



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO, DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENG. DE CONTROLE, AUTOMAÇÃO E COMPUTAÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Pedro Henrique Vidual Ardenghi

Adequação à NR12 de Máquinas Industriais: Exemplo de aplicação à Prensa
Hidráulica Ranhuradeira N25

Pedro Henrique Vidual Ardenghi

Adequação à NR12 de Máquinas Industriais: Exemplo de aplicação à Prensa
Hidráulica Ranhuradeira N25

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadora: Orientadora, Dra. Franciely Velozo Aragão

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Ardenghi, Pedro Henrique Vidual
Adequação à NR12 de Máquinas Industriais : Exemplo de
aplicação à Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 / Pedro
Henrique Vidual Ardenghi ; orientadora, Franciely Velozo
Aragão, 2025.
88 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Blumenau,
2025.

Inclui referências.

1. Engenharia de Controle e Automação. 2. NR12. 3.
Análise Preliminar de Risco. 4. Segurança de Máquinas. 5.
Conformidade Industrial. I. Aragão, Franciely Velozo. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

Pedro Henrique Vidual Ardenghi

Adequação à NR12 de Máquinas Industriais: Exemplo de aplicação à Prensa
Hidráulica Ranhuradeira N25

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro de Controle e Automação” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Blumenau, 17 de junho de 2025.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Franciely Velozo Aragao
Data: 21/07/2025 19:24:19-0300
CPF: ***.925.729-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Profa. Primeira, Dra. Franciely Velozo
Aragão
Instituição UFSC - Blumenau



Documento assinado digitalmente
ALEX FABIANO BUENO
Data: 22/07/2025 05:22:05-0300
CPF: ***.810.780-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Segundo, Dr. Alex Fabiano Bueno
Instituição UFSC - Blumenau



Documento assinado digitalmente
Tiago Davi Curi Busarello
Data: 22/07/2025 09:18:26-0300
CPF: ***.950.098-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Terceiro, Dr. Tiago Davi Curi
Bussarelo
Instituição UFSC - Blumenau

Dedico esse trabalho aos meus pais, a minha namorada,
aos meus amigos e a todos que contribuíram em cada
passo desta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Pedro e Margareth, que sempre me apoiaram e incentivaram em todos os aspectos da minha vida, onde sem a base sólida que construíram com tanto esforço e dedicação, certamente eu não teria chegado até aqui. Estendo meu agradecimento à minha namorada, Maisa, que, mesmo à distância, nunca deixou de ser meu porto seguro, presente em cada momento de superação e conquista.

Agradeço à minha orientadora, Professora Franciely, pela dedicação e disponibilidade constante durante todo o desenvolvimento deste trabalho, onde suas orientações, sugestões e olhar crítico foram fundamentais para organizar minhas ideias, elevar o nível técnico do conteúdo e transformar o projeto em algo coeso, consistente e aplicável.

Agradeço também ao meu supervisor na Infra Automação Industrial, Andrigo, por sempre compreender a importância de equilibrar o trabalho com a vida acadêmica e por confiar em meu desenvolvimento profissional. Sou grato por ter sido inserido desde cedo na realidade da engenharia de automação de forma prática e abrangente — do chão de fábrica à elaboração de projetos e orçamentos completos. Agradeço também aos colegas de trabalho mais experientes, que sempre estiveram dispostos a compartilhar seus conhecimentos e enriquecer minha formação.

Por fim, agradeço aos meus colegas de faculdade, que se tornaram verdadeiros companheiros ao longo da jornada, onde compartilhamos histórias, aprendizados e experiências — profissionais e pessoais — que me transformaram e me ajudaram a evoluir. Levo comigo, além do conhecimento adquirido, a vivência e a amizade construída ao longo desses anos, que certamente me acompanharão por toda a vida.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto de adequação de segurança em conformidade com a Norma Regulamentadora NR12, utilizando a Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, uma máquina comumente usada na indústria metalúrgica, como objeto de estudo. O objetivo principal foi aplicar a metodologia de Análise Preliminar de Risco (APR) para identificar, avaliar e abordar os perigos associados à operação da máquina, com base em normas técnicas como ABNT NBR ISO 12100, ISO 13849-1 e o Manual de Aplicação da NR12. A pesquisa realizada caracteriza-se como de natureza aplicada e descritiva, com abordagem qualitativa e metodologia de estudo de caso. A metodologia incluiu a coleta de dados por meio de observações de campo, entrevistas com operadores e técnicos de manutenção, análise de documentos e a elaboração de desenhos técnicos. A avaliação de risco foi realizada utilizando o método *Hazard Rating Number* (HRN), resultando em valores que permitiram a classificação dos perigos de acordo com seu nível de criticidade. Medidas de controle foram propostas, priorizando a eliminação e redução de riscos, de acordo com a hierarquia fornecida pelas normas, incluindo proteções fixas e móveis, sensores de segurança e sistemas eletrônicos de monitoramento. A implementação de soluções técnicas resultou na adequação da máquina aos requisitos de segurança da NR12, o que levou a uma redução significativa nos riscos operacionais e à criação de um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente, demonstrando a viabilidade técnica da aplicação de medidas de segurança e destacando a importância da adoção de uma abordagem sistemática para garantir a segurança funcional e a conformidade legal de máquinas industriais.

Palavras-chave: NR12; análise de risco; segurança de máquinas; conformidade industrial; HRN; conformidade legal.

ABSTRACT

This work presents the development of a safety compliance project in accordance with Regulatory Standard NR12, focusing on the Hydraulic Press N25 used in a metal-mechanical industrial environment. The main objective was to apply the Preliminary Risk Analysis (PRA) methodology to identify, assess, and mitigate hazards associated with machine operation, based on technical standards such as ABNT NBR ISO 12100, ISO 13849-1, and the NR12 Application Manual. The research is applied and descriptive, with a qualitative case study approach. The methodology included data collection through field observations, interviews with operators and maintenance technicians, document analysis, and technical sketches. Risk evaluation was conducted using the Hazard Rating Number (HRN) method, resulting in values that classified the hazards according to their severity. Control measures were proposed following the normative hierarchy, prioritizing risk elimination and reduction, including fixed and movable guards, safety sensors, and electronic monitoring systems. The project concluded with the implementation of technical solutions and the issuance of a Compliance Report, which validated the effectiveness of the interventions and the legal conformity of the equipment. The experience demonstrated the importance of a structured and standards-based approach to ensure the functional safety of industrial machinery, confirming the technical and operational feasibility of compliance based on NR12.

Keywords: NR12; risk analysis; machine safety; industrial compliance; HRN; legal conformity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de avaliação dos riscos.	23
Figura 2 – Fatores que compõem o risco associado a um perigo.	25
Figura 3 – Legenda Categoria de Risco NBR 14153.	32
Figura 4 – Determinação do <i>Performance Level</i> (PL) com base em S, F e P. . . .	34
Figura 5 – Matriz de correlação entre PL, CAT, DC e MTTFd.	36
Figura 6 – Apresentação da Máquina: Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25. . . .	44
Figura 7 – Zona de prensagem do martelo.	47
Figura 8 – Porta de acesso ao interior da máquina.	48
Figura 9 – Cilindro de fixação das peças - Sistema pneumático.	49
Figura 10 – Esteira de transporte de sucata.	50
Figura 11 – Indicação de monitoramento perimetral por meio de Cortinas de Luz. .	57
Figura 12 – Indicação de monitoramento perimetral por meio de <i>Scanners</i> de Segu- rança.	57
Figura 13 – Indicação de monitoramento da porta de acesso ao interior da máquina por meio de sensores magnéticos e/ou intertravamento.	58
Figura 14 – Indicação de retenção pilotada no cilindro de fixação de peças.	59
Figura 15 – Indicação de proteções fixas na esteira de transporte de sucata.	60
Figura 16 – Indicação de botões de emergência e rearme no perímetro da máquina. .	61
Figura 17 – Indicação de sinalizações de segurança na máquina.	61
Figura 18 – Gráfico comparativo dos fatores HRN antes e após a adequação.	67
Figura 19 – Mapa de Dispositivos de Segurança - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25.	69
Figura 20 – Proteções Fixas - Perímetro da Prensa.	70
Figura 21 – Proteções Fixas - Esteira de transporte de sucata.	71
Figura 22 – Proteção Móvel - Porta monitorada por chave trava.	72
Figura 23 – Sensores - <i>Scanner</i> de segurança parte traseira.	73
Figura 24 – Sensores - <i>Scanner</i> de segurança parte frontal.	73
Figura 25 – Detalhamento - Zona de segurança <i>scanner</i> traseiro.	74
Figura 26 – Sensores - Cortina de luz frontal.	75
Figura 27 – Dispositivos - Botões de Emergência.	76
Figura 28 – Dispositivos - Botões de Rearme.	77
Figura 29 – Painel elétrico principal.	78
Figura 30 – Indicação das sinalizações de segurança na máquina.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Normas técnicas aplicadas por etapa da Análise Preliminar de Riscos (APR)	22
Tabela 2 – Número de Pessoas sob o Risco (NP)	26
Tabela 3 – Frequência de Exposição (FE)	26
Tabela 4 – Probabilidade de Ocorrência (LO)	27
Tabela 5 – Grau da Possível Lesão (DPH)	27
Tabela 6 – Classificação dos riscos com base no valor do HRN.	29
Tabela 7 – Modelo do inventário de perigos aplicado na APR	39
Tabela 8 – Inventário de perigos identificados na máquina	51
Tabela 9 – Valores de DPH atribuídos aos perigos identificados.	52
Tabela 10 – Fatores HRN – Máquina NÃO adequada.	53
Tabela 11 – Fatores HRN – Máquina NÃO Adequada.	54
Tabela 12 – Relação entre dispositivos, CAT e PLr.	56
Tabela 13 – Componentes de segurança e respectivos sistemas de monitoramento. .	65
Tabela 14 – Comparativo dos Fatores HRN – Situação Antes e Após Adequação. .	67
Tabela 15 – Verificação do painel elétrico da Prensa de acordo com as normas NR10 e NR12.	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APR	Análise Preliminar de Risco
ARTs	Anotações de Responsabilidade Técnica
CAT	Categoria
CCF	<i>Common Cause Failure</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
DC	<i>Diagnostic Coverage</i>
DPH	<i>Degree of Possible Harm</i>
EN	<i>European Norm</i>
FE	Frequência de Exposição
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
HRN	<i>Hazard Rating Number</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LO	<i>Likelihood of Occurrence</i>
LOPA	<i>Layer Of Protection Analysis</i>
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
MTTFd	<i>Mean Time To Dangerous Failure</i>
NBR	Norma Brasileira
NP	Número de Pessoas
NR10	Norma Regulamentadora N ^o 10
NR12	Norma Regulamentadora N ^o 12
NRs	Normas Regulamentadoras
PL	<i>Performance Level</i>
PLr	<i>Performance Level</i> requerido
SST	Segurança e Saúde no Trabalho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo Geral	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	SEGURANÇA NO AMBIENTE INDUSTRIAL	18
2.2	NORMA REGULAMENTADORA Nº12 (NR12)	19
2.3	REFERENCIAIS NORMATIVOS	21
2.4	ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)	22
2.4.1	Identificação dos Riscos	24
2.4.2	Análise dos Riscos	25
2.4.3	Avaliação dos Riscos	28
2.4.4	Tratamento dos Riscos - Medidas de Controle	30
2.4.4.1	<i>Categoria Dos Sistemas de Segurança (CAT)</i>	31
2.4.4.2	<i>Definição do Performance Level (PL)</i>	33
2.4.4.3	<i>Validação do Performance Level (PL)</i>	34
3	METODOLOGIA	37
3.1	TIPO DE PESQUISA	37
3.2	ETAPAS DA METODOLOGIA APLICADA	37
3.2.1	Diagnóstico Inicial da Máquina	38
3.2.2	Identificação dos Riscos	38
3.2.3	Análise de Riscos	39
3.2.4	Avaliação dos Riscos	41
3.2.5	Tratamento dos Riscos	41
4	ESTUDO DE CASO: ADEQUAÇÃO À NR12 DA PRENSA HIDRÁULICA RANHURADEIRA N25	44
4.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO	44
4.2	DIAGNÓSTICO INICIAL DA MÁQUINA	45
4.3	DESENVOLVIMENTO DA APR	45
4.3.1	Identificação dos Riscos	46
4.3.2	Análise dos Riscos	52
4.3.3	Avaliação dos Riscos	53
4.4	TRATAMENTO DOS RISCOS - MEDIDAS DE CONTROLE	55
5	PROJETO DE ADEQUAÇÃO À NR12: PRENSA HIDRÁU- LICA RANHURADEIRA N25	63

5.1	PROJETO ELÉTRICO	63
5.2	EMIÇÃO DE LAUDO E VALIDAÇÃO DA ADEQUAÇÃO	64
5.2.1	Sistema de Segurança	64
5.2.2	Adequações Realizadas	68
<i>5.2.2.1</i>	<i>Proteções Fixas</i>	<i>69</i>
<i>5.2.2.2</i>	<i>Proteções Móveis</i>	<i>71</i>
<i>5.2.2.3</i>	<i>Dispositivos de Segurança - Sensores</i>	<i>72</i>
<i>5.2.2.4</i>	<i>Painel Elétrico</i>	<i>77</i>
<i>5.2.2.5</i>	<i>Sinalizações de Segurança</i>	<i>79</i>
6	CONCLUSÃO	81
	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

As Normas Regulamentadoras (NRs) são diretrizes estabelecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) com o objetivo de garantir a saúde e segurança dos trabalhadores em diferentes atividades laborais. Essas normas possuem força de lei e devem ser obrigatoriamente seguidas pelas empresas, a fim de mitigar riscos, prevenir acidentes e assegurar a conformidade com a legislação vigente (Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego, 2022).

No ambiente industrial, a segurança na operação de máquinas é fundamental para evitar acidentes de trabalho e garantir o cumprimento das exigências legais. Além de atender às NRs, como a NR10 e a NR12, as empresas devem estar atentas às recomendações da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), que estabelece em seus artigos a obrigatoriedade de ambientes seguros e medidas preventivas para os trabalhadores (Brasil, 1943)

Nesse sentido, destacam-se duas normas regulamentadoras fundamentais, sendo elas a NR10 e a NR12. A NR10 estabelece requisitos mínimos para garantir a segurança dos trabalhadores que interagem com instalações e serviços em eletricidade, abrangendo desde o projeto até a manutenção de sistemas elétricos. Já a NR12, por sua vez, define princípios e medidas técnicas de proteção para assegurar que máquinas e equipamentos operem de maneira segura em todas as fases de seu ciclo de vida, desde a concepção até a desativação, sendo que, ambas as normas, são complementares e exercem um papel estratégico na gestão de riscos em ambientes industriais, reforçando a necessidade de conformidade e prevenção de acidentes.

Entre os principais processos para garantir a segurança em máquinas industriais está a apreciação de riscos, cujo é respaldado por normas técnicas como a ISO 12100, a ISO 13849-1 — que trata das partes do sistema de comando relacionadas à segurança — e a EN 60204-1, que aborda os requisitos para equipamentos elétricos de máquinas (EN..., 2022). Antes de abordá-la diretamente, é importante destacar o papel das normas ISO, que estabelecem padrões internacionais reconhecidos para promover a segurança, qualidade e eficiência em diversos setores da indústria.

Nesse contexto das ISO, destaca-se a ABNT NBR ISO 12100:2013, que trata especificamente da segurança de máquinas, processo que envolve a identificação, avaliação e controle dos riscos associados à operação de máquinas e equipamentos, definindo que a apreciação de riscos é um conjunto de etapas sistemáticas que permite avaliar de forma abrangente os perigos presentes nas máquinas (NBR..., 2013). Estudos recentes demonstram que a correta aplicação da ISO 12100 tem um papel decisivo na prevenção de acidentes com máquinas, sendo essencial que as empresas não apenas sigam suas diretrizes, mas compreendam seus princípios de forma técnica e aprofundada (Wang; al., 2023).

Complementarmente, destaca-se também a ABNT NBR ISO 13849-1:2019, norma

que trata dos requisitos de segurança para sistemas de comando de máquinas, com foco na confiabilidade funcional. Esta norma introduz o conceito de *Performance Level* (PL), que permite avaliar quantitativamente a eficácia das funções de segurança implementadas nos sistemas de comando, considerando fatores como a gravidade das possíveis lesões, a frequência de exposição ao risco e a capacidade de detecção de falhas. De forma que, a correta aplicação da ISO 13849-1, é essencial para a definição de sistemas de segurança robustos e para assegurar que as funções críticas mantenham sua integridade diante de possíveis falhas (NBR. . . , 2019).

A aplicação adequada dessas normas, como a ISO 12100 e a ISO 13849-1, é fundamental para orientar a definição das funções de segurança necessárias e para a implementação de medidas eficazes de proteção nas máquinas industriais.

Nesse contexto, uma das metodologias amplamente utilizadas para subsidiar essa aplicação prática é a Análise Preliminar de Risco (APR), ferramenta que visa antecipar e reduzir perigos desde as fases iniciais do projeto ou da operação. A APR é essencial na adequação à NR12, pois permite a avaliação e proposição de medidas preventivas e corretivas para a mitigação de riscos ocupacionais (Costa; Pereira, 2019). Além disso, especialistas alertam que a eficácia das análises de risco pode ser comprometida se fatores humanos, como erro operacional e percepção de risco, não forem devidamente integrados ao processo (Martins; Leão, 2013).

Apesar de a NR12 abordar majoritariamente os aspectos físicos e mecânicos das máquinas, muitas delas operam com sistemas elétricos integrados, o que demanda a consideração simultânea da NR10. Essa norma trata da segurança em instalações e serviços com eletricidade, abrangendo o projeto, a operação e a manutenção de sistemas elétricos, o que faz com que sua aplicação seja crucial para proteger os trabalhadores contra choques, arcos elétricos e outros riscos invisíveis, porém fatais.

Assim, a integração dos requisitos da NR10 ao processo de adequação à NR12 representa uma abordagem alinhada às melhores práticas internacionais, considerando inclusive a norma europeia EN 60204-1, que trata especificamente da segurança de equipamentos elétricos de máquinas (EN. . . , 2022). Conforme estudos nacionais realizados, a integração entre a NR12 e a ISO 12100, aliada à NR10, fortalece a padronização e clareza dos processos de adequação de máquinas, promovendo maior eficiência e segurança (NR12. . . , 2021).

Entretanto, ainda é comum que muitas indústrias enfrentem dificuldades na implementação das exigências da NR12, seja por desconhecimento, limitações técnicas e financeiras, ou mesmo por falhas na gestão da segurança ocupacional. Entre as principais barreiras destacam-se a escassez de mão de obra especializada, o alto custo de adequação e o desconhecimento técnico da norma, conforme observado em estudos de campo (Oliveira; Santos, R. D., 2022).

Diante disso, este trabalho tem como objetivo propor o desenvolvimento de uma

APR aplicada a um projeto real de adequação de máquina industrial à NR12, de forma a subsidiar a identificação de perigos, a avaliação de riscos e a definição de medidas corretivas necessárias para a conformidade técnica e legal. Para tanto, será apresentado um estudo de caso realizado por uma empresa do setor de automação industrial, detalhando todas as etapas do processo de adequação, desde o diagnóstico inicial até a emissão do laudo técnico de conformidade da máquina. Estudos de caso, como o apresentado neste trabalho, têm se mostrado fundamentais para traduzir os requisitos normativos em ações práticas e viáveis no ambiente industrial, permitindo a verificação da eficácia da aplicação das normas em situações reais e complexas.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Na grande parte do setor industrial brasileiro, a falta de adequação à NR12 dos equipamentos e máquinas utilizados ocorre principalmente porque a segurança do trabalhador não é tratada como prioridade, sendo frequentemente colocada em segundo plano em relação à produtividade. Historicamente, muitas máquinas e equipamentos adquiridos e instalados há décadas foram colocados em operação sem qualquer preocupação com a conformidade às normas de segurança vigentes, fato evidenciado por estudos que apontam a ausência de dispositivos de proteção e práticas sistematizadas de análise de riscos em máquinas anteriores à regulamentação da NR12 (Guerra *et al.*, 2021), conforme será aprofundado na Seção 2.1, que apresenta alguns estudos aplicados à segurança no ambiente industrial. No entanto, foi somente com a reformulação significativa ocorrida em 2010 que suas exigências passaram a ser mais específicas, rigorosas e efetivamente fiscalizadas, tornando-se um marco para a consolidação de sua aplicação prática nas indústrias (NBR... , 2019).

Essa realidade se agrava quando se observa que o cumprimento da NR12 não é apenas uma boa prática de gestão, mas uma obrigação legal, em que a exigência de sua aplicação está prevista no artigo 157 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), que determina que as empresas devem cumprir e fazer cumprir as normas de segurança e medicina do trabalho, sendo a NR12 uma dessas normas regulamentadoras. Dessa forma, o descumprimento dessa norma implica não só em falhas operacionais e riscos à integridade física dos trabalhadores, mas também em sanções jurídicas para os empregadores (Brasil, 1943).

O contexto de responsabilidade legal, aliado à complexidade técnica e financeira do processo de adequação, ajuda a explicar por que tantas empresas ainda não se adequaram completamente à NR12. A implementação da norma nas máquinas industriais pode exigir modificações estruturais nos equipamentos, ajustes elétricos e mecânicos, além da emissão de laudos e certificações. Nas quais, tais exigências, acabam levando muitas organizações a postergarem as mudanças, o que reforça a necessidade de aprofundar a compreensão sobre os desafios enfrentados nesse processo.

Entender essas dificuldades permite reconhecer também os benefícios da conformidade, não apenas em termos de segurança para os trabalhadores, mas também como fator de melhoria da produtividade, redução de passivos trabalhistas e fortalecimento da imagem institucional.

Diante disso, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma APR aplicada a um projeto de adequação de máquina industrial à NR12, com o objetivo de subsidiar a identificação sistemática de perigos, a avaliação dos riscos e a definição de medidas de controle que atendam aos requisitos técnicos e legais vigentes. A metodologia adotada visa contribuir para uma aplicação prática e eficiente das normas de segurança no ambiente industrial, com base em um estudo de caso real de uma empresa do setor de automação industrial.

