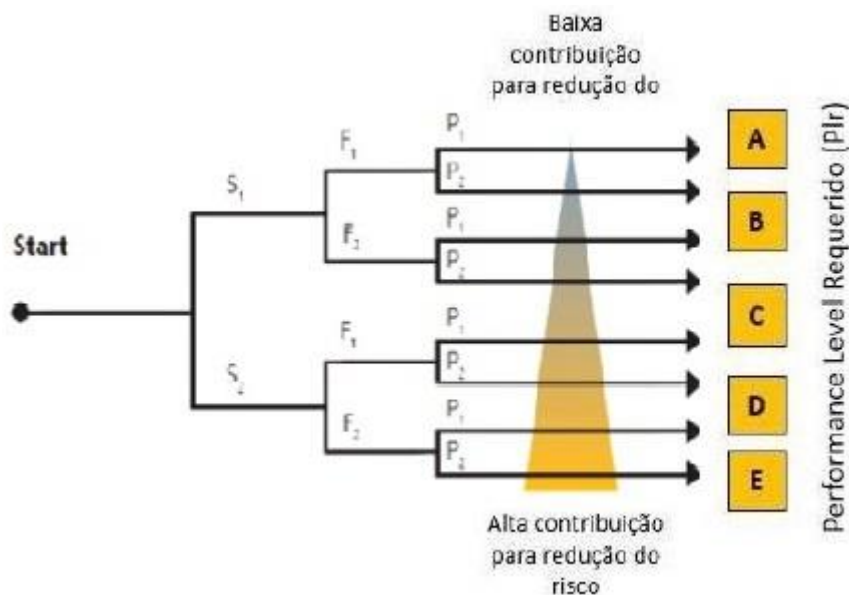
Conforme ilustrado na Figura 8, a determinação do Performance Level requerido (PLr) é realizada por meio da análise dos parâmetros S, F e P, permitindo estabelecer o nível de segurança necessário para a redução dos riscos da máquina.

O nível de desempenho requerido (PLr) representa o nível mínimo de redução de risco que o sistema de segurança deve alcançar para garantir condições seguras de operação da máquina.

Conforme ilustrado na Figura 8 - Escala de níveis de Performance Level Requerido (PLr) para redução de risco, os níveis de desempenho variam de A a E, sendo que níveis mais altos indicam maior contribuição para a redução do risco.

A definição do PLr é realizada a partir da avaliação da severidade do possível ferimento, da frequência de exposição ao perigo e da possibilidade de evitar ou limitar o dano.

Figura 8 – Escala de níveis de Performance Level Requerido



Fonte: Adaptado de Oliveira (2023)

O PL varia de “a” a “e”, sendo “e” o nível mais elevado de confiabilidade. Quanto maior o risco identificado na apreciação, maior deve ser o PLr exigido para o sistema de comando relacionado à segurança (ABNT, 2013).

A definição do PLr não depende apenas da categoria estrutural, mas também da probabilidade de falhas perigosas por hora e da cobertura diagnóstica do sistema. A norma introduz abordagem probabilística mais precisa em comparação às categorias tradicionais (ISO, 2010).

Em máquinas de corte com potencial de amputação ou queimadura grave, é comum que o PLr determinado seja nível “d” ou “e”, dependendo das condições de exposição. Groover (2016) ressalta que sistemas com alto potencial lesivo demandam alto grau de confiabilidade.

A determinação correta do PLr garante coerência entre o risco identificado e o desempenho do sistema de segurança. Caso o sistema implementado não atinja o PLr estabelecido, a adequação é considerada tecnicamente insuficiente (ABNT, 2013).

Assim, o PLr constitui parâmetro quantitativo que orienta o projeto e validação dos sistemas de segurança, assegurando redução efetiva do risco ocupacional.

2.2.7 ABNT NBR 14153

A ABNT NBR 14153 estabelece requisitos para sistemas de comando relacionados à segurança, com foco na prevenção de falhas que possam comprometer a integridade física dos trabalhadores (ABNT, 1998). Embora substituída gradativamente pela ISO 13849-1, ainda é referência histórica importante na evolução dos critérios de categorização.

A norma define categorias estruturais baseadas na resistência a falhas e na capacidade de detecção automática de defeitos. Em categorias mais elevadas, exige-se redundância e monitoramento constante dos circuitos de segurança (ABNT, 1998).

Segundo a norma, a confiabilidade do sistema não depende apenas da qualidade dos componentes, mas também da arquitetura adotada. Sistemas simples, sem redundância, enquadram-se em categorias básicas, enquanto sistemas com diagnóstico automático pertencem a categorias superiores.

A aplicação da NBR 14153 permitiu consolidar no Brasil a cultura de análise estruturada de circuitos de segurança. Conforme Scherer (2017), sua utilização contribuiu para elevar o padrão técnico de adequação à NR-12.

No contexto da guilhotina de corte, a definição da categoria conforme essa norma auxilia na escolha adequada de relés de segurança, chaves de intertravamento e dispositivos de parada de emergência.

Dessa forma, a NBR 14153 representou marco na transição de sistemas baseados apenas em componentes isolados para arquiteturas de segurança estruturadas e confiáveis (ABNT, 1998).

2.2.7.1 Categoria

A definição da categoria de segurança constitui etapa essencial no processo de adequação, pois determina o nível de arquitetura e redundância exigido para os sistemas de comando relacionados à segurança. A ABNT NBR 14153 estabelece princípios para classificação de categorias de segurança com base na confiabilidade e no comportamento frente a falhas (ABNT, 1998).

As categorias variam de B a 4, sendo que níveis superiores implicam maior capacidade de detecção de falhas e maior tolerância a defeitos, como podemos ver na Figura 9 – Categoria de Segurança.

Figura 9 – Categoria de Segurança



Fonte: Adaptado de Oliveira (2023)

Segundo a ABNT NBR 14153 (ABNT, 1998), categorias mais elevadas exigem arquitetura redundante e monitoramento contínuo dos componentes críticos.

No caso de máquinas com risco de lesões graves, como equipamentos de corte, recomenda-se adoção de categorias que assegurem que falhas simples não resultem na perda da função de segurança. A ISO 13849-1 reforça que o sistema deve manter sua função mesmo diante de falhas previsíveis (ABNT, 2013).

A determinação da categoria deve considerar severidade do dano, frequência de exposição e possibilidade de evitar o perigo. Esses critérios são compatíveis com os parâmetros estabelecidos na apreciação de riscos segundo a ISO 12100 (ISO, 2010).

Em equipamentos industriais com acesso frequente à zona de risco, categorias inferiores podem ser insuficientes para garantir nível aceitável de proteção. Groover (2016) destaca que máquinas de operação manual exigem sistemas de segurança mais robustos devido à interação constante homem-máquina.

Portanto, a definição da categoria de segurança não é decisão arbitrária, mas resultado técnico da análise de riscos realizada previamente. A escolha adequada assegura coerência entre o nível de perigo identificado e a confiabilidade do sistema de proteção implementado (ABNT, 1998).

2.2.7.2 Sistemas de Segurança

A ISO 13849-1 classifica os sistemas de segurança conforme sua arquitetura e nível de desempenho alcançado, integrando conceitos de categoria e Performance Level Requerido (PLr) (ABNT, 2013). Essa classificação permite verificar se o sistema implementado atende ao PLr determinado na análise de risco.

Sistemas de categoria B e 1 possuem arquitetura simples e não garantem detecção de falhas. Categorias 3 e 4 apresentam redundância e monitoramento contínuo, aumentando significativamente a confiabilidade (ABNT, 2013).

Para atingir níveis elevados de PL, é necessário utilizar componentes certificados, projetar circuitos redundantes e implementar diagnóstico automático. A falha de um único componente não pode resultar na perda imediata da função de segurança (ISO, 2010).

No contexto da adequação da guilhotina de corte, as medidas incluem instalação de proteções móveis com intertravamento monitorado, relé de segurança com autoteste, parada de emergência com monitoramento de contatos e reorganização do layout para garantir distâncias mínimas de segurança (BRASIL, 2010).

Além das medidas técnicas, a norma exige validação por meio de testes funcionais documentados, assegurando que o sistema atinja o PL especificado (ABNT, 2013).

Portanto, a classificação segundo a ISO 13849-1 não apenas orienta o projeto, mas também fundamenta tecnicamente a comprovação de que o risco residual foi reduzido a níveis aceitáveis, consolidando a conformidade com a NR-12 e as melhores práticas internacionais de engenharia de segurança.

3. METODOLOGIA

3.1 Natureza e Classificação da Pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois objetiva gerar conhecimento com finalidade prática, direcionado à solução de um problema real identificado em ambiente industrial. Quanto à abordagem, classifica-se como qualitativa com suporte quantitativo, visto que envolve análise normativa, técnica e documental, além da utilização de método numérico para estimativa de risco por meio do indicador Hazard Rating Number (HRN).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o trabalho configura-se como estudo de caso único, realizado em uma guilhotina vertical de corte a fio quente (MG001), utilizada na manufatura de poliestireno expandido, instalada em pátio fabril localizado na região metropolitana de Belo Horizonte (MG).

Além disso, adota-se a estratégia de pesquisa-ação, uma vez que o pesquisador participa diretamente do processo de diagnóstico, análise e proposição de melhorias técnicas, visando à adequação da máquina aos requisitos da NR-12.

3.2 Etapas de Elaboração da Pesquisa

A pesquisa foi estruturada em seis etapas sequenciais e interdependentes como sequenciado abaixo e representado na Figura 10:

Figura 10 – Etapas da Pesquisa



Fonte: Própria do autor, 2026

1. Levantamento bibliográfico e normativo;
2. Planejamento da pesquisa-ação;
3. Coleta de dados em campo;
4. Apreciação e análise de riscos;

5. Proposição de ações de adequação;
6. Simulação de cenário pós-adequação (análise antes × possível depois).

Cada etapa foi fundamentada nos princípios estabelecidos pela ABNT NBR ISO 12100 e pela International Organization for Standardization por meio da ISO 12100, além dos requisitos legais da NR-12.

3.2.1 Planejamento da Pesquisa-Ação

O planejamento da pesquisa-ação consistiu na definição dos critérios técnicos de avaliação da máquina, delimitando o escopo para aspectos de Engenharia Mecânica e Engenharia de Segurança do Trabalho, não contemplando projetos elétricos detalhados.

Foram definidos como instrumentos de análise:

- Checklist baseado nos requisitos essenciais da NR-12;
- Roteiro de inspeção técnica in loco;
- Aplicação do método HRN para estimativa numérica do risco;
- Avaliação de Categoria e Performance Level Requerido (PLr) conforme a ABNT NBR ISO 13849-1.

Também foi estruturado um modelo de relatório técnico para registrar as não conformidades identificadas e as propostas de melhoria.

3.2.2 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada por meio de visita técnica presencial ao equipamento MG001, contemplando:

- Análise do arranjo físico industrial;
- Observação da interação homem-máquina;
- Verificação de dispositivos de segurança existentes;
- Levantamento de condições operacionais reais;
- Registro técnico;
- Entrevista informal com operador.

Foram analisados aspectos como zona de corte, presença de proteções físicas, sistemas de parada, organização do layout e condições ergonômicas.

Os dados coletados foram organizados em planilhas técnicas para posterior aplicação do método de apreciação de risco.

3.2.3 Análise de Dados

A análise dos dados foi realizada em três níveis:

a) Apreciação de Risco

Aplicou-se o método Hazard Rating Number (HRN), considerando:

- Probabilidade de ocorrência;
- Frequência de exposição;
- Número de pessoas expostas;
- Severidade da lesão.

O resultado permitiu determinar o Indicador Numérico de Risco inicial (HRN Antes).

b) Classificação da Categoria e Performance Level Requerido (PLr)

Foi realizada análise da arquitetura do sistema de segurança da máquina, classificando-a conforme categorias previstas na ISO 13849-1 e determinando o Performance Level requerido (PLr).

c) Conformidade com a NR-12

Cada requisito essencial (item 2.2.3.2 do referencial teórico) foi confrontado com a situação real da máquina, identificando não conformidades técnicas.

3.2.4 Proposição de Ações de Adequação e Melhoria

Com base nos resultados obtidos, foram propostas ações técnicas corretivas e preventivas, tais como:

- Instalação de proteções fixas e móveis intertravadas;
- Implementação de sistema de parada de emergência;

- Adequação do arranjo físico;
- Sinalização de segurança;
- Elaboração de procedimentos operacionais;
- Propostas de melhoria ergonômica.

