



Pontifícia
Universidade
Católica do
Rio de Janeiro

Mariana de Souza Ferreira

**A aplicação da Inteligência
Artificial nas adequações dos
equipamentos industriais**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Renato Bichara Vieira

Rio de Janeiro
Dezembro de 2025

Dedico este trabalho em memória do meu Pai, Francisco Alves Ferreira,
que me deixou um legado de força, honestidade e garra.
E principalmente amor pela família.

Agradecimentos

A Deus, primeiramente, por ter me fortalecido com cada passo até aqui, por ter me guiado e muitas vezes ter me ensinado a esperar e confiar Nele. A Ele toda Honra e Glória.

Aos meus pais e meu irmão, Francisco, Rozana, Tatiana e Felipe. Por todo investimento emocional: sempre acreditando e me fazendo enxergar o quão alto pode ser meu futuro antes mesmo de eu acreditar, pelo investimento físico: lutaram lado a lado comigo, me levando e buscando em inscrições, provas e solicitações de bolsas de estudo e pelo investimento financeiro: com livros, cursos e viagens sempre me impulsionando para conhecer o mundo antes mesmo deles terem conhecido. Vocês sempre foram minhas inspirações, meu Pai com sua Honestidade, minha mãe com sua Sabedoria, minha irmã com seu imenso amor/orientação e meu irmão com sua fortaleza/dedicação.

Aos meus amigos, companheiros de jornada e agora de vida, Guta, Rubyson, João e Marcela, vocês tornaram os dias mais leves com as melhores risadas, conversas e planos de futuro. Sempre fica mais fácil com pessoas lutando junto com você.

Aos meus amigos de infância e de vida, vocês sempre estiveram nos meus melhores e piores momentos. Dedico as minhas melhores amigas, Cindy e Gabi, pelas conversas profundas, pela torcida verdadeira e pelas gargalhadas. Agradeço principalmente por terem trazido para minha vida, Gustavo pelo cuidado e carinho com minha família e André pela leveza das conversas e bondade.

Aos meus Pet's: Bolinha, Snoopy e Lua. Meus amores, grata por terem sido e serem meus apoios em momentos de estresse me trazendo a sanidade e todo amor.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio, pelo acolhimento e suporte administrativo. Aos meus professores; espero ter desenvolvido um trabalho, através dos ensinamentos das disciplinas que cursei. E à universidade PUC-Rio, onde tive o prazer de construir minha formação acadêmica.

Aos Engenheiros e técnicos que me capacitaram sobre análise de risco e ao apoio da Coordenação e Supervisão da Indústria de bebidas onde foi passada o estudo de caso.

Resumo

Ferreira, Mariana de Souza. **A aplicação da Inteligência Artificial nas adequações dos equipamentos industriais.** Rio de Janeiro, 2025. 81p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Em vista, do alto risco de um equipamento industrial conhecido como paletizadora, e o seu histórico de fatalidade, foi levantada a necessidade de adequação do equipamento sobre a NR-12. Com isso, a proposta deste trabalho é levar a inovação tecnológica através de uma câmera com inteligência artificial integrada monitorando todo equipamento em relação a qualquer ato ou situação insegura, mitigando assim o risco. O dispositivo contará com uma arquitetura de ligação do sistema, elevando o sistema de monitoramento que não era de categoria suficiente a uma categoria 4 de segurança. As metodologias com base na ISO 12100 e NBR14153, como a categoria de segurança e a metodologia quantitativa HRN classificando risco, demonstrará o resultado antes e depois da implementação da câmera com inteligência artificial. Destacando a inovação tecnológica, redução de custos de manutenção, aumento da confiabilidade operacional e valorização da percepção de segurança dos colaboradores.

Palavras-chave

Industrial; Inovação; Segurança; Custo; Inteligência Artificial

Abstract

Ferreira, Mariana de Souza. **The application of Artificial Intelligence in the adaptation of industrial equipment.** Rio de Janeiro, 2025. 81p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Given the high risk associated with an industrial piece of equipment known as a palletizer, and its history of fatalities, the need to adapt the equipment to comply with NR-12 (Brazilian Regulatory Standard 12) was identified. Therefore, this work proposes to introduce technological innovation through a camera with integrated artificial intelligence that monitors all equipment for any unsafe act or situation, thus mitigating risk. The device will feature a system connection architecture, upgrading the monitoring system from a category insufficient to a category 4 safety level. Methodologies based on ISO 12100 and NBR14153, such as safety category classification and the HRN quantitative risk classification methodology, will demonstrate the results before and after the implementation of the AI-powered camera. This highlights technological innovation, reduced maintenance costs, increased operational reliability, and enhanced employee safety perception