Pergunta de Pesquisa: Quais são os critérios e etapas fundamentais para o desenvolvimento de uma APR aplicada à adequação de máquinas industriais conforme os requisitos da NR12?

1.2 JUSTIFICATIVA

A adequação das máquinas industriais à NR12 desempenha um papel essencial na preservação da integridade física dos trabalhadores, contribuindo para a mitigação de riscos de acidentes e a promoção de ambientes laborais mais seguros. Apesar disso, observa-se que, no cenário industrial brasileiro, a segurança ainda é frequentemente negligenciada em função da priorização da produção. Muitas empresas mantêm equipamentos antigos operando sem qualquer tipo de adaptação, postergando a implementação da norma até a ocorrência de acidentes graves ou até serem compelidas por fiscalizações e sanções legais (Oliveira; Santos, R. D., 2022).

Essa resistência à adequação está, muitas vezes, relacionada aos custos elevados e à complexidade técnica do processo, que pode envolver desde a modernização de componentes até a implementação de sistemas de segurança, ajustes mecânicos e elétricos, emissão de laudos e certificações (PRISMA ENGENHARIA, 2024). Soma-se a isso a cultura organizacional presente em muitas indústrias, em que a segurança ainda não é tratada como parte estratégica da operação (Oliveira; Santos, R. D., 2022).

Este estudo se justifica pela necessidade de compreender os reais impactos da conformidade com a NR12, tanto na segurança dos trabalhadores quanto na performance operacional das empresas. Através da proposição e desenvolvimento de uma APR aplicada a um projeto real de adequação, pretende-se mensurar os riscos identificados, propor medidas corretivas adequadas e analisar os benefícios observados após a intervenção.

Ao apresentar um estudo de caso real, busca-se demonstrar como a aplicação estruturada da NR12 pode resultar em ambientes de trabalho mais seguros, redução de acidentes e também ganhos indiretos, como maior confiabilidade operacional, valorização da imagem institucional e diminuição de passivos trabalhistas. Com isso, espera-se incen-

tivar a adoção consciente e estratégica da NR12 no setor industrial brasileiro, não apenas como exigência legal, mas como investimento em segurança e eficiência produtiva.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Propor o desenvolvimento de uma APR aplicada a um projeto real de adequação de máquina industrial à NR12, visando subsidiar a identificação de perigos, a avaliação de riscos e a definição de medidas corretivas e preventivas, de forma a atender aos requisitos técnicos e legais vigentes e contribuir para a melhoria das condições de segurança no ambiente industrial.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar e classificar os perigos existentes na máquina industrial analisada, com base nas diretrizes da NR12 e normas técnicas correlatas;
- Desenvolver a APR, estabelecendo critérios de avaliação de risco que considerem a severidade do dano, a frequência de exposição e a possibilidade de evitar o perigo;
- Propor medidas de controle adequadas para a mitigação dos riscos identificados, priorizando a eliminação, redução ou proteção contra os perigos;
- Validar a aplicação prática das medidas propostas por meio de análise documental e registros técnicos do estudo de caso;
- Evidenciar a importância da APR como ferramenta de suporte na adequação de máquinas industriais à NR12, promovendo a conformidade normativa e a segurança operacional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SEGURANÇA NO AMBIENTE INDUSTRIAL

A segurança no ambiente industrial é uma das principais preocupações das empresas que buscam garantir a integridade física dos trabalhadores, a continuidade dos processos produtivos e a conformidade com a legislação vigente. Tendo em vista que, esse ambiente, está frequentemente sujeito a riscos ocupacionais diversos, como choques elétricos, quedas, queimaduras, exposição a agentes nocivos e entre outros, a segurança do trabalho é uma função essencial dentro das organizações modernas, sendo um fator de influência direta na motivação dos colaboradores e na eficiência das operações.

Para a prevenção de tais eventos, são adotadas políticas de Segurança e Saúde no Trabalho (SST), que consistem em um conjunto de medidas técnicas, médicas e educacionais destinadas à prevenção de acidentes e doenças ocupacionais. Sendo que, essas políticas, são baseadas em normas técnicas específicas, treinamentos contínuos, utilização de sinalizações de segurança, implementação de dispositivos de proteção e adoção de rotinas operacionais padronizadas (Mendes; Dias, 1991). De forma que, a implementação sistemática dessas ações, é fundamental para promover uma cultura de segurança que valoriza a prevenção e a responsabilidade compartilhada entre empregadores e empregados (Martins; Leão, 2013).

Segundo (Costa; Pereira, 2019), empresas que investem em segurança do trabalho tendem a apresentar melhores índices de produtividade e maior estabilidade operacional, pois a redução de acidentes impacta diretamente na eficiência do processo produtivo e na motivação da equipe. Além disso, a ausência de medidas preventivas pode resultar em prejuízos financeiros consideráveis, incluindo custos com afastamentos, indenizações, processos judiciais e danos à imagem institucional da empresa (Mendes; Dias, 1991).

Nesse contexto, a segurança do trabalho deixa de ser apenas uma exigência legal e passa a ser um elemento estratégico dentro da gestão organizacional. De modo que, a gestão eficaz de segurança, agrega valor à empresa, aumenta a competitividade e promove a sustentabilidade das operações no longo prazo (Groover, 2007).

Esse papel estratégico, no entanto, não elimina o caráter obrigatório da segurança do trabalho. No Brasil, o arcabouço legal é robusto e estabelece deveres claros para empregadores e trabalhadores, em que, a legislação brasileira, por meio da CLT e das NRs, define critérios obrigatórios para garantir ambientes de trabalho seguros, que de acordo com o artigo 157 da CLT, é de responsabilidade do empregador cumprir e fazer cumprir as normas de segurança e medicina do trabalho, implementando medidas capazes de proteger a saúde e a integridade física dos seus empregados (Brasil, 1943).

Com isso, a aplicação prática desses princípios de segurança pode ser observada em estudos que ilustram como a adequação de máquinas segundo a NR12 resulta em melhorias efetivas nas condições de trabalho. Em (Guerra *et al.*, 2021)), por exemplo, foi

realizado um projeto de adequação de um moinho de bolas em uma empresa de Minas Gerais, identificando riscos associados a zonas de esmagamento e cisalhamento. Como medidas corretivas, foram instaladas proteções físicas fixas, dispositivos de parada de emergência e adequações no circuito elétrico com sistemas redundantes. Com a avaliação posterior realizada, foi indicado uma redução de 60% nos riscos críticos, com conformidade plena à NR12. Segundo os autores, “a mitigação efetiva dos riscos proporcionou melhorias substanciais no ambiente de trabalho e reduziu significativamente o potencial de acidentes” (Guerra *et al.*, 2021).

Outro exemplo significativo é apresentado por (Santos, P. *et al.*, 2024), que analisaram a conformidade de oficinas de usinagem com a NR12 por meio de auditorias técnicas e checklists. Dos 25 postos de trabalho avaliados, 72% apresentavam ausência de proteções adequadas. Após a implementação de melhorias, como proteções móveis, reformulação de comandos e sinalizações visuais e sonoras, foi registrada uma redução de 48% nas não conformidades. Com isso, os autores destacam que a adequação resultou não apenas em maior segurança, mas também em um aumento de 18% na produtividade das oficinas (Santos, P. *et al.*, 2024).

Esses casos reforçam que a adoção estruturada das diretrizes da NR12 e normas complementares (Costa; Pereira, 2019) possibilita, além da mitigação de riscos operacionais, ganhos expressivos em produtividade, eficiência e cultura organizacional. A análise de experiências reais demonstra que a conformidade com as normas técnicas promove transformações concretas no ambiente de trabalho, reduzindo acidentes, fortalecendo a confiança dos trabalhadores e otimizando os processos produtivos. Dessa forma, a gestão ativa de riscos e a aplicação das normas de segurança devem ser compreendidas como estratégias essenciais para a sustentabilidade, competitividade e responsabilidade social no setor industrial.

2.2 NORMA REGULAMENTADORA N°12 (NR12)

A Norma Regulamentadora N° 12 (NR12), instituída em 8 de junho de 1978 pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), estabelece diretrizes técnicas e medidas de proteção voltadas à segurança no uso de máquinas e equipamentos industriais, de forma que seu principal objetivo é garantir a integridade física e a saúde dos trabalhadores, assegurando que todas as fases do ciclo de vida dos equipamentos — desde o projeto, fabricação, transporte, montagem, operação, manutenção até sua desativação — atendam a requisitos mínimos de segurança (Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego, 2022).

A norma é aplicável a todas as máquinas e equipamentos utilizados no ambiente de trabalho, sejam novos ou antigos, nacionais ou importados, independentemente do ano de fabricação. Ela se aplica a todos os setores da indústria, excetuando-se apenas os casos em que normas específicas de segurança prevaleçam, como por exemplo, equipamentos hospitalares, agrícolas ou veículos automotores fora do contexto fabril. Dessa forma,

sua abrangência é ampla, sendo uma referência obrigatória em ambientes industriais e produtivos (Santos, P. *et al.*, 2024).

Os princípios que regem a NR12 incluem a eliminação ou redução dos riscos nas fases iniciais do projeto das máquinas, a adoção de proteções físicas e dispositivos de segurança confiáveis, a facilitação da manutenção segura, a sinalização adequada de perigos, a capacitação dos operadores e a responsabilização dos empregadores quanto ao fornecimento de condições seguras de trabalho. Com isso, a norma estabelece uma abordagem proativa e integrada à segurança, fundamentada na antecipação e no controle dos riscos ocupacionais (Oliveira; Santos, R. D., 2022).

Apesar de sua criação na década de 1970, a NR12 teve aplicação limitada por muitos anos devido à redação genérica de seu texto original e à baixa fiscalização. De modo que, apenas em 2010, com a publicação da Portaria nº 197, a norma passou por uma reformulação profunda, tornando-se mais detalhada, técnica e abrangente. Tal revisão representou um marco para o setor industrial, ao incorporar exigências específicas como dispositivos de parada de emergência, proteções físicas fixas e móveis, sistemas de segurança integrados, sinalizações obrigatórias e requisitos para trabalho em altura e em espaços confinados (Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego, 2022).

Além de sua obrigatoriedade legal, a NR12 se destaca por seu alinhamento com normas técnicas internacionais, como a ABNT NBR ISO 12100:2013, que trata dos princípios gerais para apreciação e redução de riscos em máquinas. Esse alinhamento confere maior credibilidade técnica à norma e reforça sua importância como instrumento eficaz de gestão da segurança industrial. Segundo Wang *et al.* (2023), a aplicação da ISO 12100 e suas equivalentes nacionais, como a NR12, contribui de forma decisiva para a prevenção de acidentes graves e para a melhoria dos processos de concepção e adequação de equipamentos (Martins; Leão, 2013).

A NR12 também incentiva uma atuação multidisciplinar, envolvendo engenharia mecânica, elétrica, automação e segurança do trabalho, promovendo uma abordagem integrada para o controle de riscos. Conforme apontado por (Costa; Pereira, 2019), esse caráter integrativo facilita a aplicação prática das exigências legais e estimula a melhoria contínua nas empresas, promovendo a sinergia entre os setores técnicos e operacionais.

Por fim, ao exigir o monitoramento das condições operacionais das máquinas e a revisão periódica das medidas de segurança implantadas, a NR12 contribui diretamente para a construção de ambientes industriais mais seguros, organizados e sustentáveis (Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego, 2022). A norma é reconhecida como um marco técnico e legal no cenário nacional, sendo fundamental tanto para a conformidade normativa quanto para o desenvolvimento de uma cultura organizacional voltada à prevenção.

2.3 REFERENCIAIS NORMATIVOS

O desenvolvimento da Análise Preliminar de Riscos e dos projetos de adequação à NR12 baseiam-se em um conjunto robusto de normas nacionais e internacionais que garantem a segurança técnica e jurídica das decisões tomadas, oferecendo diretrizes metodológicas, requisitos técnicos e critérios de validação para cada fase do processo de análise e controle de riscos (NBR. . . , 2013).

É importante destacar que nem todas as normas apresentadas são aplicadas simultaneamente em todos os projetos, pois isso depende da natureza da máquina analisada, do seu nível de automação, do grau de risco identificado e das exigências legais envolvidas. Contudo, todas as normas a seguir compõem o corpo técnico de referência adotado neste trabalho e são regularmente utilizadas pela empresa executora em seus processos de avaliação e adequação de máquinas industriais (Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego, 2022).

A condução da APR e dos projetos de adequação à NR12 exige o embasamento em um conjunto robusto de normas técnicas e legislações que oferecem segurança técnica, jurídica e metodológica às decisões adotadas. Tais normas fornecem parâmetros para a identificação de perigos, análise e avaliação dos riscos, bem como para o projeto, implementação e verificação das medidas de controle.

O conjunto de referenciais utilizados abrange tanto a legislação nacional brasileira, como a CLT e as NRs, quanto as normas técnicas da ABNT e de organismos internacionais como ISO, IEC e EN. Desse modo, a seleção das normas aplicadas em cada projeto depende da natureza da máquina, do grau de automação, do nível de risco identificado e das exigências legais envolvidas. Contudo, o conjunto apresentado a seguir representa a base técnica adotada neste trabalho, sendo referência nos processos de avaliação e adequação realizados pela empresa executora.

Para fins didáticos e de clareza, as normas estão organizadas na Tabela 1 a seguir em função das etapas que compõem a APR, conforme estabelecido na ABNT NBR ISO 12100:2013

Tabela 1 – Normas técnicas aplicadas por etapa da Análise Preliminar de Riscos (APR)

Etapas da APR	Objetivo	Principais Normas Aplicadas
1. Levantamento de Riscos e Avaliação Inicial	Identificação de perigos, definição preliminar dos riscos e estruturação da APR	NR12 (itens sobre apreciação de risco); ABNT NBR ISO 12100:2013; ISO 14121 / EN 1050
2. Definição das Medidas de Controle	Proposição de proteções físicas, dispositivos de segurança e medidas administrativas	NR12 (Anexo IX para prensas); ABNT NBR NM 272:2002 e NM 273:2002; ABNT NBR 13759:1996; ISO 14119:2013; EN 693; ISO 13857 / ISO 13852 / ISO 13853
3. Projeto e Validação dos Sistemas de Segurança	Definição do PL, categorias de segurança, arquitetura de controle, redundância e validação dos sistemas	ABNT NBR ISO 13849-1:2019; ABNT NBR ISO 13849-2:2019; ABNT NBR 14153:2013; IEC 60204-1; IEC 61496-1 e 2; ISO/TS 15066; IEC 61508
4. Verificação Técnica e Emissão de Laudos	Inspeção, documentação, testes e emissão de laudos conforme exigências técnicas e legais	NR12 (verificação e documentação); ABNT NBR ISO 13849-2:2019; NR10; IEC 60204-1; CLT, Art. 157; ISO 13851

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A articulação entre normas nacionais — como a NR12 e as normas da ABNT — e normas internacionais — como ISO, IEC e EN — assegura não apenas a conformidade legal dos projetos de adequação, mas também sua robustez técnica, proporcionando uma base metodológica consistente para a análise e mitigação de riscos em máquinas, promovendo a segurança funcional ao longo de todo o ciclo de vida do equipamento. Essa abordagem está alinhada com as diretrizes do MTE, que recomenda a utilização combinada de normativas nacionais e internacionais para garantir a efetividade das medidas de controle aplicadas (Brasil. Ministério do Trabalho, 2018).

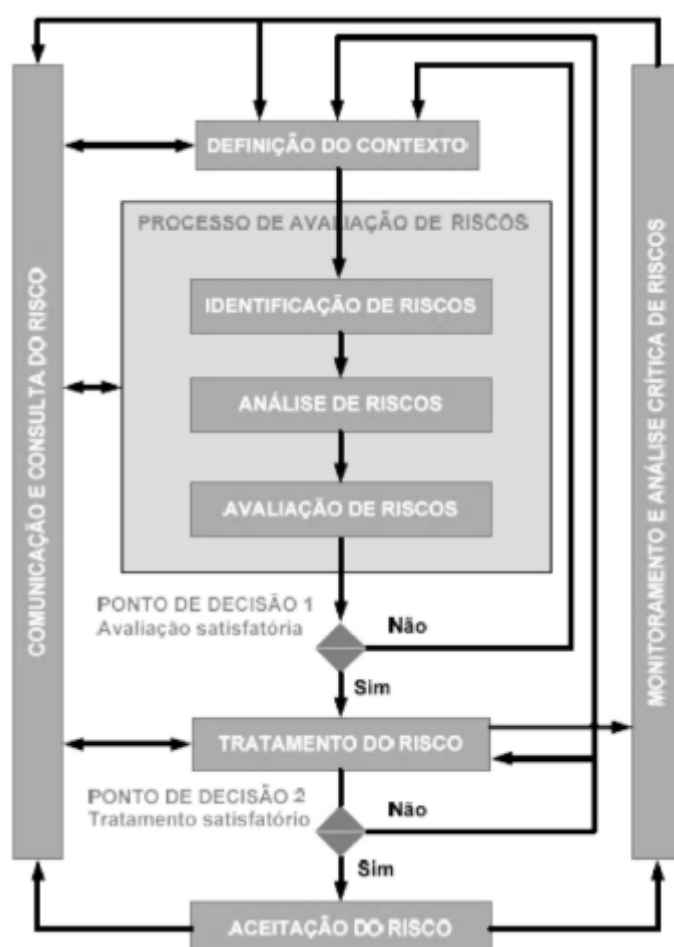
2.4 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)

A Análise Preliminar de Riscos (APR) é uma metodologia sistemática utilizada para identificar, analisar e avaliar riscos potenciais antes que eles resultem em acidentes ou falhas operacionais. Tratando-se de uma técnica qualitativa, ela visa antecipar situações perigosas, especialmente nas fases iniciais de um projeto, processo ou operação, permitindo a definição de medidas corretivas e preventivas ainda na fase de planejamento (Costa; Pereira, 2019).

De acordo com a (NBR. . . , 2013), referência central na segurança de máquinas, o processo de apreciação de riscos deve ser estruturado em quatro etapas principais, sendo

elas: identificação dos perigos, análise ou estimativa do risco, avaliação do risco e definição de medidas de mitigação, conforme apresentado na Figura 1. Dessa forma, a APR, segundo a ISO 14121-1 (NBR... , 2007), pode ser integrada a esse processo como ferramenta inicial, sendo particularmente recomendada quando ainda não há dados históricos suficientes sobre falhas, ou quando se pretende projetar medidas de segurança com base em análises prospectivas. Por esse motivo, ela é amplamente empregada em ambientes industriais dinâmicos, sujeitos a alterações de layout, introdução de novas tecnologias, mudanças operacionais ou adaptações de máquinas existentes.

Figura 1 – Fluxograma de avaliação dos riscos.



Fonte: Adaptado de Tribunal de Justiça do Estado do Paraná (2023).

(Martins; Leão, 2013) destacam que a eficácia da APR está diretamente associada à participação de uma equipe multidisciplinar e à utilização de ferramentas estruturadas, como listas de verificação, diagramas de causa e efeito e matrizes de risco. De forma que, a integração entre áreas técnicas — como engenharia de segurança, manutenção e operação — é essencial para a identificação adequada dos perigos e das possíveis consequências.

Embora existam variações na aplicação da APR, os princípios fundamentais mantêm-

se consistentes: antecipação de riscos, sistematização da análise, priorização de intervenções e integração com as decisões de projeto ou adequação. Essa abordagem permite não apenas a conformidade com normas como a NR12, mas também uma melhoria contínua nos processos industriais.

A literatura técnica reconhece a APR como um instrumento essencial na gestão moderna de segurança, principalmente por sua capacidade de direcionar medidas de controle baseadas em evidências e critérios normativos. Já o seu uso recorrente em projetos de adequação contribui para ambientes de trabalho mais seguros e juridicamente protegidos, além de otimizar recursos técnicos e organizacionais (Costa; Pereira, 2019);(Guerra *et al.*, 2021)

2.4.1 Identificação dos Riscos

Segundo a (NBR... , 2013), a identificação de riscos é a primeira etapa do processo de apreciação de riscos, com o objetivo de localizar sistematicamente todos os perigos associados a uma máquina, suas partes componentes e suas interações com o operador e o ambiente ao seu redor. Tal identificação deve ser aplicada a todas as fases do ciclo de vida do equipamento: projeto, instalação, operação, manutenção e desativação, sendo importante compreender, desde essa etapa inicial, a distinção conceitual entre perigo e risco: o primeiro diz respeito a uma fonte ou situação com potencial de causar danos (por exemplo, uma superfície cortante exposta), enquanto o risco representa a probabilidade combinada com a gravidade do dano que pode ocorrer a partir da exposição a esse perigo.

De acordo com a mesma norma, o termo evento perigoso refere-se à combinação de uma situação perigosa com uma condição operacional que pode levar à exposição ao perigo. Assim, essa etapa não visa ainda quantificar ou avaliar o risco, mas sim levantar os perigos e os eventos perigosos de forma sistemática e abrangente, estabelecendo as bases para as etapas seguintes da análise.

Diversos autores na literatura técnica, como (Costa; Pereira, 2019) e (Guerra *et al.*, 2021), além das diretrizes presentes na NR12 (Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego, 2022), recomendam que essa identificação seja realizada com metodologias estruturadas e compatíveis com a complexidade da máquina analisada, pois o uso de métodos sistemáticos evita omissões e garante que todos os riscos relevantes sejam considerados. Dentre as técnicas mais aplicadas para essa finalidade, destacam-se:

- Checklists de perigos conhecidos, baseados em normas como a própria ISO 12100 e a NR12;
- Inspeções visuais sistematizadas e análise funcional do equipamento;
- Estudo do ciclo de operação da máquina, identificando pontos críticos como zonas de corte, esmagamento, cisalhamento, partida inesperada, entre outros;

- Consulta a manuais técnicos, registros de falhas anteriores e relatos de operadores.