Ressalta-se que, por se tratar de trabalho acadêmico, tais intervenções são apresentadas como propostas técnicas fundamentadas, não configurando laudo oficial, uma vez que o autor ainda não possui registro profissional ativo para emissão de ART.

3.2.5 Simulação de Cenário Pós-Adequação

Após a definição das ações propostas, foi realizada nova estimativa de risco, recalculando o HRN considerando a implementação hipotética das medidas.

Essa análise permitiu:

- Determinar o Novo HRN Projetado;
- Comparar quantitativamente a redução do risco;
- Avaliar a eficácia potencial das intervenções;
- Demonstrar a viabilidade técnica da adequação.

A comparação foi apresentada por meio de tabelas e indicadores numéricos, evidenciando a redução do nível de risco da máquina.

3.3 Limitações Metodológicas

O estudo limita-se aos aspectos de Engenharia Mecânica e Segurança do Trabalho, abordando apenas superficialmente sistemas elétricos e circuitos de comando, que poderão ser aprofundados em trabalhos futuros.

Além disso, trata-se de estudo de caso único, o que não permite generalizações estatísticas para outras máquinas ou plantas industriais, embora permita inferências técnicas aplicáveis a equipamentos similares de corte de EPS.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterização da Empresa

A empresa analisada atua no setor de transformação de poliestireno expandido, com operação industrial voltada à fabricação de blocos, placas técnicas, embalagens térmicas e peças moldadas sob demanda. Localizada na região metropolitana de Belo Horizonte, possui pátio fabril semelhante a Figura 11.

Figura 11 - Pátio fabril



Fonte: Gamma, 2026

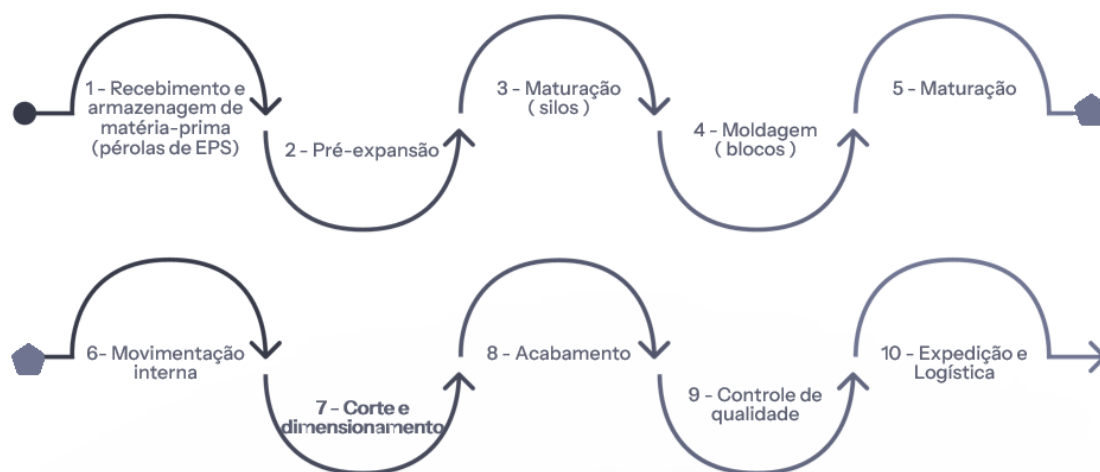
- Estrutura Operacional

A planta industrial é organizada nos seguintes setores produtivos(Figura 12):

1. Recebimento e armazenagem de matéria-prima (pérolas de EPS)
2. Pré-expansão
3. Maturação em silos
4. Moldagem em blocos
5. Maturação dos blocos
6. Movimentação interna
7. Corte e dimensionamento
8. Acabamento
9. Controle de qualidade

10. Expedição e Logística

Figura 12 – Processo produtivo



Fonte: Própria do autor, 2026

O setor de corte é considerado área crítica sob a ótica de segurança, pois concentra equipamentos com elementos móveis cortantes, incluindo a guilhotina vertical MG001, objeto deste estudo.

- Organização da Produção
 - Regime de trabalho: turnos diários
 - Operadores por equipamento: 1 operador por turno
 - Manutenção: equipe interna treinada
 - Frequência mínima de inspeção: mensal

A empresa possui inventário de máquinas, porém foram identificadas lacunas documentais quanto a manuais originais e registros históricos de modificações no equipamento MG001.

4.2 Caracterização Técnica da Guilhotina MG001

A guilhotina vertical de corte a fio quente MG001 é um equipamento utilizado no processo de transformação de Poliestireno Expandido (EPS), desempenhando papel fundamental na etapa de corte e dimensionamento dos blocos produzidos após os processos de expansão e moldagem. Sua função consiste em realizar cortes precisos no material, permitindo a obtenção de peças com dimensões adequadas às especificações dos clientes e às necessidades produtivas da empresa.

O princípio de funcionamento da máquina baseia-se na utilização de um fio metálico resistivo aquecido por efeito Joule, capaz de promover a fusão localizada do EPS durante o deslocamento relativo entre o material e o elemento de corte. Esse processo apresenta vantagens como elevada precisão dimensional, baixo desperdício de material e boa qualidade superficial das peças obtidas.

A MG001 encontra-se instalada no setor de corte da unidade industrial estudada e é operada por trabalhadores treinados para realizar atividades de posicionamento, alinhamento e movimentação dos blocos de EPS. Durante a operação, o operador permanece próximo à zona de corte, interagindo diretamente com o equipamento para alimentação, monitoramento e retirada das peças processadas.

Por se tratar de uma máquina que combina elementos aquecidos, partes móveis e interação constante com o operador, sua utilização requer a adoção de medidas de segurança compatíveis com os requisitos da Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12). Dessa forma, torna-se necessária a análise detalhada de suas características construtivas, operacionais e de segurança, visando identificar perigos, avaliar riscos ocupacionais e propor medidas de adequação que garantam a proteção dos trabalhadores e a conformidade legal do equipamento.

Após a contextualização funcional do equipamento, são apresentados os principais dados técnicos e construtivos da guilhotina MG001.

Identificação do Equipamento

- Equipamento: Guilhotina vertical de corte
- TAG: MG001
- Função: Corte dimensional de blocos de EPS
- Acionamento: Elétrico
- Capacidade: Aproximadamente 40 peças/hora
- Operadores expostos: 1 por turno
- Localização: Setor de Corte
- Exemplo de modelo em 3D abaixo

A Figura 13 apresenta um modelo tridimensional representativo de uma máquina de corte de EPS a fio quente, equipamento amplamente utilizado na indústria de transformação de poliestireno expandido para a realização de cortes longitudinais, transversais e dimensionais em blocos moldados.

Figura 13 – Modelo em 3D, Máquina de manufatura



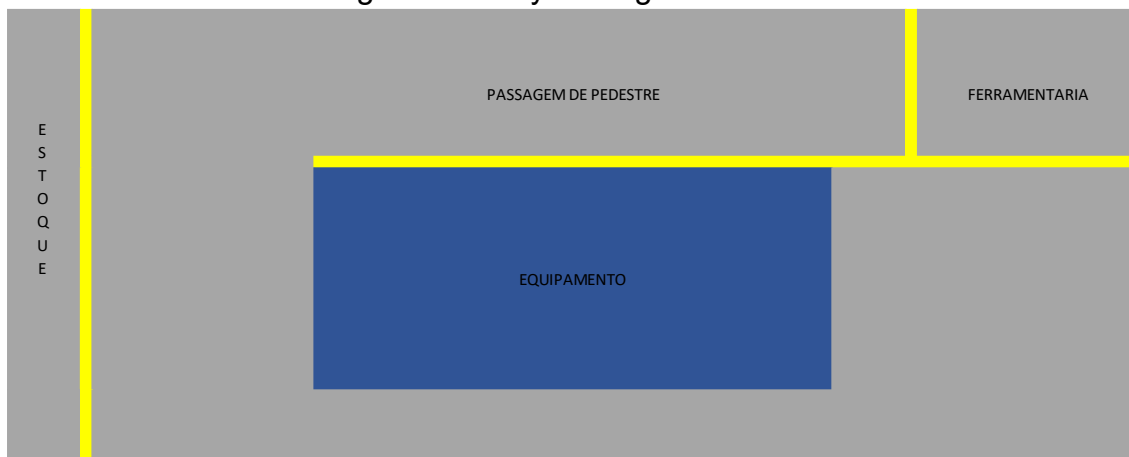
Fonte: Adaptado de Made-in-China (2026).

4.3 Caracterização do Layout Físico

A análise do arranjo físico da GUILHOTINA_MG001 foi realizada por meio de inspeção técnica in loco, considerando a disposição espacial do equipamento, a interação operador-máquina e o fluxo de materiais no setor de corte. Constatou-se que a máquina estava inserida em arranjo funcional típico de processo industrial, no qual equipamentos semelhantes são agrupados conforme a etapa produtiva. Entretanto, verificou-se que a organização espacial original não contemplava segregação adequada da zona de perigo, permitindo acesso direto à área de descida da lâmina.

A disposição original da Guilhotina MG001 no ambiente fabril é apresentada na Figura 14. Observa-se que o equipamento encontra-se instalado próximo à área de circulação de pedestres e à ferramentaria, compartilhando espaço com rotas de deslocamento utilizadas pelos trabalhadores.

Figura 14 - Layout original MG001



Fonte: Própria do autor, 2026

Na condição inicial observou-se ausência de barreiras físicas perimetrais, inexistência de delimitação de piso, circulação compartilhada com outras atividades e painel elétrico lateral acessível sem sistema formal de bloqueio. Tal configuração elevava a probabilidade de acesso involuntário à zona crítica, contrariando o princípio de proteção coletiva estabelecido pela NR-12, que determina que partes móveis e zonas de risco devem possuir proteção fixa ou móvel com intertravamento.

4.4 Caracterização do Processo Produtivo de Corte

O mapeamento do processo produtivo foi realizado com base na observação direta do ciclo operacional da guilhotina, desde a entrada do bloco de EPS até a retirada da peça cortada.

A guilhotina MG001 opera por meio de sistema de descida vertical do fio quente, promovendo o seccionamento do bloco de EPS previamente posicionado sobre mesa de apoio. As Etapas Operacionais são:

1. Posicionamento do fio
2. Posicionamento manual do bloco
3. Alinhamento dimensional
4. Acionamento do comando
5. Descida do fio
6. Corte completo
7. Retorno do fio
8. Retirada manual da peça

O processo inicia-se com o recebimento do bloco expandido proveniente da etapa de moldagem, seguido do posicionamento manual sobre a mesa de apoio da máquina. O operador realiza alinhamento dimensional conforme especificação do pedido e aciona o sistema de corte por meio do painel de comando.

Durante o ciclo, o fio quente desloca-se verticalmente promovendo o seccionamento do material, retornando automaticamente à posição inicial após a conclusão do corte. Em seguida, o operador remove manualmente a peça cortada e reinicia o ciclo. O tempo médio de operação é repetitivo e contínuo ao longo do turno.

A análise do fluxo operacional evidenciou que os momentos de maior criticidade concentram-se nas etapas de posicionamento e acionamento, quando as mãos do operador encontram-se próximas à zona de risco. Também foi identificado risco potencial durante intervenções para limpeza ou remoção de resíduos, principalmente na ausência de bloqueio de energia. Conforme estabelece a ABNT NBR ISO 12100, a apreciação de risco deve abranger todas as fases de utilização da máquina, incluindo operação normal, ajustes, manutenção e condições anormais previsíveis.

O mapeamento demonstrou que o processo produtivo depende fortemente da interação direta entre operador e equipamento, o que reforça a necessidade de dispositivos de segurança que impeçam acesso à zona de perigo durante o ciclo automático.

4.5 Análise de Risco da MG001

A análise foi estruturada conforme metodologia da ABNT NBR ISO 12100, que prevê:

1. Determinação dos limites da máquina
2. Identificação dos perigos
3. Estimativa do risco
4. Avaliação do risco
5. Redução do risco

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Apreciação de Risco GUILHOTINA_MG001

A apreciação de risco foi conduzida de forma sistemática, conforme metodologia estabelecida pela ABNT NBR ISO 12100, contemplando identificação dos perigos, estimativa do risco, avaliação e definição de medidas de redução.