Keywords

Industrial; Innovation; Security; Cost; Artificial Intelligence

Sumário

1. Introdução	12
2. Referencial Teórico	16
2.1. Norma Regulamentadora 12 (NR-12)	16
2.2. CALL TO ACTION	18
3. Análise de Risco	20
3.1. Apreciação de risco	20
3.2. Aplicação do Hazard Rating Number (HRN)	21
3.3. Categoria de segurança	24
3.4. Nível de desempenho requerido (PLr)	27
4. Estudo de caso	30
4.1. Caracterização do equipamento	31
4.2. Cenário inicial (antes da I.A.)	34
4.2.1. Paletizadora Sessão A – análise de risco	35
4.2.1.1. Recomendações de adequação – Sessão A	40
4.2.2. Paletizadora Seção B – Análise de risco	46
4.2.2.1. Recomendações de adequação – Seção B	50
4.2.3. Paletizadora Seção C – Análise de risco	52
4.2.3.1. Recomendações de adequação – Seção C	58
4.3. Cenário com IA integrada	60
4.3.1. O que é Inteligencia Artificial (IA)?	60
4.3.2. Aplicação de Tecnologias avançadas na segurança de equipamento	62
4.4. Componentes da IA integrada	64
4.4.1. PixSafety	64
4.4.2. Câmera com IA integrada	66
4.5. Arquitetura do sistema de ligação	67
4.6. Adequações das Seções A, B, C com a integração da IA	69
5. Considerações finais	77
6. Referências Bibliográficas	79

Lista de Figuras

Figura 1 - Desenho técnico do 1º Nível do Fluxo do equipamento.....	35
Figura 2 – Quadro Seção A / Magazine de Pallet	36
Figura 3 –Seção A / Magazine de Pallet I	36
Figura 4 – Quadro Seção A / Magazine de Pallet III.....	37
Figura 5 – Quadro Seção A / Magazine de Pallet IV.....	37
Figura 6 – Performance Level Requerido da Seção A.....	39
Figura 7 – Pontos rotativos protegidos	41
Figura 8 – Gradil	41
Figura 9 – Cortina de luz no acesso	42
Figura 10 – Cortinas de luz	43
Figura 11 – Scanner 270°.....	43
Figura 12 – Demarcação da zona de rico no software.....	44
Figura 13 – Fonte catálogo Keyence	44
Figura 14 – Botão de emergência instalada	45
Figura 15 - Transporte de Pallet Seção B	47
Figura 16 - Transporte de Pallet Seção B I	47
Figura 17 – Performance level requerido da Seção B.....	49
Figura 18 – Gradil como proteção fixa	51
Figura 19 – Chave de segurança magnética	51

Figuras 20 – Pontos críticos Seção C	53
Figuras 21 – Pontos críticos Seção C I	53
Figuras 22 – Pontos críticos Seção C II	54
Figuras 23 – Pontos críticos Seção C III	54
Figuras 24 – Pontos críticos Seção C IV.....	55
Figuras 25 – Pontos críticos Seção C V	55
Figura 26 – Categoria de Segurança da Seção C	57
Figura 27 – Performance Level requerido da Seção C.....	57
Figura 28 – Equipamento 100% enclausurado e monitorado	59
Figura 29 – Sistema de Ligação	59
Figura 30 – PLr do equipamento global	71
Figura 31 – Câmera com IA	72
Figura 32 – Zona de risco demarcada.....	73
Figura 33 – Câmera demarcando o colaborador na zona de atenção.....	74
Figura 34 – Colaborador na zona de risco acionando parada segura	74

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Probabilidade de ocorrência - LO	22
Tabela 2 – Frequência de exposição -FE.....	22
Tabela 3 – Grau de possível lesão -DPH.....	22
Tabela 4 – Número de pessoas expostas ao risco -NP	23
Tabela 5 – Grau de risco	24
Tabela 6 – Grau de risco I	25
Tabela 7 – Base para o nível de performance (PL).....	26
Tabela 8 – Instrumento	28
Tabela 9 – Caracterização básica do equipamento.....	33
Tabela 10 – Identificação dos Risco da Seção A	38
Tabela 11 – Cálculo HRN da Seção A do processo de paletização	39
Tabela 12 – Categoria de Segurança da Seção A	39
Tabela 13 – Cálculo do HRN atual (II)	45
Tabela 14 – Identificação dos Risco Seção B	48
Tabela 15 – Calculo do HRN atual	48
Tabela 16 – Categoria de segurança da Seção B	48
Tabela 17 – Categoria de segurança da Seção B I	52
Tabela 18 – Identificação dos Riscos Seção C	56
Tabela 19 - HRN Seção C	56
Tabela 20 – Cálculo do HRN atual	60
Tabela 21 – Comparando componentes	64