A norma ISO 14121:2007 (NBR..., 2007) complementa essa abordagem ao fornecer diretrizes adicionais sobre a identificação de perigos e a documentação dos resultados, em que os perigos devem ser classificados conforme sua natureza, como:

- Perigos mecânicos (movimento, aprisionamento, projeção de partes);
- Perigos elétricos (choque, arco elétrico, descarga eletrostática);
- Perigos térmicos (superfícies quentes ou frias, líquidos em alta temperatura);
- Perigos relacionados a ruído, vibração, radiação, ergonomia e falhas de controle lógico.

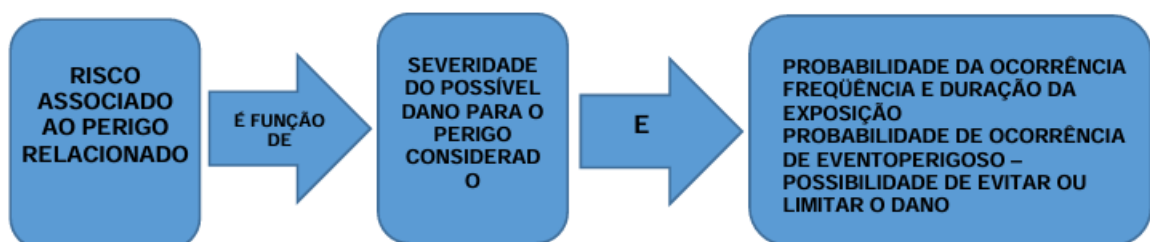
É importante destacar que o foco desta etapa inicial está exclusivamente no levantamento dos perigos, pois qualquer omissão nesta fase pode comprometer as etapas seguintes da análise, não envolvendo ainda a qualificação do risco.

2.4.2 Análise dos Riscos

A análise de riscos é a segunda etapa do processo de apreciação de riscos e tem como objetivo estimar o nível de risco associado a cada perigo identificado, sendo que cada estimativa é feita com base em critérios definidos em normas técnicas como a ABNT NBR ISO 12100:2013 e a ISO 14121:2007, descritas na Seção 2.3, que determinam que o risco é em função da severidade do dano, da frequência de exposição, da probabilidade de ocorrência e da possibilidade de evitar ou limitar o dano.

A Figura 2 ilustra esse conceito, mostrando que o risco associado a um perigo é resultado da combinação entre a gravidade potencial do dano e os fatores ligados à probabilidade de sua concretização.

Figura 2 – Fatores que compõem o risco associado a um perigo.



Fonte: *Elaborado pelo autor (2025).*

Com base nessas diretrizes, diversos métodos podem ser utilizados para quantificar ou estimar o risco, sendo que, dentre eles, o mais utilizado é o método HRN, proposto originalmente pela *Health and Safety Executive* (REDUCING..., 2001), e amplamente

adotado como ferramenta quali-quantitativa para análise de riscos ocupacionais e de máquinas, recebendo, cada fator, uma pontuação conforme tabelas pré-definidas, baseadas em critérios técnicos e operacionais, tendo como resultado final uma equação, podendo esta ser interpretada em uma tabela final de classificação de riscos (que será abordado na próxima etapa).

O método HRN determina o nível de risco a partir da multiplicação de quatro fatores:

- **Número de Pessoas (NP)**

Esse fator, identificado na Tabela 2, estima quantos trabalhadores estão simultaneamente expostos ao mesmo perigo. Quanto maior o número, maior o risco associado. A pontuação varia de 1 (uma pessoa ocasionalmente) até 10 (várias pessoas expostas continuamente).

Tabela 2 – Número de Pessoas sob o Risco (NP)

Fator	Número de Pessoas (NP)
1,0	1 a 2 pessoas
2,0	3 a 7 pessoas
4,0	8 a 15 pessoas
8,0	16 a 50 pessoas
12,0	Mais de 50 pessoas

Fonte: Adaptado de Künzel; Rodrigues (2019).

- **Frequência e Duração da Exposição (FE)**

Conforme demonstrado na Tabela 3, refere-se à frequência com que os trabalhadores acessam a zona de risco e Dpor quanto tempo permanecem expostos. A pontuação varia de 0,50 (exposição muito rara) até 5,00 (exposição contínua ou permanente).

Tabela 3 – Frequência de Exposição (FE)

Fator	Frequência (FE)
0,50	Anualmente
1,00	Mensalmente
1,50	Semestralmente
2,50	Diariamente
4,00	Em termos de horas
5,00	Constantemente

Fonte: Adaptado de Künzel; Rodrigues (2019).

- **Probabilidade de Ocorrência (LO)**

O fator, conforme demonstrado na Tabela 4, avalia a chance de o evento perigoso ocorrer, levando em conta fatores como condições de operação, manutenção e confiabilidade do equipamento. A pontuação varia de 0,033 (quase impossível) até 15 (certeza).

Tabela 4 – Probabilidade de Ocorrência (LO)

Fator	Probabilidade de Ocorrência (LO)	
0,033	Quase Impossível	Circunstâncias extremas
1	Altamente Improvável	Mas pode ocorrer
1,5	Improvável	Embora concebível
2	Possível	Mensalmente
5	Alguma Chance	Semanalmente (pode acontecer)
8	Provável	Diariamente (sem surpresas)
10	Muito Provável	Em termos de hora (esperado)
15	Certeza	Constantemente (sem dúvida)

Fonte: Adaptado de Künzel; Rodrigues (2019).

- **Grau da Possível Lesão (DPH)**

A Tabela 5 representa a severidade potencial do dano, caso o evento perigoso ocorra. Os níveis vão de lesões leves e reversíveis, como arranhões ou escoriações (pontuação mínima 0,1) até a fatalidade (pontuação máxima 15).

Tabela 5 – Grau da Possível Lesão (DPH)

Fator	Grau da Possível Lesão (DPH)
0,1	Arranhão / Escoriação
0,5	Dilaceramento / Corte / Enfermidade leve
1,0	Fratura leve de ossos - dedos das mãos / dedos dos pés
2,0	Fratura grave de ossos - mão / braço / perna
4,0	Perda de 1 ou 2 dedos das mãos / dedos dos pés
8,0	Amputação perna / mão, perda parcial audição / visão
10	Amputação de 2 pernas / mãos, perda parcial da audição / visão em ambos
12	Enfermidade permanente
15	Fatalidade

Fonte: Adaptado de Künzel; Rodrigues (2019).

Com isso, a combinação desses critérios resulta em um número que representa o nível de risco estimado, sendo esse valor, por si só, não define se o risco é aceitável ou

não — essa decisão é tomada na etapa seguinte, a Avaliação dos Riscos, que interpreta o resultado e orienta ações.

A equação geral do HRN pode ser expressa como:

$$HRN = NP * FE * PO * DPH \quad (1)$$

A partir da aplicação dos critérios apresentados e da fórmula do HRN, obtém-se um valor numérico que representa a magnitude do risco associado a cada perigo identificado, de forma que, tal valor, é o resultado da combinação ponderada de quatro fatores: a probabilidade de ocorrência, a frequência de exposição, a gravidade do dano e o número de pessoas expostas. Assim, a magnitude do risco pode ser compreendida como um índice que expressa, de forma relativa, o potencial de um perigo de gerar consequências indesejadas em determinado contexto operacional.

Esse valor, por si só, ainda não indica se o risco é aceitável, tolerável ou inaceitável — trata-se apenas de uma estimativa técnica inicial, cuja interpretação dependerá de parâmetros de julgamento definidos previamente. A etapa seguinte, portanto, consiste na avaliação dos riscos, em que os valores obtidos são comparados com escalas de referência, conforme apresentado na Tabela 6 a seguir, para determinar a necessidade e a urgência de ações corretivas ou preventivas.

2.4.3 Avaliação dos Riscos

A avaliação dos riscos é a etapa que sucede a análise e tem como objetivo julgar se os riscos estimados são aceitáveis, toleráveis ou inaceitáveis, com base em critérios normativos ou parâmetros internos definidos pela organização. Segundo a (NBR..., 2013) e a (NBR..., 2007), a avaliação consiste na comparação dos valores obtidos durante a análise com níveis de referência, estabelecendo, assim, a urgência e a necessidade de ações de controle.

Enquanto a análise quantifica o risco com base em critérios como frequência de exposição, probabilidade de ocorrência, número de pessoas expostas e gravidade do dano, conforme descrito na Seção 2.4.2, a avaliação interpreta esse resultado dentro de um contexto de decisão técnica, permitindo a definição de prioridades, alocação de recursos e estabelecimento de cronogramas de adequação.

No caso do método HRN, a avaliação se dá pela comparação do valor numérico obtido na Equação (1), sendo o resultado final classificado dentro de uma tabela de interpretação, como exemplificado na Tabela 6, definindo-se as faixas de risco que orientam o profissional responsável sobre os tipos de ações necessárias.

Tabela 6 – Classificação dos riscos com base no valor do HRN.

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

Fonte: Adaptado de Künzel; Rodrigues (2019).

Além da tabela visual, é possível organizar os intervalos de HRN em faixas interpretativas simplificadas, conforme segue:

- **HRN $\leq$ 10:** risco muito baixo – nenhuma ação corretiva necessária;
- **$11 \leq \text{HRN} \leq 40$:** risco moderado – considerar ações corretivas no médio prazo;
- **$41 \leq \text{HRN} \leq 200$:** risco alto – ações corretivas devem ser planejadas e implementadas em curto prazo;
- **HRN $>$ 200:** risco crítico – requer intervenção imediata obrigatória.

Tais categorias funcionam como faixas de decisão, complementando a análise e permitindo uma priorização racional e estruturada das intervenções de segurança, em conformidade com as diretrizes do (Künzel; Rodrigues, 2019a).

Esse tipo de abordagem é especialmente relevante em projetos de adequação à NR12, pois oferece um critério técnico transparente para justificar decisões de investimento, intervenções técnicas e prazos de implementação. Embora a NR12 (Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego, 2022) não estabeleça valores numéricos de referência, ela exige que os riscos sejam avaliados com base em métodos reconhecidos e que todas as decisões sejam documentadas e tecnicamente fundamentadas.

Conforme destacado por (Costa; Pereira, 2019), a avaliação de riscos baseada em critérios normativos auxilia a promover coerência, rastreabilidade e responsabilidade técnica, além de evitar ações arbitrárias e reforçar a governança da segurança nas organizações industriais.

Ao final desta etapa, os riscos são classificados quanto à necessidade de tratamento, servindo como entrada para a próxima fase da apreciação: a definição e implementação das medidas de controle.

2.4.4 Tratamento dos Riscos - Medidas de Controle

Após a identificação, análise e avaliação dos riscos, a etapa seguinte do processo de apreciação consiste no tratamento dos mesmos, sendo que, esta fase, tem como objetivo a definição e aplicação de medidas de controle que possibilitem a redução dos riscos identificados a níveis aceitáveis, ou, preferencialmente, sua eliminação. Para que esse processo seja efetivo, é essencial que as medidas adotadas estejam alinhadas com a gravidade e urgência dos riscos avaliados, bem como com as particularidades técnicas e operacionais da máquina analisada.

De acordo com a ABNT NBR ISO 12100:2013 e com a própria NR12, as medidas de controle devem ser selecionadas com base em uma hierarquia de eficácia, que prioriza ações robustas, permanentes e menos dependentes do comportamento humano. Tal hierarquia, organiza as soluções em quatro níveis principais:

- **Eliminação do risco**, por meio da substituição de processos, produtos ou equipamentos que eliminem o perigo na origem;
- **Redução do risco na fonte (supressão)**, através de modificações estruturais no projeto da máquina ou ajustes operacionais;
- **Proteção contra o risco**, com a instalação de proteções físicas (fixas ou móveis), intertravamentos, sensores e dispositivos de segurança;
- **Medidas administrativas**, como sinalizações visuais, procedimentos operacionais, capacitações e treinamentos.

Dessa forma, a eficácia das medidas adotadas está diretamente relacionada ao seu posicionamento dentro dessa hierarquia: quanto mais próxima do topo, maior sua confiabilidade e independência da ação humana, fator esse que contribui significativamente para a segurança do operador e a conformidade do equipamento com os requisitos legais.

Tal abordagem está em consonância com as orientações do Manual de Aplicação da NR12 do Ministério do Trabalho, o qual reforça que a seleção das medidas de controle deve priorizar a eliminação do risco na origem, por meio de alterações no projeto ou substituições tecnológicas, antes da adoção de proteções físicas ou de medidas administrativas. O manual destaca ainda que, sempre que possível, devem ser evitadas soluções que depen-

dam exclusivamente da atuação do trabalhador, a fim de garantir maior confiabilidade à proteção implementada (Brasil. Ministério do Trabalho, 2018).

2.4.4.1 Categoria Dos Sistemas de Segurança (CAT)

Quando o tratamento de riscos envolve a utilização de sistemas de comando relacionados à segurança, como relés de segurança, sensores, chaves de intertravamento, botões, cortinas de luz, entre outros, se dá por necessário considerar a categoria funcional desses sistemas, desse modo, a norma ABNT NBR ISO 13849-1:2019, as classifica com base na estrutura do sistema de controle, sua redundância e capacidade de detecção de falhas (NBR. . . , 2019).

As categorias (CAT) variam de B (básico) até 4 (máxima confiabilidade), conforme descrito a seguir:

- **CAT B:** Estrutura simples, sem requisitos adicionais de detecção ou redundância.
- **CAT 1:** Dispositivos com confiabilidade "*safety rated*", sem redundância.
- **CAT 2:** Idêntico à CAT 1, porém com monitoramento manual periódico.
- **CAT 3:** Sistemas com redundância (canais duplos) e monitoramento sob demanda.
- **CAT 4:** Sistemas com redundância, diversidade tecnológica e monitoramento contínuo.

Em complemento a essas categorias, de acordo com o Manual de Aplicação da NR12 (Brasil. Ministério do Trabalho, 2018), a definição da categoria adequada aos dispositivos de segurança deve ser estabelecida a partir da avaliação de três fatores de risco: Severidade da lesão (S), Frequência de exposição ao risco (F) e Possibilidade de evitar o perigo (P), de forma que, esses parâmetros, auxiliam na determinação do nível mínimo de confiabilidade exigido para o sistema de comando relacionado à segurança.

Severidade do dano (S): indica a gravidade da consequência caso o risco se concretize. Classifica-se como:

- **S1** – Ferimento leve (normalmente reversível), como escoriações ou cortes superficiais;
- **S2** – Ferimento grave (normalmente irreversível), incluindo amputações ou risco de morte.

Frequência e/ou tempo de exposição (F): representa o tempo e a regularidade com que uma pessoa acessa ou permanece exposta à zona perigosa:

- **F1** – Acesso raro ou relativamente infrequente, com exposição breve;
- **F2** – Acesso frequente ou contínuo, com exposição prolongada.

Possibilidade de evitar o perigo (P): considera a probabilidade de a pessoa conseguir evitar o dano iminente por meio de reação ou afastamento:

- **P1** – Possível sob condições específicas (visibilidade do risco, tempo de reação suficiente);
- **P2** – Quase nunca possível, especialmente em situações de movimentos rápidos ou áreas ocultas.

A correta definição desses parâmetros garante que o sistema de segurança adotado seja proporcional ao risco envolvido, permitindo a seleção precisa da categoria funcional dos componentes e dispositivos de controle de risco.

A Figura 3 a seguir apresenta uma matriz de categorização de riscos que associa os critérios qualitativos apresentados acima às categorias de sistemas de controle.

Figura 3 – Legenda Categoria de Risco NBR 14153.

LEGENDA CATEGORIA DE RISCO NBR 14153						
	B	1	2	3	4	S Severidade do ferimento
	●	●	○	○	○	S1 Ferimento leve (normalmente reversível) S2 Ferimento sério (normalmente irreversível) incluindo morte
	●	●	●	○	○	F Frequência e/ou tempo de exposição ao perigo
		●	●	●	○	F1 Raro a relativamente frequente e/ou baixo tempo de exposição F2 Frequente a contínuo e/ou tempo de exposição longo
		●	●	●	○	P Possibilidade de evitar o perigo
		●	●	●	●	P1 Possível sob condições específicas P2 Quase nunca possível

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 14153:2013.

Ao analisar a imagem apresentada acima, nota-se que os círculos preenchidos ou vazados indicam as combinações recomendadas entre os parâmetros de risco e a arquitetura do sistema de controle. Tal matriz tem como função orientar na seleção da categoria mínima adequada à gravidade do risco identificado, servindo como um elo entre a avaliação qualitativa do risco e as exigências de confiabilidade estrutural do sistema de segurança.

De acordo com o Manual de Aplicação da NR12 (Brasil. Ministério do Trabalho, 2018), a categoria de segurança não deve ser atribuída à máquina como um todo, mas sim às partes do sistema de comando relacionadas à segurança. Cada função de segurança — como parada de emergência, intertravamento ou controle bimanual — deve possuir sua própria categoria, definida com base na apreciação de riscos.

Além disso, o manual destaca também, que as categorias B e 1 são mais dependentes da qualidade e seleção dos componentes, enquanto as categorias 2, 3 e 4 exigem arquiteturas mais estruturadas, com monitoramento periódico, sob demanda ou contínuo, conforme o grau de confiabilidade esperado para a função de segurança considerada.

2.4.4.2 Definição do *Performance Level* (PL)

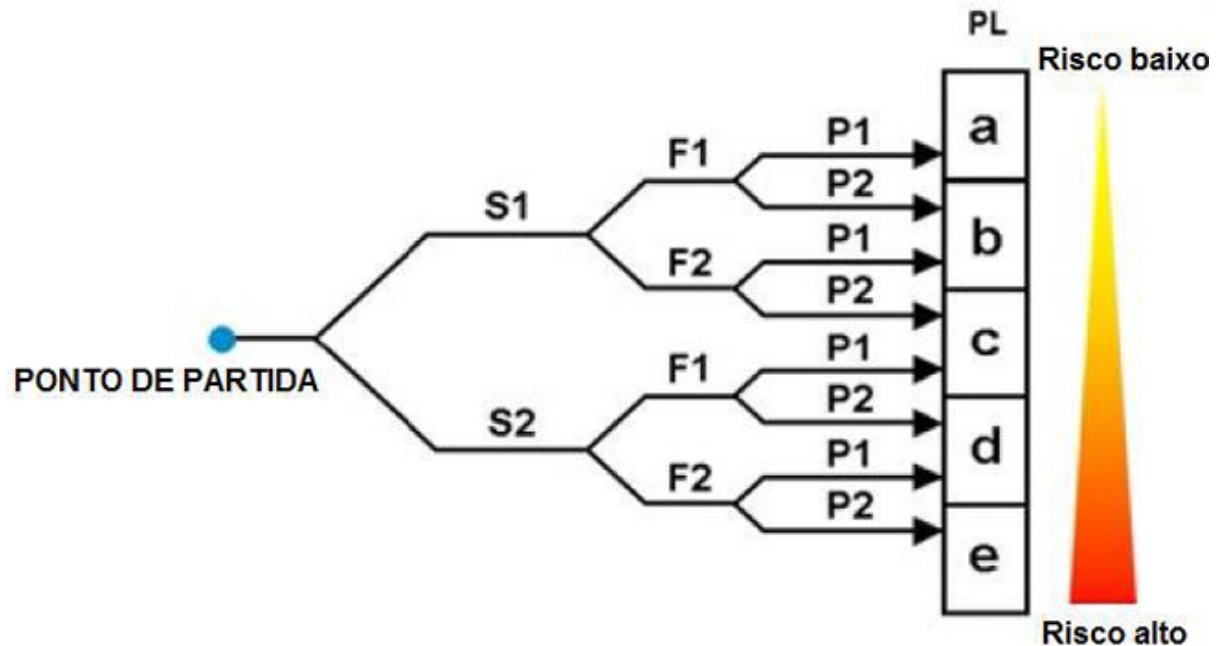
A necessidade da definição do *Performance Level* requerido decorre da abordagem proposta pela ABNT NBR ISO 13849-1:2019, que estabelece que o PL deve ser determinado para os perigos que não puderam ser completamente eliminados e que, por isso, demandam sistemas de comando relacionados à segurança para sua mitigação. Sua definição está inserida no contexto do tratamento dos riscos, auxiliando diretamente no projeto, validação e verificação das medidas adotadas, de forma a garantir a integridade dos operadores e a conformidade técnica do sistema.

Estando diretamente associado ao dimensionamento técnico das medidas de controle, o PL se propõe como uma resposta proporcional ao nível de risco residual diagnosticado nas etapas anteriores — identificação, análise e avaliação dos riscos — influenciando a seleção dos componentes de segurança, a estrutura do circuito e o grau de confiabilidade e monitoramento exigido de cada função.

De acordo com o Manual de Aplicação da NR12 (Brasil. Ministério do Trabalho, 2018), o *Performance Level* requerido (PLr) deve ser estabelecido com base nos mesmos três parâmetros qualitativos utilizados na definição da CAT, sendo eles:

- **S** – Severidade do dano potencial;
- **F** – Frequência e/ou tempo de exposição ao risco;
- **P** – Possibilidade de evitar ou limitar o dano.

Esses parâmetros, anteriormente definidos na Seção 2.4.4.1, são combinados em uma matriz de decisão que resulta no PLr, variando de a (risco baixo) até e (risco elevado). A representação gráfica apresentada na Figura 4 facilita esse processo de decisão ao demonstrar visualmente a progressão do risco e a confiabilidade exigida do sistema de segurança para cada combinação de S, F e P.

Figura 4 – Determinação do *Performance Level* (PL) com base em S, F e P.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 13849-1:2019.

Com isso, conforme demonstrado na figura, a partir do ponto de partida (perigo identificado), são analisadas as condições de severidade, frequência e possibilidade de evasão, em que a intersecção desses parâmetros permite identificar o nível mínimo de desempenho requerido para o sistema de segurança — o PLr — que, por sua vez, deverá ser atendido pelas funções críticas associadas ao risco.