Foram identificados perigos mecânicos relacionados ao movimento descendente do fio quente, capaz de provocar cortes severos ou amputações; perigos de esmagamento decorrentes da zona de aprisionamento durante o ciclo; perigos elétricos associados ao painel energizado em 220 V; e perigos ergonômicos vinculados à repetitividade da atividade e à postura estática prolongada.

A aplicação do método quantitativo HRN permitiu classificar o risco de corte como significativo e o risco elétrico como intolerável, demonstrando que, na condição original, o equipamento apresentava não conformidades relevantes frente à NR-12. A ausência de sistema de bloqueio e etiquetagem elevava substancialmente a probabilidade de choque elétrico durante intervenções, situação também incompatível com os princípios da NR-10.

Após a implementação das medidas corretivas, incluindo proteção fixa com parafusos invioláveis, sistema de intertravamento monitorado, instalação de cortina de luz, dispositivo de parada de emergência e adoção de procedimento formal de bloqueio de energia, observou-se redução expressiva dos índices de risco. Os novos valores calculados posicionaram todos os cenários na faixa de risco moderado e baixo, demonstrando que as medidas de engenharia foram eficazes na eliminação da exposição direta ao perigo.

A análise técnica confirma que a redução de risco foi alcançada prioritariamente por meio de soluções estruturais, em consonância com a hierarquia de controle estabelecida pela norma.

5.1.1 Determinação dos Limites da Máquina

Limites de Uso

- Uso normal: Corte de EPS
- Uso previsível incorreto: Ajustes com máquina energizada

- Manutenção preventiva e corretiva

Limites Espaciais

- Área frontal de operação
- Área lateral de acesso técnico
- Painel elétrico traseiro

Limites Temporais

- Operação contínua durante turno
- Intervenções periódicas para limpeza e ajuste

5.1.2 Identificação dos Perigos

Durante a apreciação de riscos da Guilhotina MG001, foram identificados perigos de natureza mecânica, elétrica, térmica, ergonômica e organizacional, conforme apresentado na Tabela 1. A identificação desses perigos permitiu a definição dos cenários de risco analisados posteriormente por meio da metodologia Hazard Rating Number (HRN), servindo de base para a proposição das medidas de adequação à NR-12.

Tabela 1 - Perigos

Categoria de Perigo	Perigos Identificados
Perigos Mecânicos	Corte por contato com fio quente; esmagamento na zona de descida; aprisionamento de mãos; projeção de fragmentos.
Perigos Elétricos	Choque elétrico devido à exposição a painel energizado em 220 V; ocorrência de arco elétrico; ausência de procedimento de bloqueio e etiquetagem de energia (LOTO).
Perigos Térmicos	Queimaduras por contato com elementos aquecidos do sistema de corte.
Perigos Ergonômicos	Posturas inadequadas durante a operação; movimentos repetitivos; esforço físico manual.
Perigos Organizacionais	Ausência de manual técnico atualizado; falhas nos procedimentos de bloqueio e etiquetagem (LOTO); treinamento insuficiente dos operadores.

Fonte: Própria do autor, 2026

5.1.3 Estimativa de Risco - Método Hazard Rating Number (HRN)

Metodologia aplicada conforme princípios da ABNT NBR ISO 12100 e requisitos da NR-12.

Fórmula utilizada:

$$HRN = FE \times DPH \times NP \times LO$$

Onde:

- **FE** = Frequência de Exposição
- **DPH** = Grau do Dano Potencial
- **NP** = Número de Pessoas Expostas
- **LO** = Probabilidade de Ocorrência

Conforme demonstrado na Tabela 2, o método HRN possibilita categorizar os riscos em diferentes níveis de criticidade, variando de muito baixo a alto/intolerável. Essa classificação auxilia na definição da urgência das ações de controle, priorizando a intervenção em situações que apresentem maior potencial de causar acidentes ou danos aos trabalhadores.

Tabela 2 - Classificação do HRN

Faixa de HRN	Classificação do Risco	Ação Recomendada
0 – 5	Muito Baixo	Aceitável
5 – 20	Baixo	Monitoramento
20 – 50	Médio	Correção Planejada
50 – 100	Significativo	Correção Urgente
> 100	Alto / Intolerável	Intervenção Imediata

Fonte: Própria do autor, 2026

A tabela de classificação do HRN apresenta os intervalos numéricos utilizados para interpretação dos resultados obtidos no cálculo do risco. Essa classificação permite transformar o valor quantitativo em uma categoria qualitativa, facilitando a tomada de decisão.

A escala varia de risco muito baixo (aceitável) até risco alto ou intolerável, que exige intervenção imediata. Essa categorização está alinhada com os princípios de avaliação de risco estabelecidos pela ABNT NBR ISO 12100, que

determina que os riscos devem ser eliminados ou reduzidos até níveis aceitáveis por meio de medidas hierarquizadas.

A utilização dessa tabela garante padronização na interpretação dos resultados e fundamenta tecnicamente as recomendações propostas.

5.1.3.1 CENÁRIO 1 – Corte na Zona de fio quente

Situação Encontrada antes da Adequação

- Proteções laterais com parafusos faltantes
- Aberturas superiores a 5 mm
- Ausência de intertravamento

A Tabela 3 apresenta os parâmetros utilizados para a avaliação do Cenário 1, correspondente à exposição do operador à zona de corte da Guilhotina MG001 durante as atividades normais de operação. Observa-se que a frequência de exposição foi considerada elevada (FE = 5), em razão do contato frequente do trabalhador com a área de risco ao longo do turno produtivo. A severidade do dano foi classificada como alta (DPH = 8), considerando a possibilidade de ocorrência de lesões graves, incluindo amputações decorrentes do contato com elementos perigosos da máquina.

Tabela 3 - CENÁRIO 1

Parâmetro	Valor	Justificativa
FE	5	Exposição frequente durante o turno
DPH	8	Possibilidade de amputação
NP	1	Um operador por turno
LO	5	Probabilidade moderada devido à ausência de intertravamento

Fonte: Própria do autor, 2026

A partir dos parâmetros definidos para o Cenário 1, foi realizado o cálculo do Hazard Rating Number (HRN), conforme a equação abaixo:

$$HRN = 5 \times 8 \times 1 \times 5 = 200$$

Esta tabela apresenta a análise do risco de contato direto com o fio quente da guilhotina MG001 em sua condição original.

Observa-se que:

- A frequência de exposição (FE = 5) foi classificada como frequente, pois o operador realiza ajustes e posicionamento manual durante todo o turno.
- O dano potencial (DPH = 8) foi considerado máximo, devido à possibilidade de amputação ou lesão irreversível.
- O número de pessoas expostas (NP = 1) corresponde ao operador fixo.
- A probabilidade de ocorrência (LO = 5) foi classificada como moderada, considerando ausência de intertravamento e falhas nas proteções físicas.

O resultado (HRN = 200) enquadra-se como risco muito alto, exigindo intervenção urgente. Essa condição caracteriza não conformidade com os requisitos de proteção contra partes móveis previstos na NR-12.

Classificação: RISCO MUITO ALTO

5.1.3.2 CENÁRIO 2 – Esmagamento na Descida do fio quente

Os valores adotados para a estimativa do risco no Cenário 2 foram definidos com base nas condições observadas durante a operação da máquina. A Tabela 3 apresenta os parâmetros considerados para o cálculo do HRN e suas respectivas justificativas.

Tabela 4 - CENÁRIO 2

Parâmetro	Valor	Justificativa
FE	5	Operação contínua
DPH	4	Lesão grave ou fratura
NP	1	Operador exposto
LO	5	Ausência de barreiras físicas adequadas

Fonte: Própria do autor, 2026

Com base nos parâmetros apresentados na Tabela 4, foi realizado o cálculo do Hazard Rating Number (HRN), método utilizado para quantificar e classificar os riscos identificados na operação da Guilhotina MG001. O cálculo considera a frequência de exposição ao perigo (FE), a severidade do dano

potencial (DPH), o número de pessoas expostas (NP) e a probabilidade de ocorrência do evento perigoso (LO).

$$HRN = 5 \times 4 \times 1 \times 5 = 100$$

Esta tabela analisa o risco de aprisionamento ou esmagamento durante o movimento vertical da lâmina.

A severidade do dano (DPH = 4) foi classificada como grave, considerando possibilidade de fraturas e lesões incapacitantes. A frequência elevada (FE = 5) decorre da repetição constante do ciclo operacional.

O resultado (HRN = 100) posiciona o risco ao nível alto. Isso demonstra que, embora inferior ao risco de corte direto, o esmagamento também representa ameaça relevante à integridade física.

Classificação: RISCO ALTO

5.1.3.3 CENÁRIO 3 – Choque Elétrico no Painei

Situação identificada:

- Painei sem fecho com chave especial
- Ausência de bloqueio LOTO
- Sistema energizado 220V

A Tabela 5 apresenta os parâmetros utilizados na avaliação do Cenário 3, relacionado à intervenção em componentes elétricos da máquina durante atividades de manutenção. A análise considerou a exposição do trabalhador ao risco de choque elétrico grave em condições de ausência de procedimentos formais de bloqueio e etiquetagem de energia (LOTO).

Tabela 5 - CENÁRIO 3

Parâmetro	Valor	Justificativa
FE	4	Painei acessível
DPH	8	Choque grave ou fatal
NP	1	Manutenção interna
LO	6	Ausência de LOTO

Fonte: Própria do autor, 2026

Com base nos parâmetros apresentados na Tabela 5, foi realizado o cálculo do Hazard Rating Number (HRN) para quantificar o risco associado às atividades de manutenção na Guilhotina MG001. O método HRN considera a frequência de exposição ao perigo (FE), a severidade do dano potencial (DPH), o número de pessoas expostas (NP) e a probabilidade de ocorrência do evento perigoso (LO).

$$HRN = 4 \times 8 \times 1 \times 6 = 192$$

A ausência de sistema de bloqueio e etiquetagem (LOTO), aliada ao acesso facilitado ao painel energizado em 220V, elevou a probabilidade de ocorrência (LO = 6).

Com severidade máxima (DPH = 8), considerando risco de morte por choque elétrico, o resultado alcançou HRN = 192, classificado como risco alto/intolerável.

Tal condição caracteriza situação incompatível com as exigências da NR-12 e também com os princípios de segurança em instalações elétricas previstos na NR-10.

Essa tabela evidencia a necessidade de intervenção imediata.

Classificação: RISCO ALTO / INTOLERÁVEL

5.1.3.4 CENÁRIO 4 – Risco Ergonômico (Movimentos Repetitivos)

A avaliação ergonômica realizada na operação da Guilhotina MG001 identificou a existência de posturas inadequadas e movimentos repetitivos durante a execução das atividades. Para quantificação desse risco, foram utilizados os parâmetros apresentados na Tabela 6, conforme a metodologia Hazard Rating Number (HRN).

Tabela 6 - CENÁRIO 4

Parâmetro	Valor	Justificativa
FE	5	Atividade contínua
DPH	2	Lesões musculoesqueléticas
NP	1	Operador fixo
LO	4	Postura inadequada recorrente

Fonte: Própria do autor, 2026

Com base nos parâmetros apresentados na Tabela 6, foi realizado o cálculo do Hazard Rating Number (HRN) para avaliar os riscos ergonômicos associados à operação da Guilhotina MG001. O método HRN considera a frequência de exposição ao perigo (FE), a severidade do dano potencial (DPH), o número de pessoas expostas (NP) e a probabilidade de ocorrência do evento perigoso (LO).

$$HRN = 5 \times 2 \times 1 \times 4 = 40$$

A análise ergonômica considera fatores de repetitividade e postura inadequada.

Embora a severidade do dano (DPH = 2) seja inferior aos riscos mecânicos e elétricos, a frequência elevada (FE = 5) resultou em HRN = 40, classificado como risco médio.

Esse resultado indica que, apesar de não representar risco imediato à vida, pode gerar afastamentos por doenças ocupacionais ao longo do tempo, como LER/DORT.

A tabela demonstra que a análise de risco deve contemplar não apenas acidentes típicos, mas também agravos ocupacionais crônicos.

Classificação: RISCO MÉDIO

5.1.3.5 Indicador de Risco Inicial

A avaliação de risco da máquina foi realizada considerando parâmetros que permitem estimar a severidade das possíveis consequências de acidentes e a frequência de exposição do operador aos perigos presentes no equipamento. Para isso, foram utilizados critérios de classificação da gravidade do dano potencial (DPH), Probabilidade de ocorrência (LO), Numero de Pessoas (NP) e frequência de exposição ao perigo (FE). Esses parâmetros auxiliam na quantificação do risco associado às atividades realizadas na máquina, servindo como base para a definição das medidas de segurança necessárias e para a determinação do nível de desempenho requerido do sistema de segurança.

Na tabela 7 é apresentado o resumo dos cenários, enquanto na Figura 15 os cenários são organizados em forma de gráfico de colunas, com o valor do HRN encontrado, dispostos em ordem decrescente, assim indicar os cenários

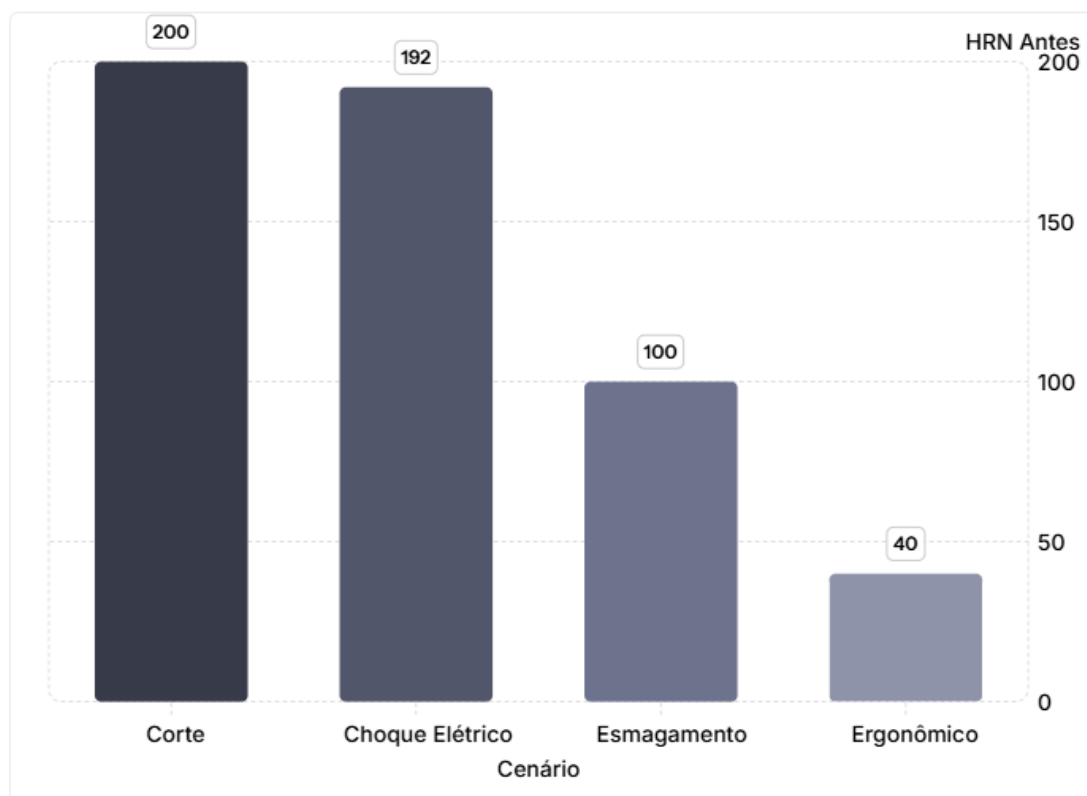
que devem ser priorizados, afim de atuar nos problemas de maior criticidade e avançar para os demais.

Tabela 7 – Cenários de risco na Guilhotina MG001

Cenário	Tipo de Perigo	Situação de Risco Identificada	Consequência Potencial	HRN
Cenário 1	Mecânico (Corte)	Contato do operador com o fio quente durante a operação ou manutenção devido à ausência de proteção adequada e intertravamento.	Cortes graves, queimaduras e amputações.	200
Cenário 2	Mecânico (Esmagamento)	Acesso à zona de movimentação da estrutura móvel sem barreiras físicas adequadas.	Esmagamento de membros superiores e fraturas graves.	100
Cenário 3	Elétrico	Intervenções em painéis e componentes energizados sem procedimento de bloqueio e etiquetagem (LOTO).	Choque elétrico, queimaduras e óbito.	192
Cenário 4	Ergonômico	Posturas inadequadas e esforços repetitivos durante as atividades operacionais.	Distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT/LER), fadiga e desconforto físico.	40

Fonte: Própria do autor, 2026

Figura 15 – Priorização dos Cenários



Fonte: Própria do autor, 2026

Segundo a norma, o valor do indicador HRN igual a 100 pontos, é o limite máximo para o início de uma intervenção imediata na atividade.

5.2 Categoria e Performance Level Requerido (PLr) Encontrados

A determinação da categoria do sistema de comando e do Performance Level Requerido (PLr) foi realizada conforme critérios da ABNT NBR ISO 13849-1, considerando os parâmetros de severidade do dano(S), frequência de exposição(F) e possibilidade de evitar o perigo ou limitar o dano (P). A combinação desses fatores permite definir o nível de risco associado à operação da máquina e, consequentemente, o Performance Level Requerido (PLr) mínimo necessário para o sistema de segurança.

A severidade foi classificada como alta, tendo em vista o potencial de lesões graves ou irreversíveis decorrentes de contato com o fio. A frequência de exposição foi considerada frequente, pois o operador interage continuamente com a máquina ao longo do turno. A possibilidade de evitar o perigo foi

classificada como difícil, dado que o operador encontra-se próximo à zona de corte durante o ciclo.

A combinação desses fatores conduziu à determinação de Performance Level Requerido (PLr) requerido “e”, o que implica necessidade de arquitetura de segurança categoria 3 ou superior, com redundância e monitoramento contínuo de falhas. Isso significa que uma falha simples não pode resultar na perda da função de segurança, devendo o sistema possuir autodiagnóstico e alta confiabilidade dos componentes.

- Severidade: S2 (lesão grave)
- Frequência: F2 (exposição frequente)
- Possibilidade de evitar: P2 (difícil evitar)

Resultado: PLr = E

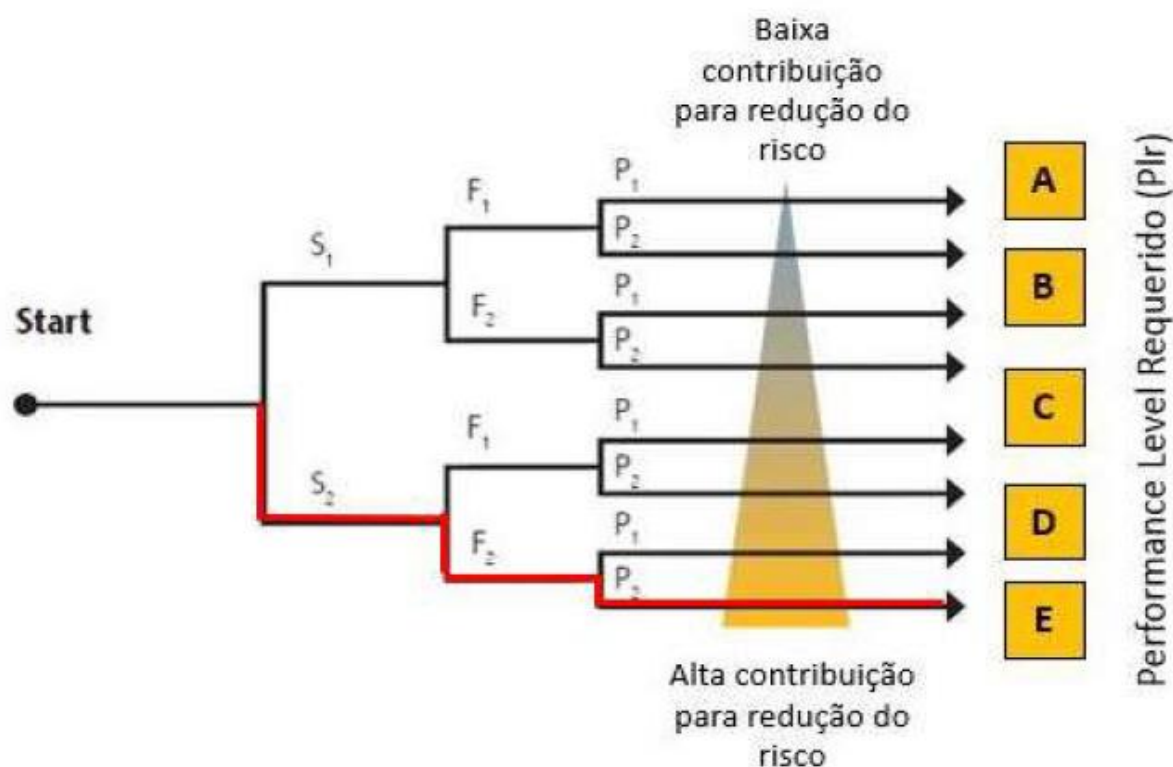
Isso implica necessidade de:

- Sistema de comando de segurança categoria 3 ou superior
- Redundância
- Monitoramento de falha

A determinação do PLr foi realizada considerando os parâmetros de severidade do dano (S), frequência e tempo de exposição ao perigo (F) e possibilidade de evitar ou limitar o dano (P). A aplicação desses critérios encontra-se representada na Figura 16.

Com base na análise realizada para a guilhotina de corte vertical MG001, considerando a severidade potencial do dano, a frequência de exposição do operador à zona de risco e a baixa possibilidade de evitar o perigo durante a operação, foi determinado que o sistema de segurança deve atingir o Performance Level requerido (PLr) compatível com a redução adequada do risco. Caso todas as propostas de adequação apresentadas neste estudo sejam implementadas, espera-se que o sistema de segurança alcance o nível de desempenho correspondente ao PLr estabelecido.

Figura 16 – Performance Level Requerido (PLr)



Fonte: Própria do autor, 2026

A adequação do sistema de comando da GUILHOTINA_MG001 para atender ao PLr “e” representou avanço substancial na integridade funcional da máquina, garantindo que o sistema de segurança atenda aos requisitos de confiabilidade e prevenção de falhas perigosas. Tal resultado demonstra alinhamento entre análise de risco e definição técnica da arquitetura de segurança, assegurando conformidade normativa e proteção efetiva do operador.

5.3 Propostas de Adequação

Esta etapa tem como finalidade analisar os resultados obtidos durante a apreciação de riscos da Guilhotina MG001, confrontando-os com os requisitos estabelecidos pela NR-12 e pelas normas técnicas aplicáveis à segurança de máquinas. A partir da identificação dos perigos, da aplicação da metodologia Hazard Rating Number (HRN) e da determinação do Performance Level Requerido (PLr), foi possível avaliar o nível de criticidade dos riscos presentes no equipamento e definir as medidas necessárias para sua adequação.

Os resultados demonstraram a existência de riscos mecânicos, elétricos, térmicos, ergonômicos e organizacionais associados à operação e manutenção da máquina. Entre os cenários analisados, destacaram-se os riscos de corte, esmagamento e choque elétrico, que apresentaram os maiores índices de criticidade e demandaram intervenções prioritárias para redução da exposição dos trabalhadores aos perigos identificados.

Com base nos resultados obtidos, foram propostas medidas de engenharia e administrativas fundamentadas na hierarquia de redução de riscos preconizada pela ABNT NBR ISO 12100. As soluções apresentadas buscam eliminar os perigos na fonte ou reduzir sua probabilidade de ocorrência, promovendo maior segurança operacional, conformidade legal e confiabilidade do processo produtivo. Nos tópicos seguintes são discutidas as principais adequações recomendadas e seus impactos sobre a redução dos riscos identificados na Guilhotina MG001.

5.3.1 Propostas de Controle

A. Medidas de Engenharia

A instalação de proteções fixas dotadas de parafusos antiburla é recomendada para impedir o acesso dos operadores às zonas perigosas da máquina durante seu funcionamento. Esse tipo de proteção dificulta a remoção não autorizada dos dispositivos de segurança e reduz significativamente a possibilidade de contato com partes móveis ou elementos aquecidos do sistema de corte.

Além das proteções fixas, recomenda-se a utilização de proteções móveis associadas a dispositivos de intertravamento. Esses sistemas garantem que a máquina interrompa automaticamente seu funcionamento sempre que uma proteção for aberta, impedindo a exposição do trabalhador aos riscos mecânicos durante a operação.

Outra medida necessária consiste na adequação das distâncias de segurança conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR ISO 13857. A observância dessas distâncias impede que membros superiores ou inferiores alcancem as zonas perigosas da máquina, contribuindo para a prevenção de acidentes por contato involuntário com áreas de risco.