Importante destacar que, assim como ocorre na definição da categoria funcional, o PLr não se aplica à máquina como um todo, mas sim individualmente a cada função de segurança, como: parada de emergência, intertravamento de proteções móveis ou detecção de presença por cortinas de luz. Essa abordagem específica evita tanto o superdimensionamento, que elevaria desnecessariamente o custo do projeto, quanto o subdimensionamento, que comprometeria a segurança funcional.

Por fim, vale ressaltar que, conforme estabelecido na norma, a simples definição do PLr não garante sua conformidade. Para que o sistema atenda efetivamente ao nível de segurança requerido, ele deve também cumprir requisitos quantitativos adicionais, como MTTFd, DC e CCF, os quais serão detalhados na próxima seção.

2.4.4.3 Validação do *Performance Level* (PL)

A validação do PL é a etapa que confirma se as medidas técnicas implementadas atendem ao nível de confiabilidade exigido para cada função de segurança da máquina, em que, de acordo com a ABNT NBR ISO 13849-1:2019 (NBR..., 2019), essa validação

deve considerar de forma integrada os seguintes critérios quantitativos:

- **O MTTFd**, que representa o tempo médio até uma falha perigosa, é normalmente fornecido pelo fabricante dos componentes de segurança (como sensores, relés, CLPs), ou pode ser estimado com base em tabelas normativas e softwares especializados.
- **O DC** é definido de acordo com a capacidade do sistema de detectar falhas automaticamente, sendo também baseado em dados do fabricante e na arquitetura do circuito adotado.
- **O CCF** é avaliado por meio de uma pontuação baseada em checklist normativo, disponível no Anexo F da ISO 13849-1, e considera a diversidade de tecnologia, separação física e outras medidas contra falhas simultâneas de mesma origem.
- **A CAT** é atribuída conforme a estrutura do circuito de comando (topologia, redundância, monitoramento), como discutido na Seção 2.4.4.1.

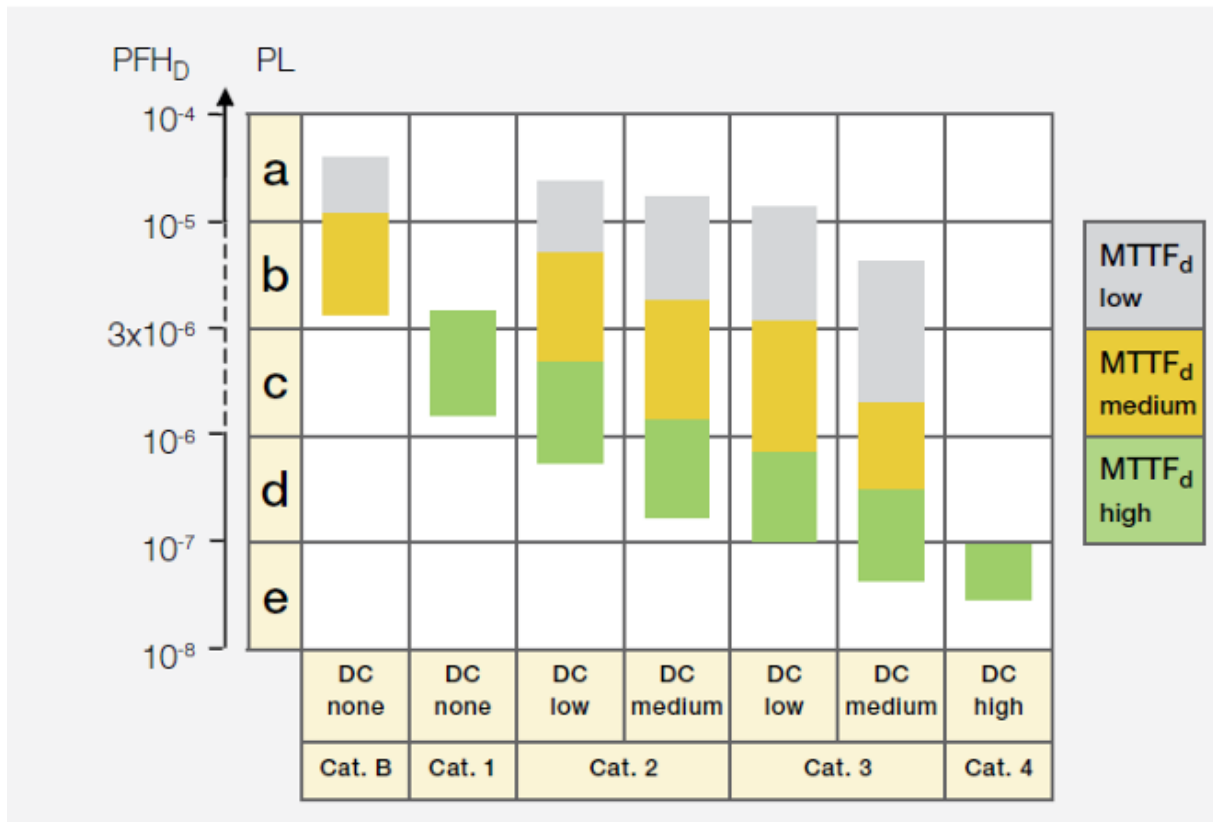
Esses quatro critérios devem ser utilizados em conjunto, e não de forma isolada, pois apenas a integração entre eles permite confirmar que o PL alcançado é compatível com o PLr, definido na Seção 2.4.4.2.

Conforme orientações do Manual de Aplicação da NR12 (Brasil. Ministério do Trabalho, 2018) e da ABNT NBR ISO 13849-2:2019 (NBR..., 2019), esse processo de validação deve seguir um plano formal, contendo os métodos de ensaio, critérios técnicos adotados e documentação completa das funções de segurança avaliadas. Tal plano deve resultar em um relatório auditável, no qual sejam registradas todas as decisões tomadas, os dados utilizados, os ensaios aplicados e as justificativas para cada função de segurança da máquina.

A norma também reforça que a validação deve ser realizada individualmente para cada função de segurança, e não para a máquina como um todo, fator que permite adaptar os níveis de confiabilidade às necessidades específicas de proteção em zonas diferentes da máquina, evitando tanto o subdimensionamento quanto o excesso de soluções desnecessárias.

A integração entre os critérios quantitativos é essencial para assegurar que a função de segurança projetada realmente atenda ao PLr. Com isso, a Figura 5 apresentada a seguir resume visualmente a correlação entre esses quatro parâmetros técnicos e os níveis de PL que podem ser atingidos, em que essa matriz permite verificar, de forma gráfica, se a combinação adotada de arquitetura, confiabilidade e diagnóstico é suficiente para validar tecnicamente o sistema de comando relacionado à segurança.

Figura 5 – Matriz de correlação entre PL, CAT, DC e MTTFd.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 13849-1:2019.

Na figura, observa-se que, à medida que se deseja atingir níveis mais elevados de PL (como PLd ou PLe), há um aumento proporcional nos requisitos de confiabilidade dos componentes (MTTFd), na eficácia da detecção de falhas (DC) e na robustez da arquitetura do sistema (CAT). Essa matriz é uma ferramenta essencial para verificar se a combinação dos elementos utilizados é suficiente para atender às exigências de confiabilidade funcional.

Com isso e com base nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR ISO 13849-1:2019, complementados pelas orientações do Manual de Aplicação da NR12, a etapa de validação do *Performance Level* se dá por indispensável para garantir que as funções de segurança implementadas sejam compatíveis com o risco identificado. De forma que, a aplicação sistemática dos parâmetros técnicos (MTTFd, DC, CCF e CAT), aliada a um processo de validação bem documentado, assegura que o sistema de comando relacionado à segurança ofereça confiabilidade técnica, rastreabilidade normativa e proteção efetiva aos operadores.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

Este presente trabalho configura-se como uma pesquisa de natureza qualitativa e quantitativa (quali-quant), de caráter descritivo e aplicado, de forma que sua abordagem qualitativa se justifica pela análise aprofundada das estratégias, decisões técnicas e práticas adotadas no processo de adequação de uma máquina industrial às exigências da Norma Regulamentadora N°12, permitindo interpretar os critérios utilizados para a escolha das soluções de segurança.

Por outro lado, a abordagem quantitativa decorre da aplicação de ferramentas normativas de análise de riscos, como o método *Hazard Rating Number* (HRN), que utiliza critérios estruturados e fórmulas matemáticas para estimar o nível de risco associado a cada perigo identificado, considerando fatores como severidade, frequência de exposição e probabilidade de ocorrência, conforme estabelecido pelas normas ABNT NBR ISO 12100:2013 (NBR. . . , 2013) e ISO 13849-1:2019 (NBR. . . , 2019).

A pesquisa também, pode-se caracterizar como descritiva, pois busca documentar, de forma sistemática e detalhada, todas as fases do projeto de adequação — desde o diagnóstico inicial até a validação das medidas de controle e a emissão do laudo técnico de conformidade, cuja descrição contribui para o entendimento dos principais desafios enfrentados, bem como das boas práticas empregadas no processo de adequação à NR12.

Além disso, trata-se de uma pesquisa aplicada, pois os conhecimentos gerados têm utilização direta no ambiente industrial, oferecendo subsídios para a tomada de decisão em projetos de segurança de máquinas, com base na legislação vigente e em normas técnicas de referência.

Dessa forma, esta metodologia tem como objetivo orientar a aplicação estruturada da Análise Preliminar de Riscos, integrando abordagens qualitativas e quantitativas para subsidiar a identificação de perigos, análise e avaliação de riscos, definição do *Performance Level* requerido e seleção de medidas de controle conforme as exigências da NR12 e normas internacionais correlatas.

3.2 ETAPAS DA METODOLOGIA APLICADA

Este capítulo apresenta a aplicação prática da metodologia da APR desenvolvida ao longo da fundamentação teórica, agora direcionada à Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, objeto do estudo de caso. A estrutura metodológica utilizada neste projeto de adequação foi baseada no fluxograma apresentado na Figura 1, construído a partir das diretrizes das normas ABNT NBR ISO 12100:2013, ISO 13849-1:2019, NR12 e do Manual de Aplicação da NR12 (Brasil. Ministério do Trabalho, 2018).

A metodologia adotada teve como propósito garantir uma avaliação sistemática,

rastreável e tecnicamente fundamentada dos riscos associados à máquina, permitindo a identificação de falhas, definição de medidas de controle e posterior validação do desempenho funcional das soluções implementadas.

A seguir, descrevem-se as etapas aplicadas no processo de apreciação de riscos, respeitando a sequência lógica estabelecida pela metodologia e seus princípios normativos, em que sua abordagem contempla desde o diagnóstico inicial da máquina até a definição dos parâmetros técnicos utilizados para validação das funções de segurança, sendo que, o detalhamento dos resultados obtidos, será apresentado posteriormente, no Capítulo 4

3.2.1 Diagnóstico Inicial da Máquina

Antes da aplicação sistemática da metodologia de análise de riscos, foi realizado um diagnóstico técnico da condição original da Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, sendo que, nessa etapa preliminar, teve-se como objetivo levantar informações relevantes sobre o estado físico, operacional e funcional da máquina, permitindo contextualizar os riscos e estabelecer uma base objetiva para a elaboração da APR e do Laudo Técnico de Conformidade.

A coleta de dados foi conduzida por meio de inspeção visual em campo, registros fotográficos, observação de ciclos operacionais e análise dos documentos técnicos disponíveis, como manuais, projetos elétricos e *layouts* mecânicos. Além disso, também foram consideradas informações fornecidas por operadores e técnicos de manutenção, de modo a identificar características operacionais recorrentes e eventuais não conformidades evidentes.

3.2.2 Identificação dos Riscos

A primeira etapa da aplicação da metodologia consistiu na identificação dos perigos associados à Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, conforme estabelecido pela ABNT NBR ISO 12100:2013 (NBR..., 2013) e abordado na Capítulo 2, sendo que, essa fase, tem por objetivo levantar todos os perigos presentes nas diferentes zonas da máquina e nas suas interações com o operador e o ambiente de trabalho.

A identificação dos perigos foi conduzida com base na observação direta da máquina em funcionamento, considerando todas as fases do ciclo de vida da máquina: operação, manutenção, limpeza e parada, cruzamento com dados do diagnóstico inicial e referência aos anexos da NR12, especialmente no que diz respeito a prensas hidráulicas e dispositivos de acionamento e parada.

Para garantir rastreabilidade e fundamentação técnica, foi utilizado um modelo de inventário de perigos, conforme exemplificado na Tabela 7, extraído diretamente da APR elaborada para a Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25. Por tratar-se apenas da estruturação do inventário que será preenchido posteriormente, o modelo foi construído

em forma de planilha, em que são listados os elementos da máquina, os perigos identificados, as zonas de acesso e os modos de interação com o operador.

Tabela 7 – Modelo do inventário de perigos aplicado na APR

Função/Tarefa	Atividade	Perigos e Riscos Presentes	Lesão ou Danos Potenciais
Produção	Abastecimento e retirada de produto	-	-
Produção Limpeza	Limpeza interna e externa da máquina	-	-
Produção Setup	Ajuste da posição da mesa frontal e troca de punção	-	-
Manutenção Mecânica	Lubrificação; Desmontagem, remoção de partes, componentes e dispositivos da máquina;	-	-
Manutenção Elétrica	Isolamento e dissipação de energia; Ajustes;	-	-

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Tal sistematização segue as diretrizes apresentadas na ABNT NBR ISO 12100:2013, que recomenda a identificação de perigos por tipo e fase do ciclo de vida da máquina, bem como na ISO/TR 14121-2:2018, a qual sugere modelos tabulares para organizar e documentar os riscos levantados, cujas mesmas foram abordadas na Capítulo 2 e são compatíveis com a prática apresentada no Manual de Aplicação da NR12 (Brasil. Ministério do Trabalho, 2018), que reforça a necessidade de um levantamento estruturado e documentado das zonas perigosas e condições operacionais.

Com isso, todos os perigos foram posteriormente utilizados como base para a aplicação do método de análise de risco (HRN), garantindo que nenhuma situação crítica fosse negligenciada, de forma que a identificação completa dos perigos permitiu compreender a complexidade das interações entre operador e máquina, o que fundamenta tecnicamente as próximas etapas da análise.

3.2.3 Análise de Riscos

Após a identificação sistemática dos perigos associados à Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, foi realizada a análise dos riscos com base no método HRN, conforme descrito na Equação (1). Tal método foi adotado por sua natureza semi-quantitativa, permitindo a combinação de critérios objetivos com julgamento técnico para classificar a magnitude dos

riscos de forma estruturada. Com isso, sua aplicação representa uma etapa intermediária essencial entre o levantamento qualitativo dos perigos e a avaliação técnica dos riscos residuais.

Para cada perigo identificado, foram atribuídos valores aos quatro fatores que compõem a fórmula do HRN, contudo, por mais que os critérios de referência estejam descritos nas Tabela 2 a 5 do Capítulo 2, a definição dos valores utilizados nesta aplicação foi baseada também em aspectos práticos observados em campo. Tais fatores foram definidos conforme os seguintes princípios:

- **Número de Pessoas Expostas (NP)**: estimado com base no número médio de operadores e profissionais de apoio que interagem com a máquina durante os diferentes modos de operação, como produção, limpeza, setup e manutenção.
- **Frequência de Exposição (FE)**: analisada com base na frequência com que o operador entra em contato com cada zona perigosa da máquina. Para essa estimativa, foram considerados tanto os procedimentos operacionais estabelecidos formalmente pela empresa — que descrevem como a tarefa deveria ser executada conforme o protocolo — quanto a forma real como as atividades são de fato realizadas no dia a dia, em que, essa diferença, foi identificada por meio de observações diretas e escuta ativa junto aos operadores e técnicos de manutenção, permitindo considerar desvios de comportamento, atalhos operacionais e práticas consolidadas não documentadas, que influenciam significativamente o risco real.
- **Probabilidade de Ocorrência (LO)**: estimada com base em um julgamento técnico, que considera a frequência potencial com que a situação perigosa pode ocorrer durante o ciclo operacional da máquina, de natureza subjetiva, é conduzido por profissionais da área de segurança do trabalho ou da engenharia, levando em conta a experiência acumulada da empresa em projetos similares, bem como o histórico de funcionamento da Prensa, tratando-se de uma estimativa fundamentada, porém dependente da expertise e da percepção dos especialistas responsáveis pela análise de risco.
- **Grau de Possível Lesão (DPH)**: classificado segundo a energia envolvida na situação de risco e os tipos de lesões plausíveis associadas, sendo complementado por relatos dos técnicos de manutenção quanto aos efeitos de falhas anteriormente observadas ou com potencial de ocorrer.

Tal abordagem, que combina referências normativas com observações práticas e operacionais, permitiu atribuir valores realistas aos fatores que compõem o HRN, mantendo coerência com a metodologia apresentada no Capítulo 2 e com as orientações do Manual de Aplicação da NR12 (Brasil. Ministério do Trabalho, 2018), de forma que, a etapa realizada, foi essencial para transformar os perigos levantados em dados mensuráveis e

comparáveis, servindo de base técnica para a posterior avaliação, classificação e definição de medidas de controle.

3.2.4 Avaliação dos Riscos

Concluída a análise dos riscos por meio da aplicação do método HRN, procedeu-se à avaliação técnica dos mesmos com o objetivo de interpretar os valores numéricos obtidos e determinar sua aceitabilidade, sendo que, essa etapa, conforme descrito na Seção 2.4.3, consiste em enquadrar os riscos em faixas de classificação previamente definidas, fato que permite estabelecer prioridades de intervenção e subsidiar a tomada de decisão técnica quanto às medidas de controle.

Para isso, utilizou-se a Tabela 6, a qual delimita, de forma gradual, os níveis de risco com base em intervalos numéricos, tais como: aceitável, muito baixo, significativo, alto, muito alto, extremo e inaceitável. Dessa forma, essa categorização, adaptada do artigo técnico de (Künzel; Rodrigues, 2019b) e das diretrizes do Manual de Aplicação da NR12 (Brasil. Ministério do Trabalho, 2018), foi adotada por sua clareza e alinhamento com os critérios de priorização estabelecidos pelas normas.

Com isso, a avaliação permitiu estabelecer uma escala objetiva para o julgamento dos riscos identificados na Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, classificando-os de forma proporcional à sua magnitude e ao contexto operacional da máquina. Embora os valores específicos obtidos sejam apresentados no Capítulo 4, o critério de interpretação adotado respeita a lógica de tratamento escalonado, em que riscos com HRN elevado exigem medidas corretivas imediatas e riscos classificados como aceitáveis podem ser apenas monitorados.

Dessa forma, conclui-se que essa etapa serviu como ponte entre o levantamento técnico e o processo de definição das medidas de controle, garantindo que a priorização das ações ocorresse com base em critérios normativos bem definidos e alinhados com a realidade prática do ambiente industrial analisado.

3.2.5 Tratamento dos Riscos

Com base na avaliação dos riscos realizada, deu-se início ao tratamento dos mesmos, etapa que consiste na definição das medidas de controle mais adequadas para mitigar os perigos previamente analisados, de forma que, tal processo, foi conduzido conforme os princípios estabelecidos pela ABNT NBR ISO 12100:2013 e pela NR12, respeitando a hierarquia de eficácia das medidas de controle apresentada na Seção 2.4.4, a qual orienta a priorização de ações que eliminem o risco na origem, seguidas da redução por medidas técnicas, aplicação de proteções físicas e, por fim, uso de medidas administrativas e treinamentos.

Como parte desse processo, procedeu-se à definição da Categoria de Segurança (CAT) e do *Performance Level* requerido (PLr) para cada função de segurança crítica

da Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, de modo que, a atribuição da categoria foi fundamentada nas diretrizes da ABNT NBR ISO 13849-1:2019, conforme discutido no Capítulo 2, sendo aplicada de forma segmentada, ou seja, direcionada a cada função de segurança individual, como o sistema de parada de emergência, enclausuramentos e sensores de intertravamento, permitindo adaptar o nível de confiabilidade técnica à complexidade e criticidade de cada zona da máquina.

O PLr foi determinado a partir da matriz de risco baseada nos fatores de Severidade do dano (S), Frequência de exposição (F) e Possibilidade de evitar o dano (P). A metodologia de avaliação adotada, conforme descrita na Seção 2.4.4.2, utilizou como referência a matriz proposta pela ABNT NBR ISO 13849-1 e pelo Manual de Aplicação da NR12, em que:

- **S** foi definido a partir da natureza do dano potencial — se reversível ou irreversível;
- **F** foi avaliado conforme a frequência com que o operador entra em contato com a zona de risco, considerando tanto as atividades formais quanto os hábitos reais de operação observados;
- **P** considerou a possibilidade prática de o operador evitar ou limitar o dano durante uma exposição ao perigo, analisando o tempo de reação, condições de trabalho e comportamento do sistema.

A combinação desses fatores permitiu identificar o PL mínimo necessário (PLr) para cada função de segurança, estabelecendo assim uma referência clara e técnica para a etapa subsequente de validação.

A fim de verificar se o PLr foi de fato atendido, aplicou-se a validação do *Performance Level* conforme os critérios normativos da ABNT NBR ISO 13849-2:2019, os quais exigem a análise de quatro parâmetros técnicos principais. Conforme detalhado na Fundamentação Teórica, Seção 2.4.4.3:

- **O MTTFd** foi determinado com base na confiabilidade dos componentes de segurança utilizados, conforme dados fornecidos pelos fabricantes;
- **O DC** avaliou a capacidade do sistema detectar falhas automaticamente, sendo classificado entre low, medium e high;
- **O CCF** mediu a resistência do sistema contra falhas simultâneas originadas pela mesma causa, sendo obrigatória a demonstração de uma pontuação mínima conforme checklist normativo;
- **A CAT** atribuída foi validada com base na arquitetura do circuito, verificação de redundância, monitoramento e estrutura de controle.

Esses critérios, combinados, asseguraram que cada função de segurança estivesse em conformidade com o PLr exigido, assegurando a confiabilidade do sistema como um todo.