Também se recomenda a instalação de dispositivos de parada de emergência em conformidade com a ABNT NBR ISO 13850. Esses dispositivos devem ser facilmente acessíveis e identificáveis, possibilitando a interrupção rápida do equipamento em situações de emergência e reduzindo a gravidade de possíveis acidentes.

Para as atividades de manutenção, inspeção e ajustes, recomenda-se a implementação de um sistema de bloqueio e etiquetagem de fontes de energia (Lockout/Tagout – LOTO), conforme os princípios da OSHA 1910.147. Essa medida é fundamental para evitar energizações inesperadas durante intervenções técnicas, reduzindo significativamente os riscos elétricos e mecânicos identificados na análise.

B. Medidas Administrativas

As medidas de engenharia devem ser complementadas por ações administrativas voltadas à gestão da segurança operacional. Nesse contexto, recomenda-se a elaboração de um manual técnico contendo instruções de operação, manutenção, inspeção e procedimentos de emergência específicos para a Guilhotina MG001.

Adicionalmente, devem ser desenvolvidos procedimentos formais de trabalho seguro para orientar as atividades rotineiras e extraordinárias realizadas no equipamento. Esses documentos devem estabelecer responsabilidades, etapas operacionais e medidas preventivas aplicáveis a cada atividade.

A capacitação periódica dos operadores e profissionais de manutenção também é indispensável para garantir a correta utilização dos sistemas de proteção instalados e a adequada percepção dos riscos existentes. O treinamento deve contemplar aspectos relacionados à NR-12, procedimentos de emergência, bloqueio de energia e boas práticas operacionais.

Por fim, recomenda-se a implantação de um plano de manutenção preventiva destinado a assegurar o funcionamento adequado dos componentes mecânicos, elétricos e dos dispositivos de segurança da máquina. A manutenção sistemática contribui para a confiabilidade operacional do equipamento e para a preservação das condições de segurança ao longo de sua vida útil.

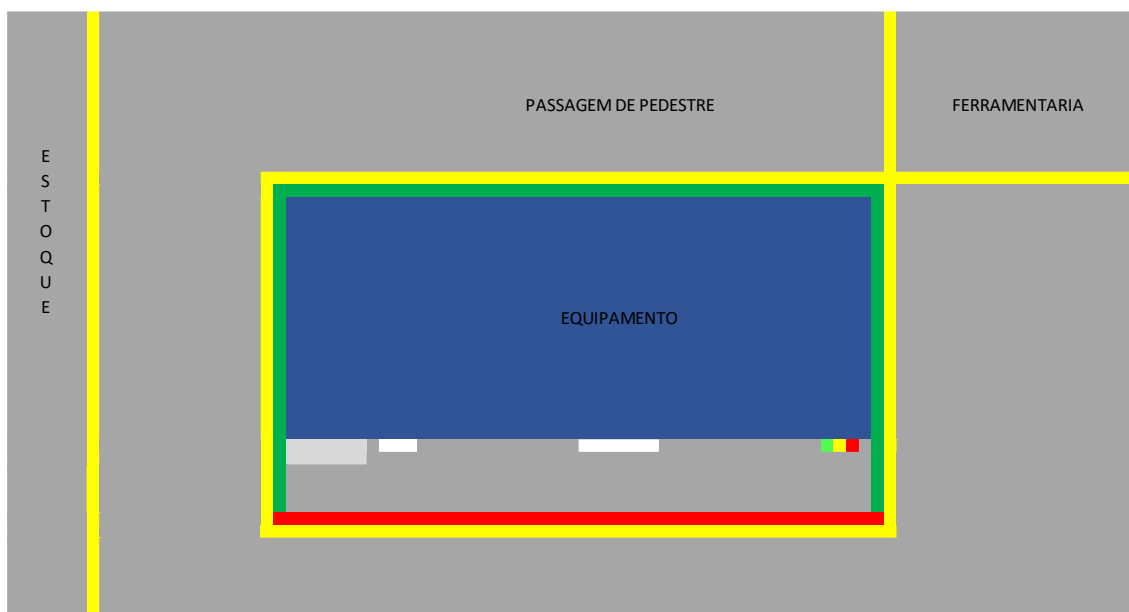
5.3.2 Proposições de Melhoria

As proposições de melhoria apresentadas abaixo correspondem às ações corretivas e preventivas descritas sob a denominação de medidas técnicas de adequação, são aqui consolidadas como propostas estruturadas de melhoria contínua do equipamento GUILHOTINA_MG001.

Sob a perspectiva da ABNT NBR ISO 12100, a segurança deve ser incorporada ao projeto da máquina, por isso as intervenções propostas priorizam medidas de engenharia fundamentam-se no princípio da eliminação ou redução do risco na fonte, e na obrigatoriedade de adoção de sistemas de proteção previstos na NR-12.

Nesse contexto, as melhorias contemplam a reestruturação e reorganização do Layout Físico da Máquina, conforme Figura 17.

Figura 17 – Novo Arranjo Físico Industrial da Guilhotina MG001



Legenda:

	Barreira de luz (sensor de presença)
	Barreira física (grade)
	Equipamento MG01 (GUILHOTINA)
	Giroflex
	Marcação de segurança no chão
	Painel de controle
	Sinalização de segurança

Fonte: Própria do autor, 2026

A delimitação no chão de área segura, conforme Figura 18.

Figura 18 – Exemplo de sinalização horizontal de segurança

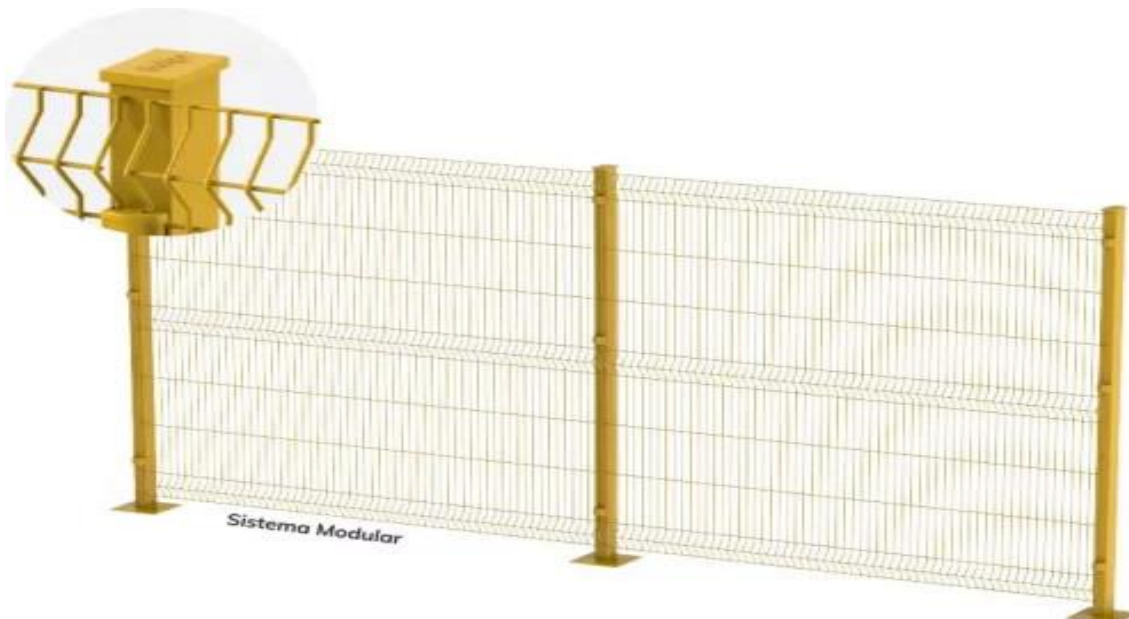


Disponível em: <https://www.mecalux.com.br/blog/sinalizacao-chao-armazem>

Acesso em: 21. Fevereiro. 2026.

A instalação de barreira física fixas permanentes, com elementos de fixação invioláveis, garantindo impedimento permanente de acesso à zona de perigo, como Figura 19.

Figura 19 - Exemplo de barreira física modular para atendimento à NR-12

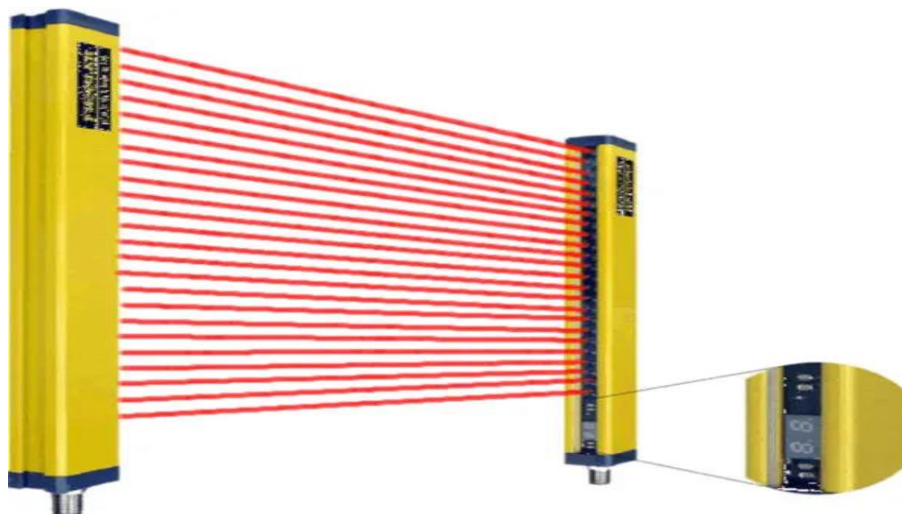


Disponível em: <https://mineratec.com.br/grades-nr12-belgo-protec> Acesso em:

21. Fevereiro. 2026.

Complementarmente, propõe-se a implementação de dispositivo optoeletrônico de presença (cortina de luz), como Figura 20 na área frontal de alimentação, com intertravamento monitorado, impedindo o acionamento da lâmina na presença de intrusão no campo de detecção.

Figura 20 - Exemplo de barreira optoeletrônica (cortina de luz)



Disponível em: <https://www.directindustry.com> Acesso em: 21. Fevereiro. 2026.

A reorganização espacial resultou em clara separação entre zona segura e zona perigosa, redução do risco de interferência externa e melhoria na organização do fluxo produtivo. Conclui-se que o novo layout atende aos requisitos técnicos normativos e contribui significativamente para mitigação dos riscos operacionais associados ao equipamento.

Outra melhoria essencial refere-se à reestruturação do Sistema de comando de Segurança, Figura 21, com inclusão de relé de segurança monitorado, chave de intertravamento, contadores redundantes e circuito de parada de emergência com supervisão de falhas, de modo a atender ao Performance Level Requerido (PLr) identificado na análise, podendo refazer o Painel de Controle do equipamento.

Figura 21 - Arquitetura do Sistema de Segurança



Fonte: Própria do autor, 2026

Os sistemas modernos de comando e controle industrial integram dispositivos de segurança capazes de monitorar o estado operacional da máquina e executar funções seguras em situações de falha ou emergência. A Figura 22 apresenta um exemplo de painel de controle industrial com sistema de comando de segurança.

Figura 22 - Exemplo de painel de controle industrial com sistema de comando de segurança



Disponível em: <https://mixtura.ind.br/painel-de-controle-industrial-preco/>

Acesso em: 21. Fevereiro. 2026.

Essa adequação visa assegurar que falhas simples não resultem na perda da função de segurança, conforme critérios estabelecidos pela ABNT NBR ISO 13849-1.

No âmbito organizacional, as proposições incluem formalização de procedimento de bloqueio e etiquetagem de energia, treinamento específico documentado para operadores e manutenção, atualização do inventário de máquinas e elaboração de manual técnico atualizado contendo análise de risco integrada.

A sinalização de segurança desempenha papel importante na comunicação dos perigos existentes no ambiente de trabalho, contribuindo para a prevenção de acidentes e para a conscientização dos trabalhadores. A Figura 23 apresenta exemplos de placas de advertência que podem ser utilizadas nas áreas de risco da máquina.

Figura 23 – Sinalização vertical de advertência para zona de risco mecânico



Disponível em: <https://www.institutosc.com.br/web/blog/qual-a-importancia-da-sinalizacao-de-seguranca/> Acesso em: 21. Fevereiro. 2026.

A delimitação da área da máquina com sinalização horizontal e vertical, adicionado a Torre luminosa de status operacional também integra o conjunto de melhorias, reforçando a percepção de risco e contribuindo para a cultura preventiva.