Com isso, tem-se que a definição das medidas de controle considerou as características específicas da Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, o modo de operação real observado durante o diagnóstico técnico e os riscos classificados nas etapas anteriores. A experiência da equipe executora, associada às recomendações da NR12, foi um fator determinante para garantir que as soluções fossem compatíveis com os requisitos legais e com as boas práticas de segurança industrial.

Embora a descrição das medidas adotadas e sua representação gráfica estejam reservadas ao Capítulo 4, destaca-se que o processo de tratamento foi orientado por critérios normativos, técnicos e funcionais, resultando na elaboração de um croqui mecânico da máquina após a adequação, o qual será utilizado posteriormente como apoio visual na validação das medidas implementadas.

4 ESTUDO DE CASO: ADEQUAÇÃO À NR12 DA PRENSA HIDRÁULICA RANHURADEIRA N25

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO

Este estudo foi desenvolvido por uma empresa especializada em automação industrial, cuja atuação abrange a modernização e adequação de máquinas e sistemas produtivos conforme os requisitos técnicos e legais vigentes. A análise consistia na atualização completa da automação da Prensa Hidráulica Ranhuradeira, por meio da substituição de toda a parte elétrica (retrofit), além da adequação integral da máquina às exigências da Norma Regulamentadora N^o 12, que trata da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos.

A escolha da máquina, indicada na Figura 6, Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 como objeto deste estudo se deu pelo fato de ela representar uma aplicação típica da indústria metalmeccânica e apresentar, em sua condição original, diversas não conformidades em relação aos requisitos de segurança previstos na legislação. A prensa trata-se de uma máquina que realiza o processo de prensagem a frio de chapas metálicas, com o objetivo de fabricar componentes do tipo estator, utilizados em motores elétricos, sendo que, a função específica de "ranhurar", refere-se à formação de entalhes ou rasgos longitudinais nas chapas, que são essenciais para a montagem e funcionamento do estator.

Embora o projeto desenvolvido envolvesse tanto a parte de automação quanto a de segurança, o foco deste trabalho está centrado na aplicação da metodologia de análise de riscos e no processo de conformidade com a NR12.

Figura 6 – Apresentação da Máquina: Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25.



Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

4.2 DIAGNÓSTICO INICIAL DA MÁQUINA

Antes do início da aplicação formal da APR, foi realizada uma inspeção técnica completa da Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, com o objetivo de levantar informações relevantes sobre o estado físico, operacional e funcional da máquina em suas condições originais, de modo que essa etapa teve caráter exploratório e serviu como base para contextualizar as decisões tomadas nas fases seguintes do projeto de adequação.

Mais do que identificar falhas, essa etapa buscou compreender como a máquina funcionava na prática, como era operada pelos trabalhadores e quais características técnicas e comportamentais influenciavam diretamente a sua condição de segurança. Para isso, foi realizada uma análise visual detalhada da estrutura e do ciclo de funcionamento, além de entrevistas com operadores e técnicos de manutenção, permitindo identificar como o processo era realmente executado, revelando rotinas operacionais que, por vezes, não seguiam os procedimentos formais. Já os técnicos de manutenção contribuíram com um olhar mais técnico, apontando pontos recorrentes de intervenção e falhas observadas ao longo do tempo.

Durante esse diagnóstico, observou-se a presença de zonas de risco expostas, que serão abordadas mais detalhadamente na Seção 4.3.1, principalmente na região de atuação do martelo, onde havia acesso desprotegido a áreas de esmagamento e corte. Em algumas partes da máquina, não existiam sensores de monitoramento nas proteções, o que impedia a detecção automática de aberturas indevidas e inviabilizava o uso de sistemas de intertravamento eficazes. A parte elétrica também apresentava deficiências significativas, como a ausência de arquitetura redundante, a inexistência de diagnóstico de falhas e a falta de lógica de controle de segurança, contrariando os critérios estabelecidos pelas normas NR12 e IEC 60204-1. Além disso, também foram identificados painéis com acesso desprotegido, ausência de sinalizações visuais e ausência de etiquetas de advertência nas áreas críticas.

É importante destacar que, apesar dessas limitações, a máquina já contava com alguns elementos de segurança, como determinadas proteções fixas, sensores instalados em regiões específicas e até mesmo um controlador de segurança. No entanto, esses elementos não estavam devidamente configurados, validados ou interligados de forma coerente, o que impedia a conformidade com os requisitos da NR12. Dessa forma, a máquina, mesmo contendo alguns dispositivos, não podia ser considerada segura ou adequada, exigindo uma revisão completa e sistematizada de seu sistema de proteção.

4.3 DESENVOLVIMENTO DA APR

Com a máquina e seu funcionamento operacional conhecidos, e com base na metodologia previamente definida neste trabalho e nas diretrizes da ABNT NBR ISO 12100:2013, a Análise Preliminar de Riscos foi aplicada à Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 com o objetivo de identificar, classificar e tratar os riscos presentes em sua condição original, de

forma que, a presente seção, apresenta os resultados da aplicação prática de cada etapa da APR,, utilizando como referência os documentos técnicos reais gerados durante a execução do projeto.

O desenvolvimento da APR seguiu as seguintes etapas, previamente estabelecidas no Capítulo 3:

1. Identificação dos riscos;
2. Análise dos riscos;
3. Avaliação dos riscos;
4. Tratamento dos riscos.

Em seguida cada etapa será detalhada, apresentando os resultados obtidos.

4.3.1 Identificação dos Riscos

A etapa de identificação dos perigos teve como base o levantamento realizado em campo, complementado com a análise funcional da máquina e a observação do ciclo operacional completo da Prensa, de modo que os perigos foram categorizados segundo os critérios estabelecidos pela ABNT NBR ISO 12100:2013, levando em conta os modos de operação (produção, setup, limpeza, manutenção), os tipos de acesso, as zonas de risco e os potenciais eventos perigosos. Ao final da seção, apresenta-se a tabela inventário de riscos, conforme modelo apresentado na Tabela 7, preenchida.

Com isso, o risco mais visível presente na máquina identifica-se na Figura 7, sendo que essa exemplifica claramente o acesso a zona de risco formada pelo movimento vertical do martelo durante o processo de estampagem, apresentando um ponto crítico de esmagamento, com potencial de causar lesões graves em caso de acesso não controlado. Na condição original, observava-se a ausência de barreiras físicas ou sistemas de intertravamento que impedissem o ingresso do operador durante o ciclo automático de operação, contrariando diretamente os princípios estabelecidos pela NR12 (itens 12.38 e 12.39) e pelas normas técnicas ABNT NBR ISO 12100 e IEC 60204-1, que exigem a adoção de medidas de proteção que eliminem ou reduzam o risco de contato acidental com partes móveis perigosas.

Figura 7 – Zona de prensagem do martelo.



Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

Em seguida, a Figura 8 demonstra uma porta com abertura lateral que permite acesso direto ao motor principal da máquina, movimento de giro das transmissões de força - volante, em que se encontra, além do motor e do sistema de embreagem, componentes internos do sistema de acionamento. Nela, observa-se a ausência de sensores de monitoramento e intertravamento, possibilitando que a máquina opere mesmo com a porta aberta, expondo o operador a riscos de esmagamento, corte ou aprisionamento, condição essa que viola os princípios de segurança funcional descritos na IEC 60204-1 (seções 6.2 e 9.2.2), além dos requisitos da NR12 (itens 12.38, 12.41 e 12.43), que determinam a obrigatoriedade de monitoramento e intertravamento para acessos a zonas perigosas durante o funcionamento da máquina.

Figura 8 – Porta de acesso ao interior da máquina.



Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

Outro ponto de risco identificado é exemplificado na Figura 9, que apresenta o sistema pneumático de fixação da peça (chapa do estator) para a realização do processo de corte da Prensa Hidráulica, em que nela, observa-se a ausência de uma válvula de retenção pilotada no cilindro responsável por manter o material fixado. Essa deficiência representa um risco relevante de segurança, pois, em caso de falha ou queda de pressão do sistema pneumático, a peça poderia se soltar durante o ciclo de operação, ocasionando acidentes por projeção ou falha na estampagem. A Norma Regulamentadora Nº 12 (NR12), item 2.6.4, estabelece que as prensas hidráulicas devem possuir válvula de retenção para garantir que o martelo ou elementos móveis não desçam por gravidade ou perda de pressão, evitando movimentos involuntários que comprometam a integridade física do operador.

Embora o texto da norma refira-se diretamente a prensas hidráulicas, o mesmo conceito de segurança é aplicado aqui por analogia técnica, devido ao risco equivalente no sistema pneumático de fixação, de forma que, a ausência deste componente, fere o princípio da segurança passiva por redundância, comprometendo a conformidade com os requisitos normativos.

Figura 9 – Cilindro de fixação das peças - Sistema pneumático.

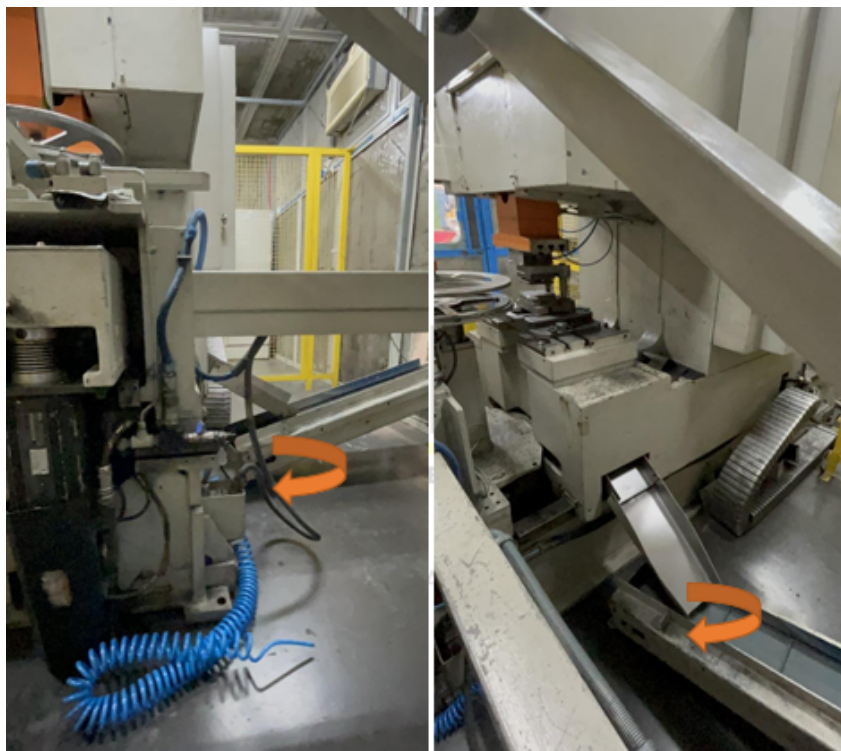


Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

Por fim, a Figura 10 em questão, apresenta a região lateral inferior da Prensa, sistema responsável pelo transporte das sobras para o descarte, evidenciando componentes expostos do sistema de transmissão de força, incluindo engrenagens e esteiras com movimento rotativo, de forma que, a ausência de barreiras físicas ou enclausuramento adequado nesse ponto, permite o acesso direto a partes móveis em movimento, expondo os trabalhadores a riscos de esmagamento, aprisionamento e cisalhamento, especialmente durante atividades de operação contínua ou manutenção.

A exposição desse tipo de mecanismo contraria os princípios de segurança estabelecidos pela NR12, especialmente os itens 12.15 e 12.38, que determinam que as partes móveis perigosas devem ser protegidas de forma a impedir o contato acidental, garantindo a integridade física dos operadores.

Figura 10 – Esteira de transporte de sucata.



Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

Para consolidar as informações levantadas nesta etapa, apresenta-se a seguir, na Tabela 8 o modelo de inventário de perigos preenchido, conforme estrutura metodológica previamente apresentada na Seção 3.2.2, Tabela 7, resumindo os principais perigos associados às tarefas executadas na Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, categorizando as funções, os riscos identificados e os possíveis danos.

Tabela 8 – Inventário de perigos identificados na máquina

Função/Tarefa	Atividade	Perigos e Riscos Presentes	Lesão ou Danos Potenciais
Produção	Abastecimento e retirada de produto	Aprisionamento de dedos/ Agarramento de dedos e mãos	Arranhão leve / Escoriações Dilaceração / Corte / Fratura grave em ossos/ Amputação de dedos/ Amputação de mão
Produção Limpeza	Limpeza interna e externa da máquina	Aprisionamento de dedos/ Agarramento de dedos e mãos	Arranhão leve / Escoriações Dilaceração / Corte / Fratura grave em ossos/ Amputação de dedos/ Amputação de mão
Produção Setup	Ajuste da posição da mesa frontal e troca de punção	Aprisionamento de dedos/ Agarramento de dedos e mãos	Arranhão leve / Escoriações Dilaceração / Corte / Fratura grave em ossos/ Amputação de dedos/ Amputação de mão
Manutenção Mecânica	Lubrificação; Desmontagem, remoção de partes, componentes e dispositivos da máquina;	Aprisionamento de dedos/ Agarramento de dedos e mãos	Arranhão leve / Escoriações Dilaceração / Corte / Fratura grave em ossos/ Amputação de dedos/ Amputação de mão
Manutenção Elétrica	Isolamento e dissipação de energia; Ajustes;	Movimento inesperado. Partes energizadas.	Fatalidade – choque elétrico

Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

A tabela inventário foi construída conforme o modelo proposto na ISO/TR 14121-2:2018 e reforçado no Manual de Aplicação da NR12 (BRASIL, 2018), utilizando como base observações visuais, entrevistas com operadores e técnicos de manutenção, e inspeções realizadas durante o diagnóstico inicial da máquina.

É importante destacar que, embora a APR desenvolvida para o projeto contenha um número significativamente maior de análises detalhadas, optou-se por apresentar um recorte representativo, visando facilitar o entendimento e manter a objetividade da exposição, sendo suficiente para evidenciar os principais riscos envolvidos nas operações da máquina, atendendo ao propósito de ilustrar a aplicação prática da metodologia de identificação de perigos.

Com isso, a estruturação desse inventário serviu como base objetiva para a conti-

nuidade da APR, permitindo que os perigos identificados fossem convertidos em dados quantitativos por meio da aplicação do método HRN, de forma que, a partir disso, passou-se à análise dos riscos, etapa seguinte deste estudo, na qual os fatores associados a cada situação perigosa foram ponderados para permitir a avaliação e o posterior tratamento das não conformidades identificadas.

4.3.2 Análise dos Riscos

Com base nos perigos identificados e sistematizados no inventário técnico da Prensa, procedeu-se à análise dos riscos, utilizando o método *Hazard Rating Number*, conforme estabelecido na Seção 2.4.2 deste trabalho. O objetivo dessa etapa foi quantificar os riscos, atribuindo valores aos fatores que compõem a fórmula do HRN, possibilitando mensurar a magnitude dos perigos e subsidiar a posterior avaliação e definição de prioridades de tratamento.

Os fatores utilizados para o cálculo do HRN foram:

- **LO** (*Likelihood of Occurrence*) – Probabilidade de ocorrência;
- **FE** (*Frequency of Exposure*) – Frequência de exposição;
- **DPH** (*Degree of Possible Harm*) – Grau da possível lesão;
- **NP** (*Number of Persons Exposed*) – Número de pessoas sob risco.

A aplicação desses critérios foi conduzida com base nas Tabela 2 a 5 apresentadas na Capítulo 2, respeitando os parâmetros estabelecidos pelas normas ABNT NBR ISO 12100 e as orientações da NR12, em que, os valores atribuídos a cada fator, foram definidos a partir da experiência da equipe técnica, observações feitas em campo e escuta ativa dos operadores e técnicos de manutenção, conforme descrito na Seção 3.2.3.

A Tabela 9 apresenta os valores de DPH associados aos perigos que foram identificados nas atividades de produção e manutenção (mecânica e elétrica), em que esses valores representam a severidade dos danos que poderiam ser causados caso os perigos se concretizassem.

Tabela 9 – Valores de DPH atribuídos aos perigos identificados.

Produção		Manutenção (Mecânica e Elétrica)	
Fator	Perigos	Fator	Perigos
0,1	Arranhão leve / Escoriações	0,1	Arranhão leve / Escoriações
0,5	Dilaceração / Corte / Enfermidade leve	0,5	Dilaceração / Corte / Enfermidade leve
2	Fratura em ossos / dedos	2	Fratura em ossos / dedos
4	Amputação de dedos	4	Amputação de dedos
8	Amputação de mão	15	Fatalidade – choque elétrico

Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Em seguida, a Tabela 10 apresenta os valores atribuídos a cada fator da equação do HRN, considerando cenários típicos de produção e manutenção, em que seus dados permitem calcular o valor do HRN final, apresentado na próxima seção, que será utilizado para classificar o nível de criticidade de cada risco.

Tabela 10 – Fatores HRN – Máquina NÃO adequada.

Fatores HRN – Máquina NÃO Adequada	Produção	Manutenção
Probabilidade de Ocorrência (LO)	2	1
Frequência de Ocorrência (FE)	5	1,5
Grau de Possível Lesão (DPH)	8	15
Número de Pessoas Sob o Risco (NP)	1	1

Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Com base na aplicação do método HRN, cada fator foi atribuído a partir de critérios técnicos definidos previamente no Capítulo 2, Seção 2.4.2 e operacionalizados na Seção 3.2.3 da Metodologia, permitindo quantificar os riscos associados às diferentes zonas da Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25.

O valor do Grau da Possível Lesão (DPH) foi definido com base nas observações e levantamentos realizados em campo, resultando na construção da Tabela 9 que foi adaptada para refletir os diferentes níveis de severidade de danos para atividades de produção e manutenção. Já os fatores de Probabilidade de Ocorrência (LO), Frequência de Exposição (FE) e Número de Pessoas sob o Risco (NP) foram definidos com base na escuta ativa de operadores, observações em campo e na experiência prática da equipe técnica, conforme estabelecido nos parâmetros descritos no Capítulo 2.

Tal sistematização permitiu converter avaliações qualitativas em dados objetivos, possibilitando a representação clara do potencial de risco em diferentes cenários da máquina e subsidiando tecnicamente as etapas seguintes de avaliação e tratamento dos riscos.

A consolidação dessas informações é fundamental para que, na etapa seguinte, os riscos sejam interpretados de forma estruturada por meio de faixas de criticidade previamente definidas, permitindo a classificação de sua aceitação ou inaceitabilidade. A seguir, apresenta-se a avaliação dos riscos, fase que fundamenta tecnicamente as decisões quanto à priorização e natureza das medidas de controle que serão tratadas na próxima etapa da APR.

4.3.3 Avaliação dos Riscos

Com os valores atribuídos aos fatores do HRN sistematizados a partir dos perigos identificados na Prensa, deu-se início à etapa de avaliação dos riscos, cujo objetivo é interpretar esses dados, segundo uma escala de criticidade previamente definida na Tabela 6, tendo como base a combinação dos fatores de probabilidade, frequência, severidade e

número de pessoas expostas, tornando-se possível analisar a magnitude dos riscos. Essa etapa é essencial para determinar o nível de aceitabilidade ou inaceitabilidade de cada situação perigosa, assim como orientar a priorização e a natureza das medidas de controle que serão abordadas na etapa seguinte, referente ao tratamento dos riscos.

A Tabela 11 a seguir apresenta os valores finais de HRN, calculados utilizando a Equação (1), obtidos nos dois principais cenários analisados: operação de produção e situação de manutenção, sendo enquadrados com base nas faixas de classificação apresentadas na Tabela 6 da Fundamentação Teórica, que definem níveis de aceitação, desde risco aceitável até inaceitável, conforme descrito no artigo técnico do CREA-SC (2019).

Tabela 11 – Fatores HRN – Máquina NÃO Adequada.

HRN - Máquina Situação Antes Adequação		
	Produção	Manutenção
Probabilidade de Ocorrência (LO)	2	1
Frequência de Ocorrência (FE)	5	1,5
Grau da possível lesão (DPH)	8	15
Número de pessoas sob risco (NP)	1	1
$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP$	80	22,5
Classificação do HRN	ALTO	SIGNIFICATIVO

Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Analisando a tabela acima, observa-se que, ao aplicar a Equação (1), na condição de produção, o valor de HRN calculado foi de 80, sendo classificado como risco alto, sendo que, de acordo com a Tabela 6 apresentada na Seção 2.4.3, é necessária uma intervenção imediata com medidas de controle técnicas e organizacionais. Já na condição de manutenção, ao se aplicar a Equação (1), o HRN foi de 22,5, classificado como risco significativo, que demanda ações complementares de prevenção e o reforço das proteções existentes.

Com isso, tem-se que a categorização dos riscos com base nas faixas de criticidade foi essencial para estabelecer critérios objetivos de priorização das medidas de controle, garantindo que as decisões técnicas fossem proporcionais ao nível de exposição e ao potencial de dano identificado. Esse enquadramento também contribuiu para alinhar o projeto de adequação às exigências da NR12, fortalecendo a segurança funcional da máquina e assegurando a rastreabilidade técnica das ações adotadas. Na sequência, a etapa de tratamento dos riscos detalhará as soluções projetadas e implementadas para a mitigação dos perigos classificados, com base nos resultados aqui avaliados e conforme as recomendações normativas aplicáveis.

4.4 TRATAMENTO DOS RISCOS - MEDIDAS DE CONTROLE

A etapa de tratamento dos riscos corresponde à fase em que são propostas as medidas de mitigação ou eliminação dos perigos identificados, de acordo com os critérios técnicos e normativos estabelecidos, de forma que, conforme descrito na Seção 2.4.4 do Capítulo 2 e na Seção 3.2.5 do Capítulo 3, o tratamento deve considerar a hierarquia das medidas de controle, priorizando a eliminação do risco na origem, seguida da redução por modificações técnicas, proteções físicas e, por fim, ações administrativas.

É importante destacar que as medidas apresentadas nesta etapa da APR têm caráter propositivo: representam indicações técnicas de soluções consideradas viáveis para o controle dos riscos identificados. Isso significa que os riscos ainda não foram, neste momento, efetivamente neutralizados, uma vez que sua mitigação depende da execução e validação das ações planejadas, o que ocorre nas fases subsequentes do projeto.