A utilização de torres luminosas constitui uma prática amplamente adotada em ambientes industriais para comunicação visual das condições de funcionamento dos equipamentos. A Figura 24 apresenta um exemplo de torre luminosa que pode ser aplicada ao sistema de comando da Guilhotina MG001.

Figura 24 – Exemplo de Torre luminosa



Disponível em: <https://www.energyon.com.br/torre-luminosa>

Acesso em: 21. Fevereiro. 2026.

Então, compondo o novo arranjo físico contempla barreira física modular, ao redor da zona de corte, instalação de sistema optoeletrônico frontal (cortina de luz), para proteção de zona de risco, sinalização horizontal delimitando área segura, torre luminosa indicativa de status operacional e controle restrito de acesso ao painel elétrico.

As melhorias propostas não apenas atendem aos requisitos legais, mas promovem avanço estrutural na confiabilidade operacional da máquina, transformando o equipamento de uma condição reativa para uma condição de segurança incorporada ao projeto.

5.3.3 Atendimento aos Requisitos Essenciais

Com base nas medidas de engenharia e administrativas propostas ao longo deste estudo, foi elaborada uma projeção das condições operacionais da Guilhotina MG001 após a implementação das adequações recomendadas. Essa projeção tem como objetivo verificar o atendimento aos requisitos da NR-12 e avaliar os impactos das melhorias sobre as condições de segurança, organização do ambiente de trabalho e redução dos riscos ocupacionais identificados durante a apreciação inicial.

Para essa avaliação, foi utilizado um checklist de verificação das condições essenciais associadas ao equipamento. Os resultados esperados após a implementação das melhorias propostas são apresentados consolidados na Figura 37 - Seções APR NR-12.

A Figura 25 demonstra a situação projetada para os principais aspectos relacionados ao arranjo físico da máquina, incluindo delimitação da área operacional, condições estruturais, estado do piso, iluminação e organização do ambiente de trabalho. A análise permite verificar os itens que passaram a atender aos requisitos de segurança e aqueles que ainda demandam ações complementares para sua completa adequação.

O cenário previsto após a implementação das propostas de melhoria seria:

Figura 25 - Checklist de Arranjo Físico

1	Arranjo Físico e Instalações	C	N/C	N/A
1.1	Demarcação da área	X		
1.2	Estruturas	X		
1.3	Condições do piso	X		
1.4	Ferramentas		X	
1.5	Trava em rodízios			X
1.6	Risco de escorregar, tropeçar ou cair		X	
1.7	Iluminação	X		

Fonte: Própria do autor, 2026

As medidas de proteções periféricas ao redor da Guilhotina, permite criar espaços dedicados para inspeção e delimitação no arranjo físico. Substituição de Luminárias queimadas por Luminárias LED da área, melhora a visualização do local. Permitem o Layout organizado, com rotinas de limpeza, e sem obstrução de passagem e luminosidade do local permitindo visualização completa da área.

Após a análise das condições relacionadas ao arranjo físico da Guilhotina MG001, foi realizada a avaliação dos sistemas elétricos associados ao equipamento. Essa etapa teve como objetivo verificar a conformidade das instalações elétricas com os requisitos de segurança previstos na NR-12, contemplando aspectos como aterramento, proteção contra sobrecorrentes, infraestrutura elétrica, quadros de comando e riscos associados a choques elétricos, incêndios e explosões. Os resultados da avaliação projetada após a implementação das melhorias propostas são apresentados no Figura 26.

Figura 26 - Checklist de Instalações e Dispositivos Elétricos

2	Instalações e Dispositivos Elétricos	C	N/C	N/A
2.1	Projeto elétrico	X		
2.2	Aterramento	X		
2.3	Quadros elétricos	X		
2.4	Infraestrutura elétrica	X		
2.5	Proteção e dimensionamento (Disjuntores ou outro de mesma função)	X		
2.6	Baterias			X
2.7	Riscos elétricos, de incêndio e de explosão		X	

Fonte: Própria do autor, 2026

Aplicação de novo painel seguindo as diretrizes de Segurança em Instalações Elétricas, nas seções das Normas Regulamentadoras NR-12 e NR-10, assim como suas notas técnicas e NBRs vigentes possibilita um Sistema de Segurança e componentes de comando em Extrabaixa tensão, conforme determinação NR-12.4.13 e NR-10-10.6.1, aterramento em conformidade com as determinações normativas dos itens: NR-12.3.3 e NR-10-10.3.5, uma melhor organização dos elementos, limpos e em bom estado de conservação. Além de painéis com dispositivos protetores contra sobretensão, funcionando e inspeções periódicas em conformidade com o item NR-10-10.4.4

Além das adequações relacionadas às instalações elétricas, foi realizada a avaliação dos dispositivos de partida, acionamento e parada da Guilhotina MG001. Essa análise teve como objetivo verificar a conformidade dos elementos de comando com os requisitos estabelecidos pela NR-12, considerando aspectos relacionados à operação segura da máquina, à ergonomia dos comandos e à confiabilidade dos sistemas de segurança. Os resultados da avaliação projetada após a implementação das melhorias são apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Checklist de Dispositivos de partida, acionamento e parada

3	Dispositivos de partida, acionamento e parada	C	N/C	N/A
3.1	Dispositivos de partida, acionamento e parada	X		
3.2	Comandos bimanuais			X
3.3	Extra baixa tensão (Sistemas de Segurança)	X		

Fonte: Própria do autor, 2026

A instalação de novos Dispositivos de Acionamento e Parada na máquina em conformidade com a seção NR-12.4 e a instalação de novas Interfaces Homem Máquina, que permite visualizar os acessos e suas condições de funcionamento e alerta visuais, como forma de monitorar os sistemas de segurança, descritos na NR-12 item 12.5.2. Instalados também placas de sinalização impedindo o bloqueio de pessoas não autorizadas, assim como controle de acesso a áreas internas intertravadas com comando da máquina.

Os dispositivos de parada de emergência constituem uma das principais medidas de proteção previstas pela NR-12 para redução dos riscos associados à operação de máquinas e equipamentos. Dessa forma, foi realizada uma

avaliação das condições projetadas para os sistemas de parada de emergência da Guilhotina MG001 após a implementação das adequações propostas. Os resultados dessa análise são apresentados na Figura 28.

Figura 28 - Checklist de Dispositivos de parada de emergência

4	Dispositivo de parada de emergência	C	N/C	N/A
4.1	Parada de emergência	X		
4.2	Rearme	X		
4.3	Dispositivos de alerta	X		

Fonte: Própria do autor, 2026

Maquinário conta ao todo com 03 botoeiras de emergência, em conformidade com a NR-12, em categoria 3, além de compor as botoeiras de emergência, possuem torres de sinalização visual, controles de acesso, chaves com intertravamento para as proteções móveis. Ao lado da mesa de operação, foram instaladas cortinas de luz a fim de monitorar a zona de acesso, além das descrições dos procedimentos seguros do trabalho, citando as medidas necessárias para operação. Melhoria implantada em conformidade com os itens da NR-12 item: 12.6.1, 12.6.2, 12.6.3, 12.6.8.

Considerando os riscos identificados durante a apreciação de riscos da Guilhotina MG001, foram propostas adequações relacionadas aos sistemas de segurança da máquina, contemplando proteções físicas, dispositivos de intertravamento, sistemas de monitoramento e requisitos de responsabilidade técnica. A avaliação das condições projetadas após a implementação dessas melhorias é apresentada na Figura 29.

Figura 29 - Checklist de Sistemas de Segurança

5	Sistemas de Segurança	C	N/C	N/A
5.1	Proteções de máquinas	X		
5.2	Acionamento hidráulico/pneumático	X		
5.3	Acionamento motor elétrico	X		
5.4	Diagrama de segurança para todo o conjunto	X		
5.5	Responsabilidade Técnica	X		

Fonte: Própria do autor, 2026

Feito instalação de sistemas de proteção em conformidade com a NR-12 item 12.5, com proteções fixas e móveis com chaves de intertravamento, monitoradas por sistema dedicado, em conformidade com a NR-12, itens 12.5.1 / 12.5.2 / 12.5.4 / 12.5.11 (fotos 1, 2, 3-4, 5). Instalado em conjunto sistemas de rearme e controle de acesso, sinalizador de monitoramento, Categoria 3, em conformidade com os Requisitos de Segurança

Além dos sistemas de proteção e comando, foi realizada a verificação dos requisitos relacionados aos meios de acesso permanente previstos na NR-12. Essa análise teve como objetivo identificar a necessidade de plataformas, escadas, rampas, guarda-corpos e demais estruturas destinadas ao acesso seguro dos trabalhadores às áreas de operação, inspeção e manutenção da máquina. Porém o maquinário não possui Meios de Acesso como Plataformas, Rampas de Acesso, Guarda-corpos. Sendo seção não aplicável.

Para a Secção de Componentes Pressurizados, as mangueiras pressurizadas estão em ambiente controlado, longe do alcance de pessoas. Possui aprisionamento em partes fixas da máquina, com cabos de aço e abraçadeiras em aço de pressão. Além da empresa possuir programa de controle de Componentes pressurizados, manutenção e Inventário de Mangueiras, contendo pressão de trabalho, comprimento, anilhas de identificação, especificação dos terminais e conectores, evitando assim as falhas não previstas dos sistemas hidráulicos e pneumáticos. Ação em acordo com os itens da NR-12 item: 12.7.1, 12.7.2

Para a seção de Transportadores de Materiais, o maquinário não possui Transportador de Material contínuo, conforme diretivas da NR-12. Desta forma, esta seção não será aplicada.

Além dos riscos mecânicos, elétricos e ergonômicos previamente analisados, foi realizada a avaliação dos riscos adicionais associados à operação da Guilhotina MG001. Essa análise contemplou aspectos relacionados à presença de partes aquecidas, exposição a agentes físicos, químicos e biológicos, bem como possíveis efeitos decorrentes de ruído, vibração e radiação. Os resultados da verificação das condições projetadas após a implementação das medidas de adequação são apresentados na Figura 30.

Figura 30 - Checklist de Riscos Adicionais

9	Riscos Adicionais	C	N/C	N/A
9.1	Partes aquecidas	X		
9.2	Agentes Químicos, Físicos e Biológicos	X		
9.3	Radiação, vibrações ou ruídos			X

Fonte: Própria do autor, 2026

Enclausuramento de pontos de perigo adicionais conforme descrito na seção 9. Calor e Ruído possuem medidas de controle através de Programa de Gerenciamento de Riscos interno da Contratante. Seção em Conformidade com as diretrizes da NR-12.

As atividades de manutenção, inspeção, preparação, ajustes e reparos representam etapas críticas para a segurança operacional de máquinas e equipamentos. Dessa forma, foi realizada uma avaliação das medidas previstas para garantir a execução segura dessas atividades na Guilhotina MG001, considerando procedimentos de bloqueio de energia e programas de manutenção preventiva. Os resultados dessa análise são apresentados na Figura 31.

Figura 31 - Checklist de Manutenção, inspeção, preparação, ajuste e reparos

10	Manutenção, inspeção, preparação, ajustes e reparos	C	N/C	N/A
10.1	Lock out e Tag out (Bloqueio e etiquetagem)	X		
10.2	Manutenção preventiva	X		

Fonte: Própria do autor, 2026

A empresa possui programa de manutenção interna, com equipe capacitada e qualificada para todos os tipos de intervenção neste maquinário. Programas de Manutenção Preventiva e Preditiva em conformidade com as diretrizes da NR-12, seção 11. Programa de lubrificação centralizada em área externa da zona de perigo. Além de toda intervenção realizada no maquinário passa pelo Programa de Bloqueio e Etiquetagem (LOTO).

Figura 32 apresenta o item de sinalização.

Figura 32 - Checklist de Sinalização

11	Sinalização	C	N/C	N/A
11.1	Sinalização (Sinais e marcações de segurança)	X		
11.2	Inscrições em outro idioma			X
11.3	Identificação de indicadores (Faixas de manômetro e outros aplicáveis)	X		
11.4	Placa do fabricante		X	

Fonte: Própria do autor, 2026

Instalação de sinalizações de segurança como placas de advertência para riscos de acidentes e alertas visuais como torres luminosas de operação do maquinário.