Como recurso de apoio visual à proposição das medidas de controle, foram desenvolvidos croquis mecânicos ilustrando as soluções indicadas para os principais pontos de risco, em que esses, elaborados pela equipe técnica responsável pela APR, visam demonstrar a forma como as proteções fixas, móveis e sistemas de sensoriamiento devem ser implementados, respeitando os parâmetros estabelecidos pelas normas NR12, ABNT NBR ISO 12100 e ISO 13857.

Com base na análise técnica realizada durante a etapa de tratamento dos riscos, cada função de segurança crítica da Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 foi associada a uma recomendação específica de medida de controle, considerando os riscos identificados e classificados previamente, em que essas, foram organizadas de acordo com os dispositivos implementados, cada um deles categorizado com seu respectivo fator de CAT e PLr, conforme os critérios estabelecidos nas normas ABNT NBR ISO 13849-1 e NR12, especialmente nos itens 12.5 e 12.6, os quais tratam do projeto e integração dos sistemas de comando relacionados à segurança. A Tabela 12 a seguir consolida essas informações, relacionando graficamente os elementos técnicos discutidos e fornecendo um panorama objetivo das exigências de segurança para cada componente analisado.

Tabela 12 – Relação entre dispositivos, CAT e PLr.

Figura	Função de Segurança	Categoria (CAT)	PLr
Figura 11	Cortina de Luz (zona de prensagem frontal)	CAT 4	PL e
Figura 12	<i>Scanners</i> de Segurança (zona interna da máquina)	CAT 4	PL e
Figura 13	Porta de acesso traseira com chave de intertravamento	CAT 4	PL e
Figura 14	Retenção pilotada no cilindro de fixação	CAT 3	PL d
Figura 15	Proteção da esteira de sucata	CAT 1	PL b
Figura 16	Botões de emergência e rearme	CAT 4	PL e
Figura 17	Sinalizações e adesivos de segurança	CAT -	PL -

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

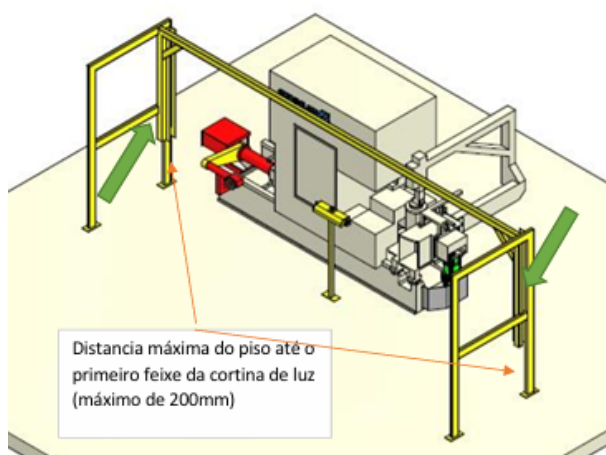
A organização dos dados nesta tabela permite visualizar de forma clara a coerência entre o risco identificado, a solução técnica proposta e o nível de segurança exigido para sua mitigação, além de associar a classificação dos riscos, observada anteriormente na Tabela 6.

Cada função de segurança listada será posteriormente representada por meio das imagens técnicas e registros fotográficos apresentados nas seções seguintes, proporcionando uma associação direta entre a análise documental e a evidência visual das adequações realizadas. Esse tipo de abordagem permite validar a efetiva implementação das medidas recomendadas, reforçando o vínculo entre o diagnóstico de risco, os critérios normativos aplicados e a execução prática do projeto de adequação.

Um dos pontos de maior criticidade identificados na Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 é a zona de prensagem localizada na parte frontal do equipamento, indicada anteriormente na Figura 7, onde ocorre o movimento vertical do martelo, em que o acesso desprotegido a essa região representa risco de esmagamento com potencial de lesão grave ou fatal. De forma complementar, foi também identificada uma condição de risco na parte traseira da máquina, representada anteriormente na Figura 8, em que uma porta de acesso ao interior da estrutura permite a aproximação direta à região da transmissão de força, sendo que a ausência de monitoramento nessa abertura compromete a segurança funcional do equipamento, permitindo que ele opere mesmo com a porta aberta, expondo o operador a riscos de corte, esmagamento e aprisionamento.

Para mitigar os riscos associados ao acesso frontal à zona de prensagem, foi indicada, na Figura 11 a seguir, a instalação de cortina de luz, dispositivo de segurança optoeletrônico, na parte frontal da prensa, com alcance total da área de risco e posicionamento do primeiro feixe a no máximo 200 mm do piso, conforme diretrizes da ABNT NBR ISO 13857.

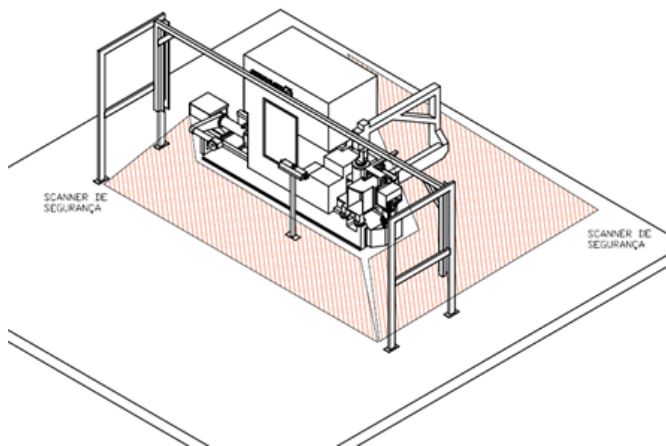
Figura 11 – Indicação de monitoramento perimetral por meio de Cortinas de Luz.



Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

Como complemento ao sistema frontal, também foi indicado a instalação de dois *scanners* de segurança optoeletrônicos, conforme indicado na Figura 12, estrategicamente posicionados para monitorar a área interna da célula de trabalho, permitindo cobrir zonas de difícil acesso e realizar o desligamento da máquina ao detectar a presença de pessoas dentro do perímetro protegido, mesmo em regiões onde o enclausuramento físico completo seria impraticável.

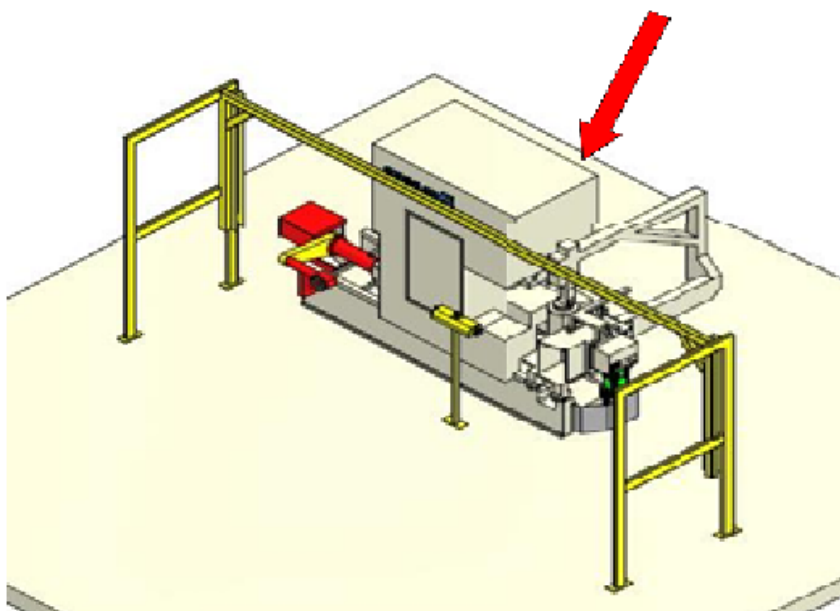
Figura 12 – Indicação de monitoramento perimetral por meio de *Scanners* de Segurança.



Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

Além das soluções optoeletrônicas, foi também indicada a instalação de sensor magnético de segurança ou chave de intertravamento mecânico na porta de acesso ao interior da máquina, conforme risco identificado anteriormente na Figura 8. Essa porta permite o acesso à região traseira e à área de transmissão de força, sendo essencial que seu monitoramento impeça o funcionamento da máquina enquanto estiver aberta, conforme exigido pela NR12, item 12.5.2, de forma que, a adoção desse dispositivo, indicado em sequência na Figura 13, contribui para garantir que o operador só tenha acesso à zona de risco quando a máquina estiver completamente parada e em condição segura de intervenção.

Figura 13 – Indicação de monitoramento da porta de acesso ao interior da máquina por meio de sensores magnéticos e/ou intertravamento.



Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

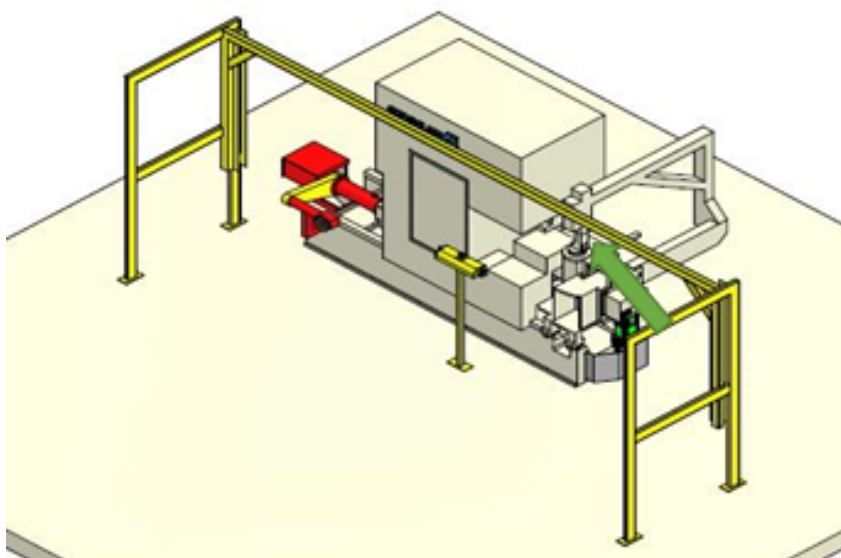
Com isso, tem-se que o uso combinado desses dispositivos de segurança – cortinas de luz, scanners e sensores magnéticos/intertravamento – oferece uma solução perimetral flexível e eficiente, especialmente indicada para aplicações industriais em que há necessidade de intervenção operacional frequente, sendo que, todo o sistema foi dimensionado para atender os requisitos de Categoria 4 (CAT 4) e *Performance Level* “e” (PL e), conforme exigido pela NR12, item 12.5, e respaldado pelas normas técnicas ABNT NBR ISO 13849-1 e IEC 61496-1/2.

Outro ponto de risco identificado está relacionado ao cilindro pneumático responsável pela fixação das peças durante o processo de estampagem, onde em sua condição original, conforme evidenciado anteriormente na Figura 9, o sistema apresentava ausência de mecanismos que garantissem a retenção da posição do cilindro em caso de queda de pressão ou falha na alimentação de ar comprimido, resultando na liberação repentina

da peça ou no colapso do sistema de fixação, expondo o operador a riscos de impacto, aprisionamento ou falha no ciclo produtivo.

Como medida de controle, foi indicado na APR a instalação de uma válvula de retenção pilotada, capaz de manter o êmbolo do cilindro em posição segura mesmo em caso de perda de pressão. Essa solução, dimensionada para atender os requisitos de CAT 3 e PL "d", garante a integridade funcional do sistema pneumático e evita deslocamentos involuntários durante a operação, estando em conformidade com os requisitos da NR12, item 12.5.2, alínea "f", e com a norma ABNT NBR ISO 13849-1, que tratam da necessidade de dispositivos que assegurem a paralisação ou retenção segura de movimentos perigosos em caso de falha.

Figura 14 – Indicação de retenção pilotada no cilindro de fixação de peças.

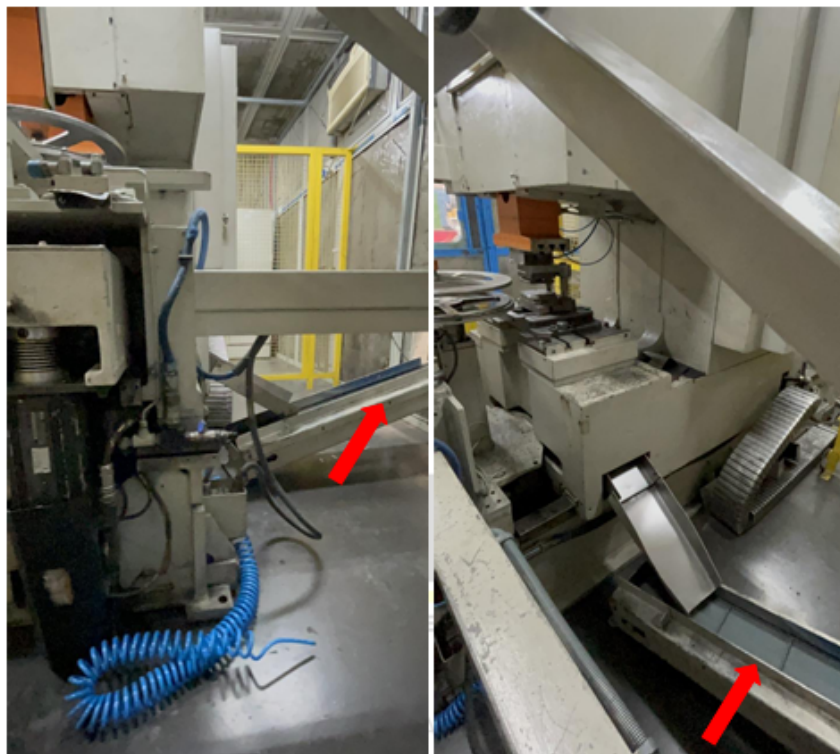


Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

Já na região de saída da esteira de sucata, foi identificado um ponto de risco associado à presença de transmissões de força expostas, ponto identificado na Figura 10, como polias e tambores rotativos, que podem ser acessadas diretamente pelas mãos ou dedos do operador durante a rotina de trabalho, representando um potencial de aprisionamento, esmagamento e cisalhamento, principalmente em tarefas de inspeção ou limpeza realizadas com a máquina em funcionamento.

Para mitigar tal risco, foi indicado na APR a instalação de proteções mecânicas fixas, conforme exemplificado na Figura 15 a seguir, projetadas para impedir o contato direto com os elementos rotativos da esteira, de modo que essas devem ser dimensionadas e posicionadas de acordo com os critérios da ABNT NBR ISO 13852, que estabelece as distâncias mínimas de segurança para impedir o acesso involuntário de partes do corpo humano às zonas perigosas.

Figura 15 – Indicação de proteções fixas na esteira de transporte de sucata.



Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

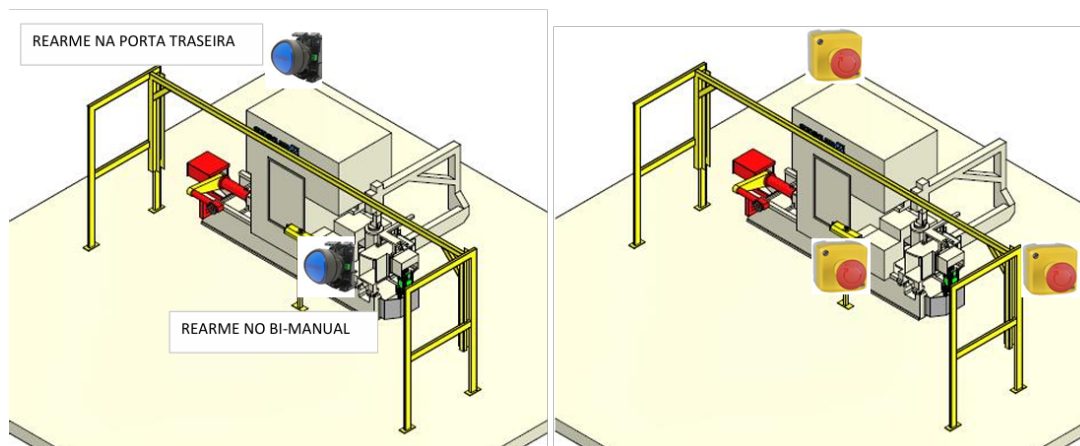
Além disso, a fixação dessas proteções deve respeitar os critérios estabelecidos pela NR12, especialmente os itens 12.38 a 12.40, que exigem que as proteções sejam fixadas de forma segura, removíveis apenas com o uso de ferramentas apropriadas, e resistentes às vibrações e deslocamentos acidentais. Embora se tratem de proteções passivas, as proteções fixas também foram consideradas no processo de apreciação de risco e, conforme apresentado na Tabela 12, foram associadas aos requisitos de CAT 1 e PL "b", reforçando a necessidade de que todos os elementos do sistema de segurança — ativos ou passivos — estejam integrados de forma coerente e conforme as exigências das normas técnicas aplicáveis.

Além das recomendações detalhadas anteriormente, a APR também indicou medidas complementares essenciais à integridade funcional do sistema de segurança da Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25. Dentre elas, destaca-se a necessidade de garantir o correto aterramento da máquina, em conformidade com os requisitos da NR10 e da IEC 60204-1, assegurando a proteção dos operadores contra choques elétricos e falhas de isolamento.

Foram também recomendadas, conforme indicado na Figura 16 a instalação de botões de rearme posicionados fora das zonas perigosas, de modo a evitar o religamento acidental da máquina com o operador ainda em condição de risco, bem como a utilização de botões de parada de emergência do tipo cogumelo com acionamento por golpe e destravamento por rotação, de acordo com a NR12, item 12.56, em que esse deve atender

aos requisitos de CAT 4 e PL "e", conforme definido pela ABNT NBR ISO 13849-1.

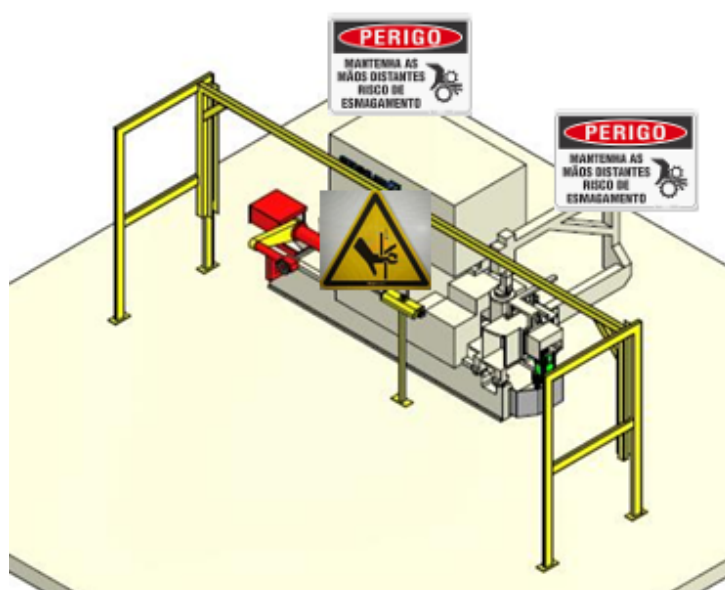
Figura 16 – Indicação de botões de emergência e rearme no perímetro da máquina.



Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

Complementando o conjunto de medidas, a APR propôs ainda a aplicação de sinalizações de segurança visuais e táteis (etiquetas, placas e cores padronizadas), conforme a NR12, item 12.12, identificada na Figura 17, com o objetivo de informar claramente os riscos presentes, orientar os procedimentos corretos de operação e manutenção, e advertir os trabalhadores quanto à presença de zonas perigosas.

Figura 17 – Indicação de sinalizações de segurança na máquina.



Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 – Infra Automação Industrial.

Com isso, a aplicação conjunta dessas recomendações compõe um sistema de con-

trole abrangente e alinhado às melhores práticas de segurança em máquinas, sendo o tratamento dos riscos uma etapa fundamental para alcançar a conformidade normativa e a redução efetiva da exposição ao perigo.

Concluída a definição das medidas de controle e a validação técnica das intervenções propostas, a próxima etapa deste estudo integra a execução prática do projeto de adequação, contemplando desde o desenvolvimento das topologias de segurança e do diagrama elétrico funcional até a montagem do painel de comando, sua instalação em campo e o comissionamento final do sistema. Essa fase consolida a passagem da análise técnica para a materialização física das soluções, evidenciando a conformidade da máquina com os requisitos normativos e encerrando o processo de adequação com a emissão do laudo técnico e das documentações exigidas pela NR12.

5 PROJETO DE ADEQUAÇÃO À NR12: PRENSA HIDRÁULICA RANHURADEIRA N25

5.1 PROJETO ELÉTRICO

Concluído o processo de levantamento técnico e definição das medidas de mitigação, deu-se início à execução prática da adequação da Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, fase essa, que representa a transição entre a análise técnica e a implementação física dos sistemas de segurança, integrando dispositivos de proteção ao circuito elétrico e estrutural da máquina, conforme os requisitos estabelecidos pela NR12, ABNT NBR ISO 12100, ISO 13849-1 e IEC 60204-1, aplicando de forma efetiva as soluções propostas na APR.

O projeto teve início com a elaboração das topologias de acionamento, automação e segurança, sendo esta última responsável por definir a arquitetura lógica do sistema de comando seguro, de forma que, a partir dos dispositivos previamente selecionados — como cortinas de luz, *scanners* de segurança, chaves de intertravamento e válvulas pneumáticas —, organizou-se a lógica de atuação da proteção, respeitando os níveis de CAT e PLr, definidos na Tabela 12, que foram atribuídos individualmente a cada função crítica da máquina.

Com base nessa arquitetura, foi desenvolvido o diagrama elétrico, contemplando os circuitos de potência, comando e segurança, sendo que, a partir dele, definiu-se o layout do painel de comando, com atenção à organização, acessibilidade e segurança durante a manutenção e operação. Após a montagem física do painel, foram executados os testes funcionais e a programação dos dispositivos de controle — como o CLP e o controlador de segurança — para garantir a atuação correta diante de falhas, acessos indevidos ou violações.