A documentação técnica constitui um dos requisitos fundamentais para a operação segura de máquinas e equipamentos, fornecendo informações necessárias para instalação, operação, manutenção e procedimentos de segurança. Nesse contexto, foi realizada a avaliação das condições relacionadas aos manuais e documentos técnicos da Guilhotina MG001, cujos resultados são apresentados na Figura 33.

Figura 33 - Checklist de Manuais

12	Manuais	C	N/C	N/A
12.1	Manual de instruções		X	

Fonte: Própria do autor, 2026

Organização das informações e elaboração de Diagramas e Projetos atualizados da máquina, com as definições de medidas de segurança e operação da máquina.

Além da documentação técnica da máquina, foram avaliados os procedimentos de trabalho e segurança adotados pela empresa para a operação da Guilhotina MG001. Essa análise teve como objetivo verificar a existência de orientações formais capazes de auxiliar os trabalhadores na execução segura das atividades operacionais e de manutenção. Os resultados dessa avaliação são apresentados na Figura 34.

Figura 34 - Checklist de Procedimentos de trabalho e segurança

13	Procedimentos de trabalho e segurança	C	N/C	N/A
13.1	Procedimentos de trabalho e segurança	X		

Fonte: Própria do autor, 2026

A empresa possui Procedimentos de Trabalho Seguro. Estes documentos estão sob a responsabilidade do setor de Segurança do Trabalho. Contêm informações sobre medidas de contorno dos riscos de cada tarefa.

A capacitação dos trabalhadores representa um dos pilares fundamentais para a manutenção das condições seguras de operação de máquinas e equipamentos. Dessa forma, foi realizada a verificação das ações de treinamento e disseminação de informações de segurança aplicáveis à operação da Guilhotina MG001. Os resultados dessa avaliação são apresentados na Figura 35.

Figura 35 - Checklist de Capacitação

14	Capacitação	C	N/C	N/A
14.1	Informações aos trabalhadores	X		
14.2	Treinamento	X		

Fonte: Própria do autor, 2026

A empresa possui Programa de capacitação interna aos trabalhadores.

Além dos requisitos de segurança mecânica e operacional, foi realizada a avaliação dos aspectos ergonômicos relacionados à operação da Guilhotina MG001. Essa análise teve como objetivo verificar a adequação das condições de trabalho às características físicas e cognitivas dos trabalhadores, considerando os requisitos previstos pela NR-17 e sua integração com a NR-12. Os resultados dessa avaliação são apresentados no Figura 36.

Figura 36 - Checklist de Aspectos Ergonômicos

15	Aspectos Ergonômicos	C	N/C	N/A
15.1	Ergonomia			X

Fonte: Própria do autor, 2026

A empresa possui Laudo Ergonômico dos postos de trabalho.

Após a análise individual dos requisitos aplicáveis à Guilhotina MG001 e da avaliação das medidas de adequação propostas, foi elaborada uma

consolidação dos resultados obtidos para cada seção da APR baseada na NR-12. Essa síntese permite verificar, de forma integrada, o nível de conformidade esperado para o equipamento após a implementação das melhorias recomendadas. Os resultados consolidados são apresentados na Figura 37.

Figura 37 - Seções APR NR-12

TAG	Seções APR NR12		Previsto
	Item	Denominação	Risco
GUILHOTINA MG001	1	Arranjo Físico	Conforme
	2	Instalações e Dispositivos Elétricos	Conforme
	3	Dispositivos de partida, acionamento e parada	Conforme
	4	Sistemas de Segurança	Conforme
	5	Dispositivos de parada de emergência	Conforme
	6	Meios de acesso permanente - resumo	N/A
	7	Componentes pressurizados	Conforme
	8	Transportadores de Materiais	N/A
	9	Riscos Adicionais	Conforme
	10	Manutenção	Conforme
	11	Sinalização	N/A
	12	Manuais	N/A
	13	Procedimentos de Tralho Seguro	N/A
	14	Capacitação	N/A
	15	Ergonomia	N/A
	16	Outros requisitos de Segurança (ferramentas)	N/A

Fonte: Própria do autor, 2026

5.4 Reavaliação do Indicador de Risco

A reavaliação quantitativa do risco foi realizada considerando a plena implementação das ações propostas implantadas no item anterior: proteção fixa com parafuso antiburla, Intertravamento monitorado, sistema LOTO, botão de emergência, procedimento operacional formalizado e treinamento específico.

O método Hazard Rating Number (HRN) foi novamente aplicado aos cenários críticos previamente identificados, utilizando os mesmos critérios de severidade, frequência e número de pessoas expostas, com alteração apenas da probabilidade de ocorrência, em virtude das medidas de proteção implementadas.

5.4.1 NOVO CENÁRIO 1 – Corte na Zona de fio quente

No cenário de risco de corte por contato com o fio quente, a severidade permanece classificada como alta, pois o dano potencial inerente ao equipamento não se altera. Com a implementação de proteções fixas, intertravamento monitorado e botão de emergência, houve redução significativa na frequência de exposição devido à segregação física da zona de perigo, e a probabilidade de ocorrência foi drasticamente diminuída pela presença de intertravamento monitorado e dispositivo optoeletrônico.

- FE = 5
- DPH = 8
- NP = 1
- LO = 1

$$HRN = 5 \times 8 \times 1 \times 1 = 40$$

Classificação: RISCO SIGNIFICANTE

Redução estimada superior a 80%.

O novo valor de HRN calculado foi reduzido de 200 para 40 posiciona-se na faixa inferior a 40, classificando o risco como significativo. O resultado evidencia a eficácia das medidas de engenharia na eliminação da exposição direta ao perigo.

5.4.2 NOVO CENÁRIO 2 - Esmagamento na Descida do fio quente

No cenário de esmagamento, a instalação de barreiras físicas e intertravamento reduziu drasticamente a probabilidade de contato com a zona de perigo.

- FE = 5
- DPH = 4
- NP = 1
- LO = 0,5

$$HRN = 5 \times 4 \times 1 \times 0,5 = 10$$

Classificação: RISCO BAIXO

O HRN passou de 100 para 10, caracterizando risco residual baixo.

Essa tabela demonstra que medidas de proteção coletiva são mais eficazes do que medidas administrativas isoladas.

5.4.3 NOVO CENÁRIO 3 – Choque Elétrico no Painel

No cenário de risco elétrico, a implementação de procedimento formal de bloqueio e etiquetagem, associada ao controle de acesso ao painel e organização do sistema elétrico, reduziu significativamente a probabilidade de ocorrência. O novo HRN estimado situa-se também de 16, caracterizando condição como risco significativo.

- FE = 4
- DPH = 8
- NP = 1
- LO = 0,5

$$HRN = 4 \times 8 \times 1 \times 0,5 = 16$$

Classificação: RISCO SIGNIFICANTE

Com a implementação de sistema LOTO, chave com acesso restrito e adequação do painel elétrico, o risco foi reduzido de HRN 192 para 16.

Essa redução superior a 90% comprova que a adoção de procedimentos formais e bloqueio físico de energia é essencial para controle de riscos elétricos.

5.4.4 NOVO CENÁRIO 4 – Risco Ergonômico

No cenário de risco ergonômico, considerando a melhoria parcial com adequação de altura e pausas, o novo HRN estimado situa-se de 15, caracterizando condição como risco significativo.

- FE = 5
- DPH = 2
- NP = 1
- LO = 1,5

$$HRN = 5 \times 2 \times 1 \times 1,5 = 15$$

Classificação: RISCO SIGNIFICANTE

Após a simples mudança o risco foi reduzido de HRN 40 para 15.

5.5 – Impactos da Adequação

Os resultados consolidados das análises realizadas antes e após a implementação das medidas de controle são apresentados na Figura 38. Observa-se que todos os cenários avaliados apresentaram redução significativa

dos índices de risco, evidenciando a eficácia das adequações propostas para a Guilhotina MG001.

Conforme demonstrado na Figura 38, o cenário de corte apresentou redução do HRN de 200 para 40, correspondendo a uma diminuição de 80% do risco inicial. No cenário de esmagamento, o índice foi reduzido de 100 para 10, representando uma redução de 90%. Para os riscos elétricos, verificou-se redução de 192 para 16, equivalente a 91,6%, resultado associado principalmente à implementação de procedimentos de bloqueio e etiquetagem de energia (LOTO) e às melhorias nos sistemas de comando e proteção elétrica. Já o cenário ergonômico apresentou redução de 40 para 15, correspondendo a 62,5%, demonstrando que as melhorias propostas contribuíram para minimizar a sobrecarga física e as condições inadequadas de trabalho.

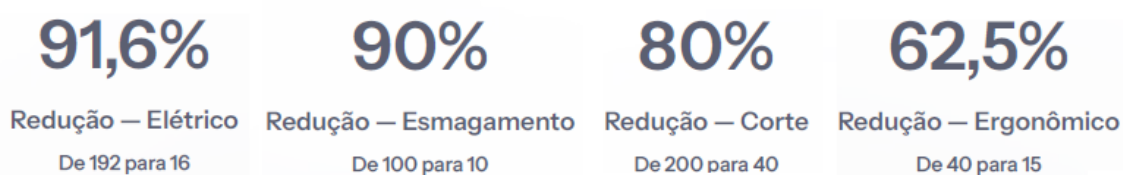
A análise comparativa apresentada na Figura 38 evidencia que as medidas de engenharia e administrativas propostas foram capazes de reduzir substancialmente os riscos identificados durante a apreciação inicial. Os resultados obtidos indicam que os riscos residuais passaram a níveis mais compatíveis com a operação segura do equipamento, em conformidade com os princípios estabelecidos pela ABNT NBR ISO 12100 e pelos requisitos da NR-12.

Figura 38 (a/b/c) - Comparativo Geral

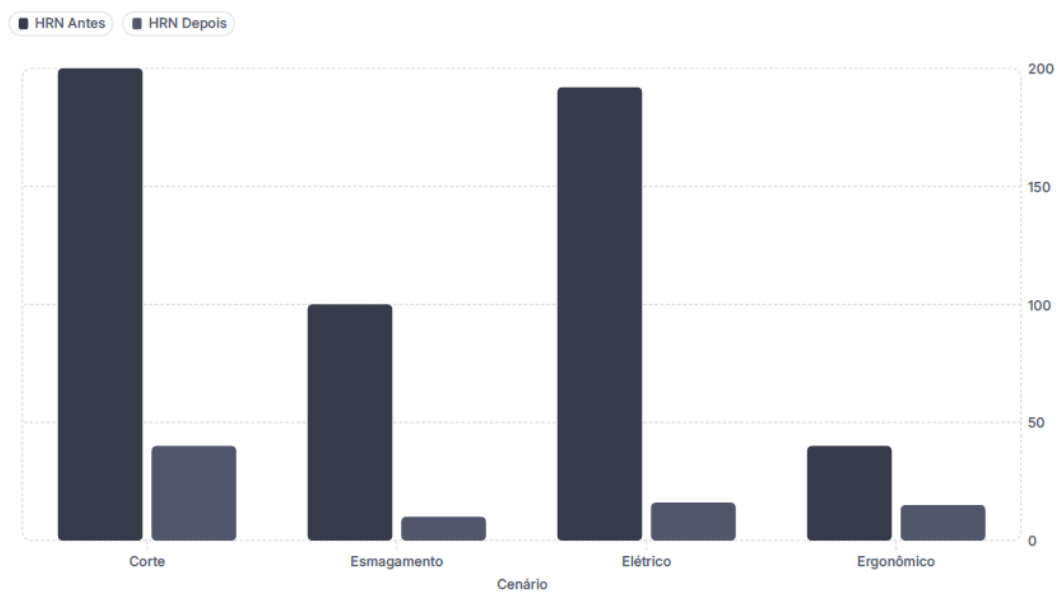
a)

Cenário	HRN Antes	HRN Depois	Redução (%)
Corte	200	40	80%
Esmagamento	100	10	90%
Elétrico	192	16	91,6%
Ergonômico	40	15	62,5%

b)



c)



Fonte: Própria do autor, 2026

Observa-se que:

- Todos os cenários críticos migraram de níveis muito altos para níveis médio e baixos.
- A maior redução ocorreu no risco elétrico.
- A análise quantitativa comprova tecnicamente a efetividade das medidas implantadas.

Essa análise é fundamental para demonstrar, de forma objetiva, que a adequação da máquina não apenas atende às exigências legais, mas reduz substancialmente a exposição ocupacional.