Concluída a validação em bancada, procedeu-se à instalação em campo dos dispositivos de segurança, integrando-os ao corpo da máquina, seguida do comissionamento e *startup* do sistema, assegurando o pleno funcionamento de todas as funções projetadas. Essa execução consolidou o sistema de segurança, agora estruturado para atuar de maneira confiável, conforme os riscos identificados na APR e os critérios técnicos estabelecidos.

Ainda que essas etapas envolvam procedimentos detalhados e tecnicamente complexos, sua exposição neste trabalho tem por objetivo apenas contextualizar a transição entre o planejamento e a execução prática das medidas de controle, uma vez que o foco central da pesquisa reside na conformidade com os requisitos da NR12. A verificação final dessa conformidade será apresentada a seguir, com base nas inspeções realizadas e na emissão do respectivo Laudo Técnico, o qual valida a eficácia das soluções implementadas.

5.2 EMISSÃO DE LAUDO E VALIDAÇÃO DA ADEQUAÇÃO

Concluída a etapa anterior, realizou-se a verificação da conformidade da máquina por meio da emissão do Laudo Técnico de Conformidade à NR12, documento esse que sistematiza e valida tecnicamente as adequações realizadas, apresentando inicialmente a APR original, com a atualização dos valores do HRN resultantes da implementação das medidas de controle, possibilitando uma comparação clara entre os níveis de risco antes e depois da intervenção.

Na sequência, o documento descreve detalhadamente os dispositivos de segurança utilizados, suas localizações e integrações ao sistema de comando, de forma que, tais informações, são organizadas em uma tabela-resumo e reforçadas com o registro fotográfico da máquina, seguindo uma sequência lógica: proteções fixas, proteções móveis, sensores de segurança e painel elétrico, estando cada item está associado ao seu respectivo nível de CAT e PLr, assegurando coerência entre a criticidade do risco e a robustez das soluções implementadas.

Além da validação física e funcional, o laudo contempla os demais requisitos exigidos pela NR12, incluindo aspectos de sinalização, ergonomia, manutenibilidade, capacitação de trabalhadores e disponibilização de documentação técnica, em que, entre os documentos anexos ao Laudo, encontram-se manuais de operação, laudos complementares — como o de aterramento —, certificados de conformidade dos componentes de segurança e Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) referentes aos projetos elétrico, pneumático, mecânico e hidráulico.

A robustez das medidas adotadas é evidenciada pela expressiva redução dos valores de HRN, indicado na Tabela 14 a seguir, confirmando a eficácia das intervenções e a conformidade da prensa com os requisitos técnicos, normativos e legais. O Laudo Técnico de Conformidade, portanto, conclui o ciclo da adequação, assegurando que todas as ações estejam devidamente documentadas e que a máquina esteja apta para operar com segurança e dentro dos padrões estabelecidos.

5.2.1 Sistema de Segurança

Como parte central da adequação da Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, foi implementado um conjunto abrangente de dispositivos e soluções de segurança, dimensionados com base nos riscos identificados na APR e nos critérios estabelecidos pelas normas NR12, ABNT NBR ISO 13849-1, NBR ISO 12100 e IEC 60204-1, incluindo elementos físicos, eletroeletrônicos e pneumáticos, todos devidamente monitorados e integrados ao sistema de comando da máquina, respeitando os níveis de CAT e PLr para cada função crítica.

A seguir, a Tabela 13 resume os principais componentes que integram o sistema de segurança, relacionando cada item à sua função e à forma de monitoramento empregada,

organização essa que evidencia a forma como os dispositivos atuam em conjunto para impedir acessos indevidos, controlar os riscos operacionais e garantir a paralisação segura dos movimentos perigosos em situações de emergência ou falha.

Tabela 13 – Componentes de segurança e respectivos sistemas de monitoramento.

Componente/Dispositivo	Descrição/Finalidade	Monitoramento
Proteções mecânicas fixas	Enclausuramento do perímetro usando malha soldada, conforme NBR ISO 13852	Passivo (sem CLP)
<i>Scanner</i> SZ-015 (KEYENCE)	Monitoramento da área traseira da prensa	CLP de segurança CLP IV – Siemens ET 200sp
<i>Scanner</i> SZ-10V (KEYENCE)	Monitoramento da área frontal com ajuste conforme posição da cortina	CLP de segurança CAT IV – Siemens ET 200sp
Porta traseira com 2 chaves CISS-P1A22A62 (WEG)	Bloqueio de acesso com intertravamento	CLP de segurança CAT IV – Siemens ET 200sp
Cortina de luz LS2PE-1000 (WEG)	Proteção frontal contra acesso à zona de prensagem	acrshortCLP de segurança CAT IV – Siemens ET 200sp
Calço mecânico de segurança	Posicionamento seguro durante manutenção	Monitorado por sensor S6FS-50FR1P24A0 (WEG)
Comando bi-manual dióico	Acionamento da prensa com simultaneidade de 0,5 s	CLP de segurança CAT IV – Siemens ET 200sp
5 botões de emergência	Duplo canal, ruptura positiva	CLP de segurança CAT IV – Siemens ET 200sp
5 botões de rearme manual	Rearme do sistema após interrupções	CLP de segurança CAT IV – Siemens ET 200sp
2 CLPs de segurança	Unidade lógica redundante	Siemens ET 200sp – CAT IV
Relé de tensão zero S2S-WJ22 (WEG)	Garantia de tensão segura para operação	Integrado ao sistema
Fonte 24Vcc	Alimentação de interface com operador	Integrado
2 Contatores (motor principal) P3OK56 e P3OK58	Desligamento seguro da alimentação do motor	CLP de segurança CAT IV – Siemens ET 200sp

Componente/Dispositivo	Descrição/Finalidade	Monitoramento
2 Contatores (bomba hidráulica) P3OK31 e P3OK32	Desligamento seguro da bomba hidráulica	CLP de segurança CAT IV – Siemens ET 200sp
2 Contatores (esteira suCATa) P3OK33 e P3OK34	Controle da alimentação elétrica da esteira	CLP de segurança CAT IV – Siemens ET 200sp
Chave geral para LOTO	Permite bloqueio elétrico da alimentação principal da máquina	Manual (bloqueio físico)
Válvula de segurança pneumática NORGREN	Acionamento da embreagem monitorado por CLP de segurança	CLP CAT IV – Siemens ET 200sp/S7-1500 <i>SAFETY</i>
2 Válvulas de segurança SMC – alimentação geral	Segurança na linha principal de ar comprimido	CLP) CAT IV – Siemens ET 200sp/S7-1500 <i>SAFETY</i>
Válvula de segurança SMC – cilindro de fixação da chapa	Bloqueio seguro da alimentação pneumática do cilindro de fixação	CLP CAT IV – Siemens ET 200sp/S7-1500 <i>SAFETY</i>
Válvula de LOTO pneumática	Permite bloqueio manual da alimentação de ar comprimido	Manual
Embreagem da prensa	Componente funcional da operação, controlado via válvula de segurança	Segurança pneumático
Sistema de aterramento	Interliga todas as partes metálicas suscetíveis de energização	IEC 60204-1 + NR10
Válvula de retenção pilotada	Garante posição segura do cilindro em caso de falha	CLP CAT III/IV – conforme projeto
Sinalização de advertência	Etiquetas, placas e símbolos nos pontos de risco	Visual – Norma técnica 12.12

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Com isso, observa-se que a robustez desse sistema pode ser verificada na queda expressiva do índice de HRN após a implantação das medidas de controle, conforme mostrado na Tabela 14 a seguir, o novo valor geral calculado é de 1,65, se enquadrando na faixa de risco baixo, o que representa uma mitigação eficaz dos perigos originalmente

identificados, antes indicando um valor de 80 e 22,5 para a produção e manutenção, respectivamente.

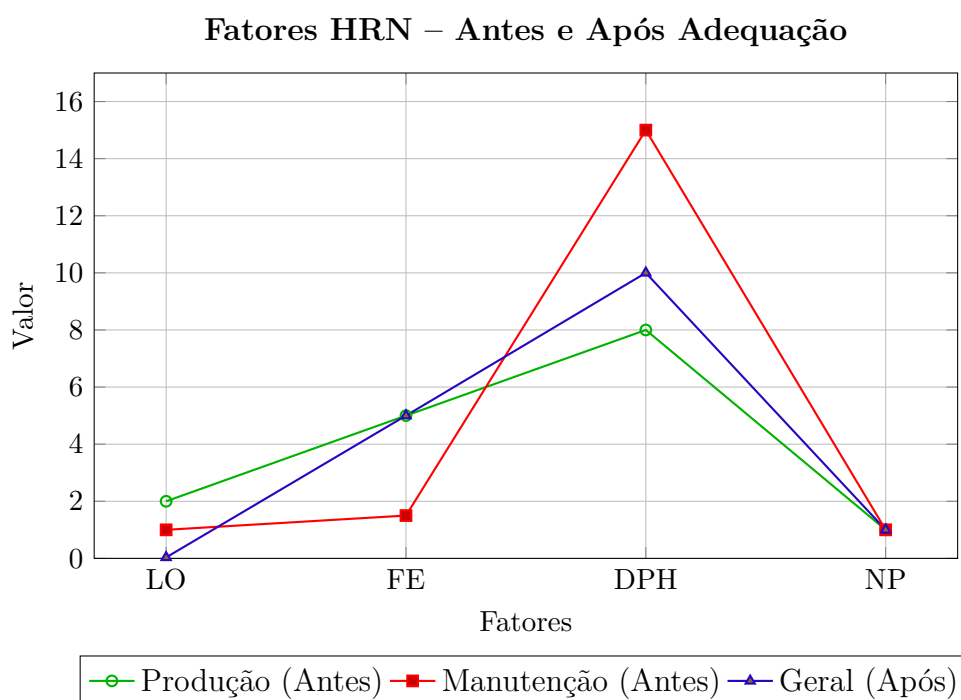
Tabela 14 – Comparativo dos Fatores HRN – Situação Antes e Após Adequação.

	HRN - Máquina SEM Adequação		HRN - Máquina Adequada
Fatores	Produção	Manutenção	Geral
LO	2	1	0,033
FE	5	1,5	5
DPH	8	15	10
NP	1	1	1
Equação (1)	80	22,5	1,65
Classificação do HRN	ALTO	SIGNIFICATIVO	BAIXO

Fonte: APR Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

A Tabela 14 apresenta o comparativo entre os valores dos fatores utilizados no cálculo do HRN antes e após a adequação da máquina, evidenciando uma significativa redução nos níveis de risco, especialmente no cenário de manutenção. Em complemento à análise e para facilitar a interpretação visual da melhoria obtida, a Figura 18 ilustra graficamente a variação dos fatores considerados.

Figura 18 – Gráfico comparativo dos fatores HRN antes e após a adequação.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

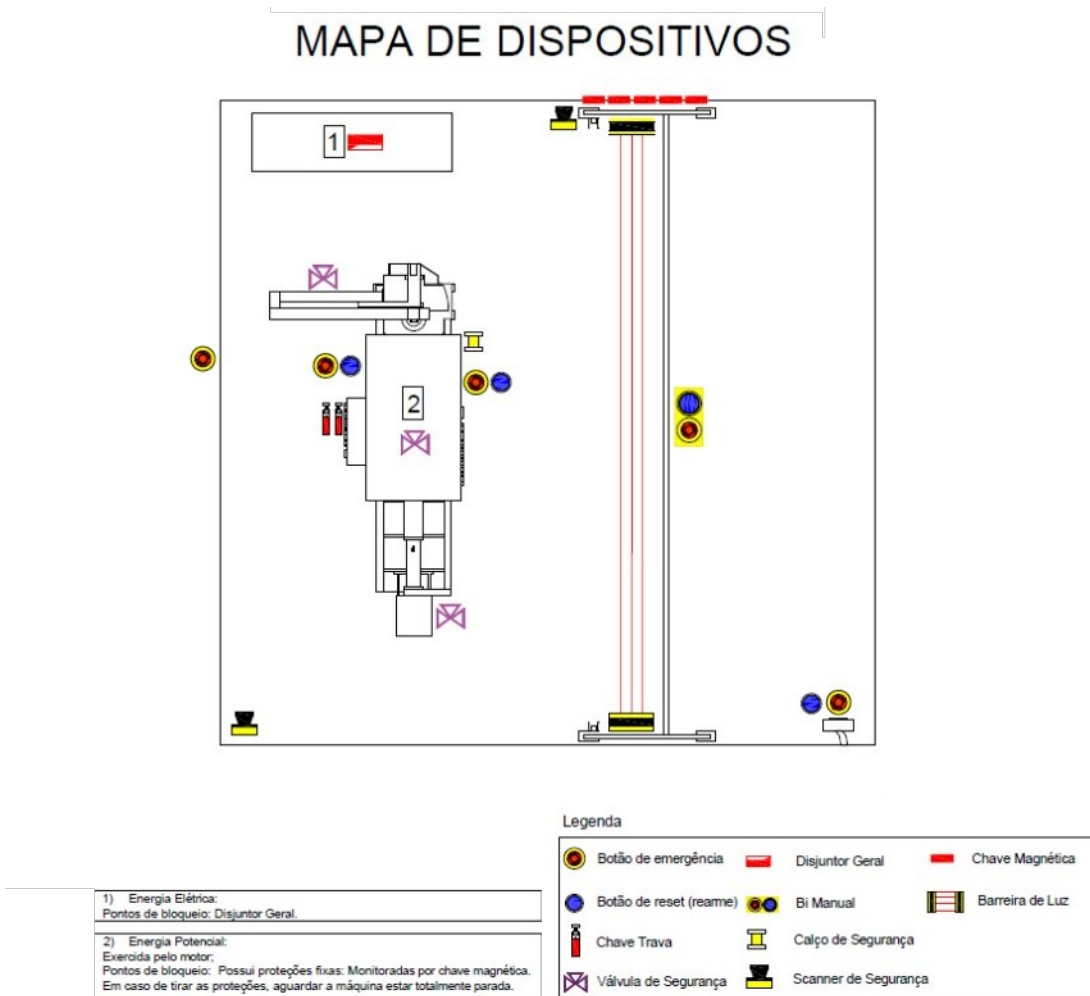
Essa relação direta entre os fatores de risco e o sistema de segurança implementado valida tecnicamente a adequação realizada, respaldando a emissão do laudo de conformidade à NR12 e autorizando a operação da máquina em condições adequadas de segurança e legalidade. Como complemento à análise e forma de comprovação prática das intervenções efetuadas, a próxima seção apresenta evidências fotográficas das adequações, organizadas conforme a natureza de cada proteção e vinculadas ao mapa de dispositivos descrito no laudo técnico.

5.2.2 Adequações Realizadas

Dando continuidade à comprovação das adequações realizadas na Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25, esta seção descreve os dispositivos de segurança implementados na máquina, apresentando suas respectivas funções e localizações, de modo que, como recurso de apoio visual, utiliza-se o Mapa de Dispositivos, que, embora não seja uma exigência direta da NR12, está alinhado às boas práticas de engenharia e foi elaborado conforme os padrões técnicos adotados pela empresa executora do projeto. Esse diagrama, indicado na Figura 19, tem como objetivo facilitar a identificação dos componentes relevantes do sistema de segurança — como botões de emergência, chaves magnéticas, sensores, barreiras de luz e scanners — contribuindo para a rastreabilidade, manutenção e verificação do atendimento normativo.

A representação gráfica também cumpre papel fundamental na organização do laudo fotográfico que será apresentado a seguir, pois cada imagem referente às proteções implementadas será relacionada a este mapa, permitindo ao leitor localizar precisamente aonde cada elemento está inserido na planta da célula de trabalho, tornando a documentação mais didática, clara e tecnicamente robusta, além de demonstrar o comprometimento da empresa com a excelência nos projetos de adequação à NR12.

Figura 19 – Mapa de Dispositivos de Segurança - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25.



Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Com base nesse mapa, as imagens dispostas a seguir apresentam, em ordem sistemática, as evidências fotográficas das adequações realizadas, organizadas conforme a natureza de cada proteção: iniciando pelas proteções fixas, seguidas das proteções móveis, dos dispositivos de sensoriamento, do painel elétrico e, por fim, das sinalizações de segurança. Cada fotografia está relacionada à sua posição e funcionalidade conforme documentado no mapa, consolidando a integração entre projeto, execução e verificação das medidas de segurança implementadas.

5.2.2.1 Proteções Fixas

A Figura 20 apresentada a seguir, ilustra as proteções mecânicas fixas perimetrais presentes ao redor da Prensa, compondo o enclausuramento da célula de trabalho, de modo que as estruturas foram desenvolvidas com perfis metálicos e painéis resistentes, com altura e afastamento conforme os parâmetros definidos na ABNT NBR ISO 13852, impedindo o acesso não autorizado às zonas de risco durante o funcionamento da máquina.

Figura 20 – Proteções Fixas - Perímetro da Prensa.



Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Em sequência, a Figura 21 mostra a proteção fixa instalada na esteira de transporte de sucata, que cobre a área das polias e partes móveis da esteira, aonde há risco de aprisionamento e cisalhamento, conforme indicado previamente na APR. A proteção foi feita com grade metálica, respeitando as distâncias mínimas de segurança da ABNT NBR ISO 13857, conforme ilustrado na tabela técnica ao lado, impedindo o contato acidental com as partes perigosas, atendendo ao item 12.38 da NR12.

Figura 21 – Proteções Fixas - Esteira de transporte de sucata.



Part of body	Illustration	Opening	Safety distance, s_r		
			Slot	Square	Round
Fingertip		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Finger up to knuckle joint		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
Hand		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^a$	≥ 120	≥ 120
Arm up to junction with shoulder		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

The bold lines within the table delineate that part of the body restricted by the opening size.

^a If the length of the slot opening is ≤ 65 mm, the thumb will act as a stop and the safety distance can be reduced to 200 mm.

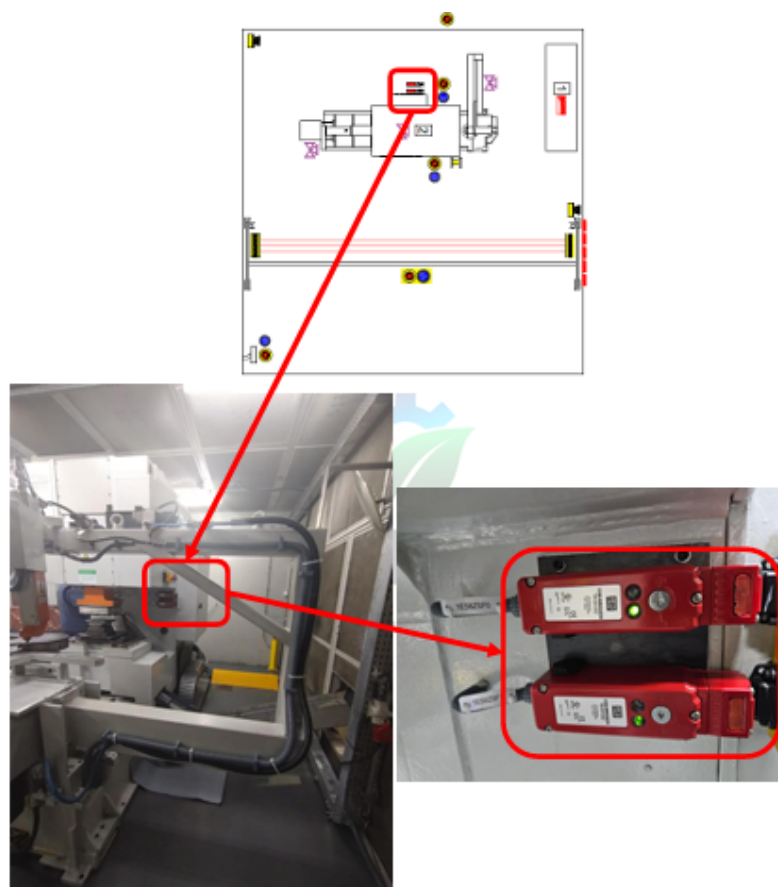
Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Com isso, destaca-se que ambas as proteções são classificadas como elementos passivos de segurança, por não possuírem sistemas de monitoramento ou intertravamento, tendo como função impedir o acesso direto a zonas de risco mecânico, como áreas de prensagem e sistemas de transporte de sucata, por meio de barreiras físicas robustas e adequadamente dimensionadas.

5.2.2.2 Proteções Móveis

A Figura 22 apresentada em sequência refere-se à proteção móvel localizada na parte traseira da Prensa, tratando-se de uma porta articulada equipada com duas chaves de segurança com intertravamento mecânico, instaladas conforme as diretrizes da ABNT NBR ISO 14119, sendo responsável por restringir o acesso à zona de transmissão de força e componentes internos da máquina.

Figura 22 – Proteção Móvel - Porta monitorada por chave trava.



Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Esses dispositivos estão integrados ao CLP de segurança CAT 4 – Siemens ET 200SP-F, garantindo que a porta permaneça travada enquanto a máquina estiver em operação, e que o acesso só seja liberado mediante condições seguras previamente atendidas, como a parada completa dos movimentos e o acionamento de um botão de solicitação de abertura por parte do operador.

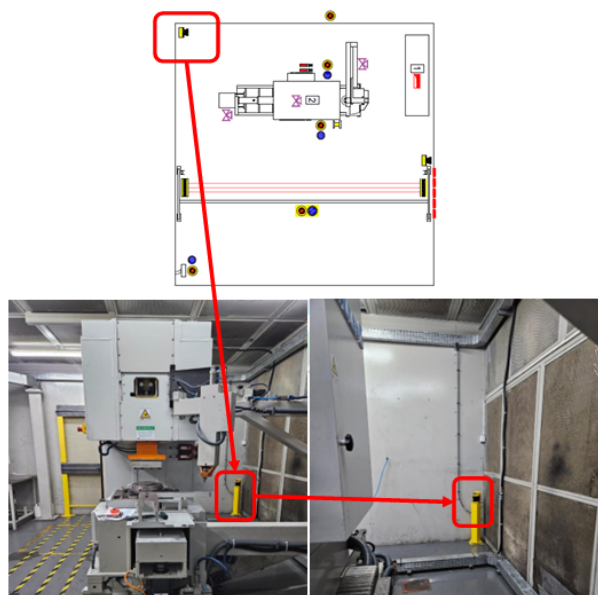
Esse tipo de intertravamento impede o acesso acidental ou não autorizado durante o funcionamento da máquina, atendendo aos requisitos estabelecidos nos itens 12.41, 12.43 e 12.45 da NR12, que determinam que proteções móveis associadas a zonas de risco devem ser intertravadas de forma a impedir a exposição enquanto houver energia perigosa ou movimento residual.

5.2.2.3 Dispositivos de Segurança - Sensores

Em respeito aos sensores de segurança, a Figura 23 e Figura 24 indicadas abaixo ilustram os dois *scanners* de segurança optoeletrônicos instalados na Prensa Hidráulica, posicionados estrategicamente nas regiões frontal e traseira da célula de trabalho, tendo

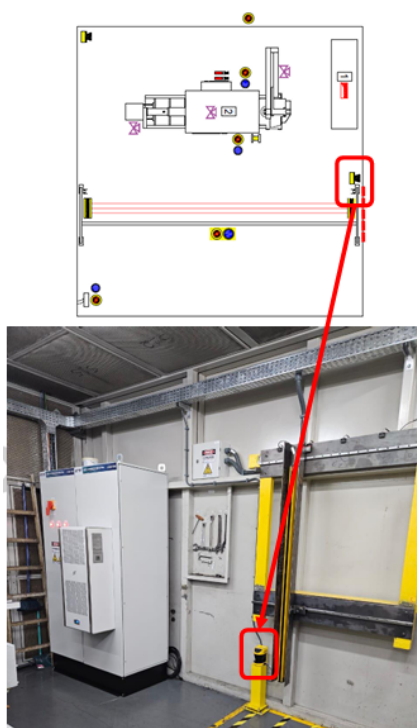
como função monitorar o perímetro da máquina e detectar qualquer violação nas zonas seguras configuradas durante o ciclo de operação.

Figura 23 – Sensores - *Scanner* de segurança parte traseira.



Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

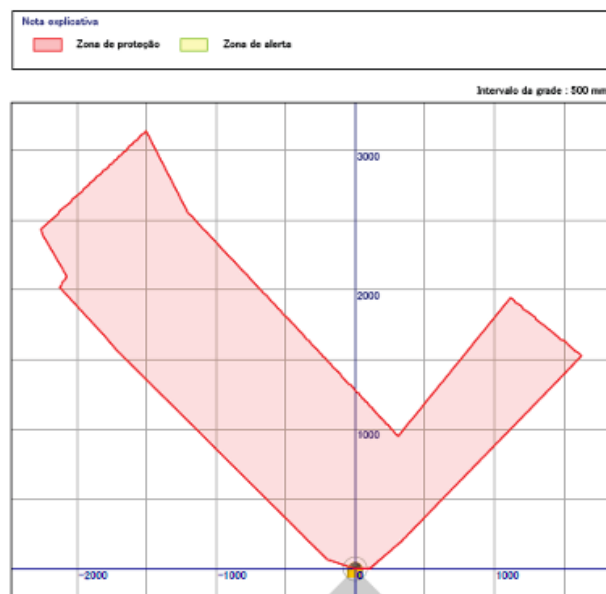
Figura 24 – Sensores - *Scanner* de segurança parte frontal.



Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Cada *scanner* cria uma zona de proteção 3D em formato de leque, conforme exemplificado na Figura 25 a seguir, capaz de identificar a entrada de qualquer objeto ou pessoa no campo de segurança, de modo que, ao detectar uma intrusão, o *scanner* envia um sinal imediato ao CLP de segurança, que atua desativando os movimentos perigosos da máquina. Esse tipo de proteção é especialmente eficaz em áreas em que não é possível o enclausuramento físico completo, garantindo flexibilidade e segurança funcional conforme os requisitos da IEC 61496-1/2 e ABNT NBR ISO 13849-1.

Figura 25 – Detalhamento - Zona de segurança *scanner* traseiro.

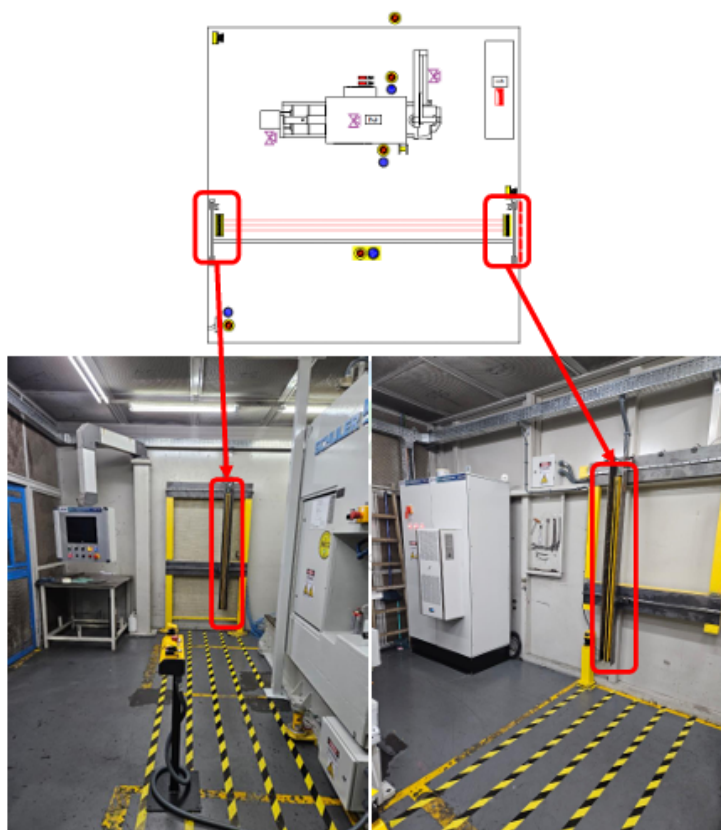


Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Em sequência, a Figura 26 ilustra o conjunto de cortinas de luz optoeletrônicas posicionadas na região frontal da máquina, protegendo diretamente a zona de prensagem — uma das áreas de maior criticidade operacional, complementando o monitoramento realizado pelos *scanners*, oferecendo uma barreira de proteção vertical, com feixes invisíveis de luz que, ao serem interrompidos por qualquer objeto ou pessoa, acionam imediatamente o CLP de segurança, interrompendo os movimentos da máquina.

Seu funcionamento baseia-se na emissão e recepção de múltiplos feixes de luz infravermelha entre os dois pilares instalados lateralmente ao ponto de acesso, de modo que, no momento em que um dos feixes é interrompido, mesmo que parcialmente, o sistema reconhece a intrusão e executa a paralisação segura do equipamento.

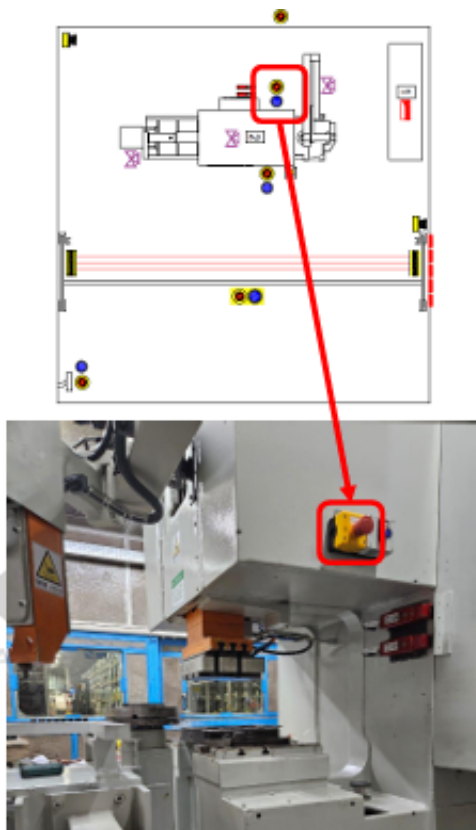
Figura 26 – Sensores - Cortina de luz frontal.



Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Já a Figura 27 apresenta um dos botões de emergência instalados na Prensa, sendo esse dispositivo essencial para a interrupção imediata da operação em caso de risco iminente, falha no sistema ou qualquer situação que comprometa a segurança do trabalhador, conforme preconizado pela NR12, item 12.56, estando posicionado estrategicamente na parte traseira da máquina, em área de fácil e rápida acessibilidade.

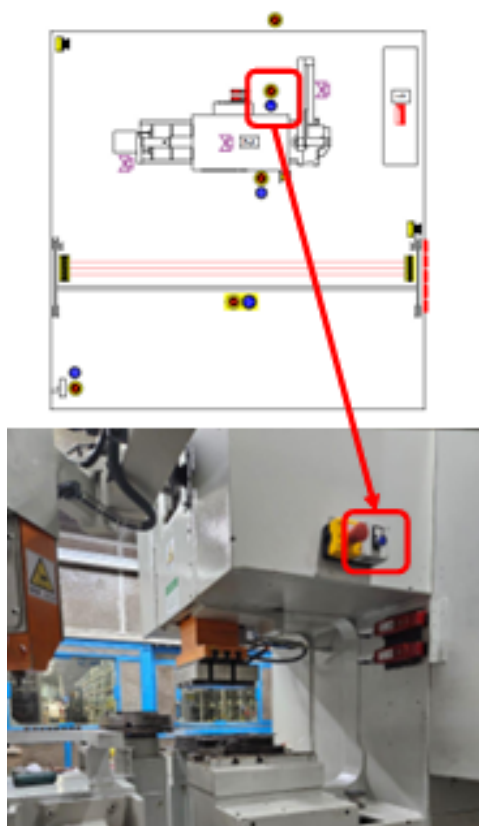
Figura 27 – Dispositivos - Botões de Emergência.



Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Em sequência, na Figura 28, apresenta-se agora um exemplo de botão de rearme manual, instalado estrategicamente ao lado do botão de emergência na parte traseira da máquina, de forma que esses dois elementos atuam de forma complementar dentro do sistema de segurança: enquanto os botões de emergência são responsáveis por interromper imediatamente o funcionamento da máquina em situações críticas, os botões de rearme garantem que o religamento só ocorra após a verificação das condições seguras de operação, sendo este realizado manualmente pelo operador, fora da zona de risco, conforme exigido pelo item 12.47 da NR12, evitando qualquer religamento automático e garantindo maior controle sobre a retomada das funções.

Figura 28 – Dispositivos - Botões de Rearme.



Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

Com o intuito de tornar a apresentação mais objetiva e didática, demonstrou-se, nesta seção, apenas um dos botões de emergência e rearme como exemplo ilustrativo, de modo que, os demais, podem ser consultados no Mapa de Dispositivos representado pela Figura 19, que apresenta a disposição completa e referenciada desses elementos no Mapa de Dispositivos da máquina.

5.2.2.4 Painel Elétrico

A seguir, apresenta-se, na Figura 29, a imagem do painel elétrico principal da Prensa, que concentra os componentes responsáveis pelo comando, proteção e alimentação do sistema de segurança da máquina, em que este foi projetado e montado conforme os padrões técnicos exigidos pelas normas NR10 e NR12, sendo submetido a verificação funcional e visual como parte do processo de validação técnica documentado no laudo de conformidade.

Figura 29 – Painel elétrico principal.



Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

A imagem permite visualizar o acabamento técnico, a organização interna e os demais elementos que compõem a interface operacional, de forma que todos os itens presentes foram analisados com base nos critérios normativos e estão sintetizados na Tabela 15 a seguir, que resume os principais pontos de conformidade do painel elétrico com as exigências legais aplicáveis.

Tabela 15 – Verificação do painel elétrico da Prensa de acordo com as normas NR10 e NR12.

Item Verificado	Descrição Técnica	Referência Normativa
Redundância dos circuitos de potência	Presença de 3 conjuntos redundantes: bomba hidráulica, esteira de sucata e motor principal	NR12, item 12.4.14
Comando em extra baixa tensão	Interface opera com 24Vcc	NR12, item 12.14.13
Chave geral com <i>logout</i> e <i>tagout</i>	Instalada no painel com travamento por cadeado em posse da manutenção	NR10 / NR12, item 12.3.5
Sistema de aterramento	Interligação de todas as partes condutivas com a malha de aterramento	NR12, item 12.3.2
Interface de segurança (CLP de segurança)	Sistema monitorado por CLP CAT IV ET 200sp / S7-1500 <i>SAFETY</i> Siemens	NR12, item 12.5.5
Relé de tensão zero	Relé SZS-W/22 utilizado para impedir religamento automático após falha	NR12, item 12.5.5
Sinalização de advertência e de comando	Sinalização visual clara no painel e etiquetas fixadas conforme padrões	NR12, item 12.12.1 a 12.12.4

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Com isso, essa documentação consolida o cumprimento das exigências da NR12, assegurando que o sistema elétrico da máquina foi dimensionado não apenas para seu funcionamento técnico, mas também para garantir a segurança operacional e a integridade física dos trabalhadores que interagem com o equipamento.

5.2.2.5 Sinalizações de Segurança

A sinalização de segurança foi implementada em pontos estratégicos da máquina, com o objetivo de alertar operadores e terceiros quanto aos riscos inerentes ao equipamento e às instruções corretas de operação e manutenção, em que, a Figura 30 apresentada a seguir, ilustra uma das sinalizações aplicadas diretamente sobre a estrutura da máquina, com destaque para sua visibilidade, clareza e adequação normativa.

Figura 30 – Indicação das sinalizações de segurança na máquina.



Fonte: Laudo de Conformidade - Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25 - Infra Automação Industrial.

As sinalizações aplicadas na máquina seguem os critérios estabelecidos pelo item 12.12 da NR12, estando posicionadas de forma visível, com linguagem clara em português e símbolos de fácil interpretação, de modo que essas desempenham um papel essencial na comunicação dos riscos operacionais e orientações de segurança, funcionando como complemento às medidas técnicas e administrativas adotadas na adequação da máquina.

Foram utilizadas etiquetas e placas de advertência diretamente fixadas na estrutura da máquina, em pontos estratégicos como zonas de prensagem, portas de acesso e painéis elétricos. Entre os principais alertas sinalizados estão os riscos de esmagamento, aprisionamento e puncionamento de membros, choque elétrico em diferentes níveis de tensão (380V, 220V e 24V), queimaduras por contato com partes aquecidas e instruções específicas para manutenção, como o aviso de não retirar proteções fixas sem autorização técnica.

6 CONCLUSÃO

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou demonstrar, de forma aplicada e sistematizada, a importância da adequação de máquinas industriais segundo os requisitos estabelecidos pela Norma Regulamentadora Nº 12, utilizando como objeto de estudo a Prensa Hidráulica Ranhuradeira N25. Através da aplicação da metodologia de Análise Preliminar de Riscos, foi possível identificar os perigos associados à operação da máquina, quantificar seus riscos e propor medidas corretivas e preventivas que permitissem sua adequação técnica e legal.

Inicialmente, o trabalho atendeu ao objetivo específico de identificar e classificar os perigos da máquina analisada com base nas diretrizes da NR12 e das normas técnicas complementares. Para isso, foi realizado um levantamento detalhado das zonas de risco, considerando diferentes modos de operação, manutenção e limpeza. Em seguida, procedeu-se ao desenvolvimento da APR, utilizando o método HRN como ferramenta estruturada para estimar os níveis de risco de cada perigo identificado, permitindo uma avaliação objetiva e fundamentada.

Posteriormente, foi possível propor e justificar tecnicamente as medidas de controle aplicáveis, respeitando a hierarquia de eficácia prevista na ABNT NBR ISO 12100, em que a definição das Categorias de Segurança e dos níveis de *Performance Level* requerido, associada à validação técnica dos sistemas de segurança, garantiu que cada função crítica fosse tratada com o grau de confiabilidade adequado, conforme as exigências da ABNT NBR ISO 13849-1.

A transição entre a etapa analítica e a execução prática foi conduzida por meio da elaboração e implementação do projeto de automação e segurança, incluindo o redesenho do sistema elétrico, a instalação dos dispositivos de proteção, o comissionamento da máquina e a verificação funcional das soluções adotadas, sendo que, eficácia das medidas implementadas, foi evidenciada pela expressiva redução dos valores de HRN e consolidada com a emissão do Laudo Técnico de Conformidade.

Além das intervenções técnicas, a conclusão do processo de adequação contemplou a entrega de toda a documentação exigida pelas normas NR10 e NR12, incluindo o Laudo de Conformidade, o Laudo de Aterramento, os certificados dos dispositivos de segurança, as ARTs dos projetos envolvidos e o manual de segurança da máquina. Além disso, observou-se também, a exigência normativa de capacitação dos operadores e técnicos, reforçando a importância da integração entre medidas físicas de proteção e ações administrativas de conscientização e treinamento.

Dessa forma, o trabalho alcançou todos os objetivos propostos, demonstrando que a aplicação estruturada da metodologia da APR, associada ao uso criterioso das normas técnicas vigentes, permite não apenas garantir a conformidade legal da máquina, mas também promover um ambiente de trabalho mais seguro, eficiente e alinhado às boas

práticas de engenharia. Os resultados obtidos reforçam que a segurança do trabalho deve ser tratada como um investimento estratégico, que agrega valor à operação industrial, reduz passivos trabalhistas e fortalece a cultura organizacional.

Como proposta para estudos futuros, recomenda-se a ampliação da aplicação da metodologia a diferentes tipos de máquinas e processos industriais, visando à comparação entre metodologias de análise de risco (como HRN, FMEA ou LOPA), à investigação dos impactos econômicos da adequação e à integração entre segurança de máquinas e sistemas de gestão industrial baseados na Indústria 4.0, de forma que, tais iniciativas, podem contribuir para o desenvolvimento de soluções ainda mais eficazes, rastreáveis e conectadas às necessidades da engenharia moderna.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12100:2013 – Segurança de máquinas – Princípios gerais de projeto – Avaliação e redução de risco**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/836590932/ABNT-NBR-ISO-12100>. Acesso em: 6 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 13849-1:2019 – Segurança de máquinas – Partes dos sistemas de comando relacionadas à segurança**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/409056235/Projeto-ABNT-NBR-ISO-13849-1-pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14121-1:2007 – Segurança de máquinas – Avaliação de risco – Parte 1: Princípios**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/38479/406737be3e9748739a3d8472cd297b1d/ISO-14121-1-2007.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BRASIL. **Consolidação das Leis do Trabalho. Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943**. [S.l.], 1943. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del5452.htm. Acesso em: 26 abr. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Manual de aplicação da NR12: segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/aesmadeira/manual-de-aplicacao-da-nr-12-pscrs.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.

COSTA, Fernando; PEREIRA, João. **Gestão de Riscos Ocupacionais: Metodologias e Aplicações**. São Paulo: Editora Segurança, 2019.

EUROPEAN STANDARD. **EN 60204-1. Safety of machinery – Electrical equipment of machines.** [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/763534083/EN-60204-1-2018>. Acesso em: 6 jun. 2025.

GROOVER, Mikell P. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura.** 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

GUERRA, Douglas F.; PAULINO, G. A.; PERUCCI, L. C.; PEREIRA, M. A.; SENNA, V. C.; GONÇALVES, L. M. Proposta de Adequação de um Moinho de Bolas de uma Empresa em Minas Gerais-Brasil à Norma Regulamentadora - NR-12. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021.

HEALTH e SAFETY EXECUTIVE. **Reducing risks, protecting people: HSE's decision-making process.** Londres: [s.n.], 2001. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6634988fcf3b5081b14f30cd/IQ8.10.J_Document_9_Health_and_Safety_Executive__Reducing_risks__protecting_people__HSE_s_decision-making_process__2001.pdf. Acesso em: 6 jun. 2025.

KÜNZEL, Walter Luís; RODRIGUES, Gerson. **HRN (Hazard Rating Number) na Norma NR-12: Eficácia x Obrigatoriedade.** [S.l.: s.n.], 2019. CREA-SC, B&K Consultoria e Projetos em Engenharia Mecânica. Disponível em: https://portal.crea-sc.org.br/wp-content/uploads/2019/06/okArtigo_-HRN.pdf. Acesso em: 13 abr. 2025.

KÜNZEL, Walter Luís; RODRIGUES, Gerson. **HRN (Hazard Rating Number) na Norma NR-12: Eficácia x Obrigatoriedade.** 2019. Disponível em: https://portal.crea-sc.org.br/wp-content/uploads/2019/06/okArtigo_-HRN.pdf. Acesso em: 13 abr. 2025.

MARTINS, M. R.; LEÃO, C. P. Integrating human factors into the risk assessment of industrial machines. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 26, n. 1, p. 56–64, 2013.

MENDES, René; DIAS, Eduardo C. **Da Medicina do Trabalho à Saúde do Trabalhador.** São Paulo: Hucitec, 1991.

NR12 e sua aplicação em conformidade com a ISO 12100. **Revista BR Mecatrônica**, 2021.

OLIVEIRA, João L.; SANTOS, R. D. Análise das principais dificuldades na adequação à NR12. **Revista Científica de Educação e Saúde REASE**, v. 9, n. 3, 2022.

PRISMA ENGENHARIA. **Adequação NR-12: o que é, como fazer, procedimentos e segurança para máquinas**. 2024. Disponível em: <https://prismaeng.com/blog/adequacao-nr12-como-adequar-maquinas-seguranca-conformidade/>. Acesso em: 26 abr. 2025.

SANTOS, P.; SILVEIRA, A.; DUARTE, P.; MELO, E.; BARROS, J. A. Adequação da NR-12 em Oficinas de Usinagem: Análise e Recomendações para Melhoria da Segurança. **Revista Ferramental Técnica**, v. 29, n. 140, nov. 2024.

WANG, J.; AL., et. Risk assessment of machine tools: Lessons from European accidents. **Safety Science**, v. 161, p. 106074, 2023.