Portanto, a análise técnica da guilhotina industrial MG001 demonstrou que, em sua condição inicial, o equipamento apresentava riscos significativos à integridade física do operador, especialmente relacionados a:

- Corte e amputação
- Esmagamento
- Choque elétrico
- Lesões ergonômicas

A aplicação da metodologia de análise de risco baseada na ABNT NBR ISO 12100 permitiu identificar, classificar e quantificar os perigos existentes por

meio do método HRN, evidenciando índices classificados como significativos e intoleráveis.

O risco de corte apresentou o maior índice (HRN 200), caracterizando situação incompatível com os requisitos da NR-12 e demais normativas correlatas.

Após a implementação das medidas de engenharia e administrativas incluindo proteções fixas, intertravamentos, sistema LOTO, botão de emergência e treinamento operacional observou-se redução superior a 80% nos principais cenários de risco, com reclassificação para médio e baixo.

Sob a ótica técnica, conclui-se que:

1. A adequação à NR-12 não é apenas exigência legal, mas ferramenta efetiva de prevenção.
2. A aplicação sistemática da análise de risco promove redução mensurável da exposição ocupacional.
3. O investimento em segurança impacta positivamente a confiabilidade operacional e a cultura organizacional.
4. A metodologia HRN mostrou-se adequada para quantificação e comparação objetiva do risco antes e depois das intervenções.

Portanto, a adequação da guilhotina MG001 demonstra que a gestão estruturada de segurança em máquinas industriais é elemento essencial para sustentabilidade produtiva, prevenção de acidentes e conformidade normativa.

Consolidando impactos de adequação de caráter técnico como a própria conformidade com NR-12, a redução de RGI e a melhoria da confiabilidade operacional. No âmbito organizacional a redução de passivos trabalhistas, a melhoria da cultura de segurança, no aumento da produtividade segura. E sociais, a preservação da integridade física e a redução de afastamentos.

5.6 Limitações do Estudo

O presente trabalho contempla predominantemente aspectos relacionados à Engenharia de Segurança do Trabalho e à Engenharia Mecânica, com foco na análise estrutural da máquina, apreciação de risco, adequação a requisitos normativos e definição do nível de desempenho do sistema de segurança.

Embora o equipamento possua subsistemas elétricos relevantes para a integridade funcional, a abordagem elétrica foi tratada de maneira complementar e superficial, restringindo-se à análise de risco associada à energia e à necessidade de bloqueio e controle. Estudos aprofundados envolvendo dimensionamento elétrico detalhado, análise de confiabilidade de componentes eletrônicos, cálculo específico de MTTFd e validação probabilística completa do circuito de segurança, conforme a ABNT NBR ISO 13849-1, extrapolam o escopo estabelecido para este trabalho.

Dessa forma, reserva-se a possibilidade de desenvolvimento futuro de estudo específico na área de Engenharia Elétrica, contemplando validação detalhada de arquitetura de segurança, análise quantitativa de confiabilidade dos componentes e verificação completa dos parâmetros de desempenho funcional do sistema de comando.

Outra limitação refere-se ao fato de a análise ter sido conduzida com base em inspeção técnica e dados operacionais disponíveis no momento da avaliação, não incluindo acompanhamento longitudinal de indicadores de acidentes ou quase-acidentes após implementação das melhorias sugeridas. Estudos futuros poderão incluir monitoramento estatístico de desempenho em segurança e avaliação ergonômica aprofundada com base em métodos quantitativos específicos.

Apesar dessas limitações, considera-se que o estudo atendeu plenamente aos objetivos propostos no âmbito da Engenharia Mecânica aplicada à segurança de máquinas, fornecendo base técnica consistente para adequação do equipamento e redução efetiva dos riscos ocupacionais.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo realizar a análise técnica da GUILHOTINA_MG001 utilizada no processo de corte de blocos de EPS, contemplando avaliação do arranjo físico, mapeamento do processo produtivo, apreciação de risco, definição do Performance Level Requerido (PLr) e proposição de adequações conforme requisitos normativos vigentes. A metodologia adotada permitiu identificar de forma sistemática os perigos associados ao equipamento e quantificar os riscos por meio de método estruturado, demonstrando que a condição original da máquina apresentava inconformidades relevantes sob a ótica da segurança do trabalho.

A aplicação dos princípios estabelecidos pela ABNT NBR ISO 12100 possibilitou a identificação, avaliação e redução dos riscos de maneira hierarquizada, priorizando medidas de engenharia em detrimento de controles meramente administrativos. A adequação aos requisitos da NR-12 evidenciou que a segurança deve ser integrada ao projeto e à operação da máquina, não sendo tratada como elemento complementar.

A determinação do Performance Level Requerido (PLr), conforme critérios da ABNT NBR ISO 13849-1, demonstrou a necessidade de arquitetura de segurança categoria 3 ou superior, assegurando que falhas simples não comprometam a função de proteção. A projeção da implementação das melhorias propostas prevê redução expressiva do indicador de risco (HRN), migrando de níveis muito altos para níveis moderado, tecnicamente aceitáveis, havendo possibilidade de aprimorar com ações complementares.

Dessa forma, conclui-se que a integração entre análise de risco, adequação estrutural do layout e reconfiguração do sistema de comando proporcionou elevação substancial do nível de segurança operacional do equipamento, atendendo aos objetivos propostos neste estudo.

6.1 Benefícios para os Trabalhadores, a Produção e a Empresa

A implementação das medidas de adequação gera benefícios diretos e indiretos que transcendem o cumprimento normativo.

Sob a perspectiva dos trabalhadores, a principal vantagem consiste na redução significativa da exposição a riscos de amputação, esmagamento e choque elétrico. A eliminação do acesso direto à zona de corte, associada à

presença de dispositivos de intertravamento e parada de emergência monitorada, promove ambiente de trabalho mais seguro e previsível. A melhoria ergonômica reduz a probabilidade de afastamentos por doenças ocupacionais, contribuindo para preservação da saúde física e mental do operador.

No âmbito produtivo, a adequação estrutural do equipamento aumenta a confiabilidade operacional e reduz paradas não planejadas decorrentes de incidentes ou intervenções emergenciais. Sistemas de segurança bem projetados tendem a reduzir falhas humanas e interrupções, promovendo estabilidade do processo produtivo. A organização do layout e a delimitação clara das áreas também favorecem fluxo operacional mais eficiente.

Para a empresa, os benefícios incluem redução de passivos trabalhistas, mitigação de riscos de autuações e penalidades administrativas e fortalecimento da imagem institucional perante clientes e órgãos fiscalizadores. A conformidade com a NR-12 demonstra compromisso com responsabilidade social e gestão preventiva. Além disso, a redução do indicador de risco contribui para diminuição potencial de custos com seguros, indenizações e afastamentos.

Assim, verifica-se que o investimento em segurança não representa apenas obrigação legal, mas estratégia organizacional que impacta positivamente sustentabilidade e competitividade empresarial.

6.2 Considerações Finais

A análise realizada confirmou que a segurança em máquinas industriais deve ser tratada como sistema integrado, envolvendo aspectos mecânicos, organizacionais e funcionais. A abordagem fundamentada na ABNT NBR ISO 12100 permitiu estruturar a apreciação de risco de forma lógica e tecnicamente defensável, enquanto a definição do Performance Level Requerido (PLr), conforme a ABNT NBR ISO 13849-1, assegurou coerência entre o nível de risco identificado e a arquitetura do sistema de segurança implementado.

Os resultados demonstram que medidas de engenharia apresentam maior efetividade na redução do risco quando comparadas a controles exclusivamente administrativos. A segregação física da zona de perigo, associada a dispositivos monitorados, reduziu drasticamente a probabilidade de ocorrência de acidentes graves.

O estudo reforça a importância da cultura preventiva e da análise sistemática de risco como ferramentas essenciais para modernização do parque industrial. A segurança, quando incorporada ao projeto e à operação, torna-se elemento estruturante da confiabilidade produtiva.

Conclui-se que a adequação da GUILHOTINA_MG001 representa exemplo prático da aplicação dos conceitos de Engenharia Mecânica e Engenharia de Segurança do Trabalho na prevenção de acidentes e na promoção de ambiente industrial tecnicamente seguro.

6.3 – Recomendações para Trabalhos Futuros

Embora o presente estudo tenha contemplado análise aprofundada sob a ótica da Engenharia Mecânica e da Engenharia de Segurança do Trabalho, recomenda-se que trabalhos futuros aprofundem aspectos específicos não explorados integralmente neste escopo.

Sugere-se a realização de estudo detalhado de confiabilidade elétrica do sistema de comando de segurança, incluindo cálculo completo de MTTFd, avaliação probabilística de falhas perigosas e validação formal do circuito conforme metodologia completa da ABNT NBR ISO 13849-1. Tal abordagem permitiria aprofundamento na interface com a Engenharia Elétrica, ampliando a robustez técnica da análise funcional.

Outra possibilidade de aprofundamento envolve estudo ergonômico detalhado por meio de métodos quantitativos específicos, visando otimização do posto de trabalho e redução adicional de riscos ocupacionais crônicos.

Por fim, sugere-se uma análise financeira do real investimento necessário para implementação das ações e um cronograma de execução das adequações, promovendo padronização da análise e consolidação de sistema integrado de gestão de segurança de máquinas.

Dessa forma, o presente trabalho estabelece base técnica consistente para futuras investigações e contribui para evolução contínua das práticas de segurança industrial.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14153: Segurança de máquinas – Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança – Princípios para projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 12100: Segurança de máquinas – Princípios gerais de projeto – Avaliação e redução de riscos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13849-1: Segurança de máquinas — Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança — Parte 1: Princípios gerais para projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 12100:2013. Segurança de máquinas — Princípios gerais de projeto — Avaliação e redução de riscos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 13849-1:2019. Segurança de máquinas — Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança — Parte 1: Princípios gerais para projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 13850:2022. Segurança de máquinas — Função de parada de emergência — Princípios para projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 12100: Segurança de máquinas — Princípios gerais de projeto — Avaliação e redução de riscos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/TR 14121-2: Segurança de máquinas — Avaliação de riscos — Parte 2: Guia prático e exemplos de métodos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
Blucher, 2016.

BRAGA, Fábio Brasil. Adequação de segurança NR12 em impressora de rótulos em latas de alumínio. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12): Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília: MTE, atualização 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília: Diário Oficial da União, 1978 (atualizada em 2019).

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 01: Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais. Brasília: Diário Oficial da União, 1978 (atualizada em 2020).

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15): Atividades e Operações Insalubres. Brasília: MTE, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília: MTE, 2010 (atualizada). Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego>. Acesso em: 27 fev. 2026.

CHIAVENATO, Idalberto. Gestão de pessoas: o novo papel dos recursos humanos nas organizações. 4. ed. Barueri: Manole, 2014.

DEJOURS, Christophe. A loucura do trabalho: estudo de psicopatologia do trabalho. 5. ed. São Paulo: Cortez-Oboré, 1992.

FUNDACENTRO. Segurança em Máquinas e Equipamentos: Referências Técnicas para Aplicação da NR-12. São Paulo: Fundacentro, 2022.

GOVASKI, Odair José. Proposta de adequação de uma prensa hidráulica à NR12. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Horizontina (FAHOR), Horizontina, 2014.

GROOVER, Mikell P. Fundamentos da moderna manufatura: materiais, processos e sistemas. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HOBBSAWM, Eric. A era das revoluções: 1789–1848. 25. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996.

IIDA, Itiro; BUARQUE, Lia. Ergonomia: projeto e produção. 3. ed. São Paulo:

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13849-2:2023. Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 2: Validation. Geneva: ISO, 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/TR 22100-5:2021. Safety of machinery — Relationship with ISO 12100. Geneva: ISO, 2021.
ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 12100: Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction. Geneva: ISO, 2010.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Frankfurt: acatech, 2013.

KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. Manufacturing engineering and technology. 7. ed. Boston: Pearson, 2014.

LANDES, David S. A riqueza e a pobreza das nações: por que algumas são tão ricas e outras tão pobres. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

PICKERSGILL, Barry. The Hazard Rating Number System. Health and Safety Management Systems, United Kingdom, 2001.

REIS, J. G. M. et al. Teoria das Restrições aplicada a uma empresa de moldados de EPS. Revista Produção Online, 2015.

SANTOS, A. L.; OLIVEIRA, R. M. Uso e importância do poliestireno expandido (EPS) na construção civil. Revista RECIMA21, v. 2, n. 8, 2021.

SCHERER, Everton Mattos. Projeto adequação de máquinas NR12. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2017.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. A máquina que mudou o mundo. 12. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.