Tabela 22 – Identificação dos riscos do equipamento como todo.....	70
Tabela 23 – HRN do equipamento global	70
Tabela 24 – Categoria de segurança do equipamento de forma global	71
Tabela 25 – Calculo do HRN Residual do equipamento	75
Tabela 26 – Preço aproximado	78

Lista de Abreviaturas

CLPs – Controladores Lógicos Programáveis

DPH – *Degree of Possible Harm*

HRN – *Hazard Rating Number*

IA – Inteligência Artificial

IoT – Internet das Coisas

LO – Likelihood of Occurrence

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

NRs – Normas Regulamentadoras

NR-12 – Norma Regulamentadora nº12

PLr – Performance Level requerida

SIF – *Serious Injury or Fatality*

1. Introdução

Diante do cenário atual, na quarta revolução industrial, onde é caracterizada pelo encontro de tecnologias digitais, físicas e biológicas, alterando a forma que vivemos e trabalhamos. A Inteligência Artificial (IA), internet das coisas (IoT) e automação avançada tem se tornado bastante presente em nosso dia a dia. Sobretudo em contexto industrial, onde o objetivo é a eficiência e o volume de produção, porém um tópico pouco observado, mas muito importante para o processo produtivo e de qualidade do produto é a segurança dos colaboradores.

Com o avanço da Indústria 4.0, a aplicação da inteligência artificial surge como uma aliada estratégica na prevenção de acidentes. Apesar dos avanços tecnológicos, muitas empresas ainda enfrentam dificuldades em adaptar seus equipamentos às exigências da Norma Regulamentadora nº12 (NR-12). A IA pode ser uma solução promissora, mas sua implementação exige cuidados técnicos e éticos.

No cotidiano industrial, observa-se necessidades e oportunidades de melhoria na segurança de seus colaboradores pois a atuação operacional ou técnica na área industrial, em grande parte, envolve contato direto “homem-máquina”. Na qual, dependendo da atividade é quase inevitável o contato livre de seu operador ao risco.

Em processos investigativos de ocorrências acidentais e descrições operacionais, de colaboradores fabris, é notável que não houve avanços consideráveis no campo da segurança dos equipamentos e dos colaboradores. Muitas das vezes indústrias se mantêm presas ao modelo antigo de proteção, como em proteções fixas, por exemplo, grades, barreiras de segurança ou portas. Assim, observou-se a crescente demanda por soluções inteligentes que promovam ambientes industriais mais seguros e eficientes.

As indústrias brasileiras devem cumprir os requisitos estabelecidos pela NR-12, com o objetivo de assegurar a integridade física dos trabalhadores, prevenir acidentes e doenças ocupacionais, bem como evitar sanções legais e possíveis interdições das áreas produtivas.

A NR-12 define parâmetros mínimos para a instalação, operação e manutenção de máquinas e equipamentos, com foco na preservação da vida e da saúde dos colaboradores, além de contribuir para o aumento da confiabilidade dos processos industriais.

Ao longo deste trabalho, serão apresentadas as metodologias de apreciação de risco, Hazard Rating Number (HRN), categoria de segurança e Performance Level requerida (PLr) que serão aplicadas as máquinas e equipamentos, conforme os preceitos da NR-12. Serão discutidos os impactos dos resultados obtidos sobre as decisões de adequação ou restrição do uso dos respectivos dispositivos. O enfoque principal recairá sobre as soluções tecnológicas adotadas para atender às exigências identificadas na apreciação de risco.

Estudos recentes demonstram o crescente interesse por conexão entre segurança e inovação. Este trabalho, será fundamentado em estudo de caso, assim como em autores: João Baptista Beck Pinto e Armando Campos do “NR12-Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos: gerenciando riscos”¹ e o consultor de segurança da Schmersal e especialista em NR-12, José Amauri Martins, são relevantes para a compreensão do que é a inovação para o futuro da segurança de equipamentos no campo industrial.

Empresas com soluções inovadoras como: ABB (acrônimo de Asea Brown Boveri) e Schmersal, são referências global quando o assunto é inovação e segurança em equipamentos industriais. Combinando tecnologia de última geração com sistemas de controle e automação para garantir ambientes industriais mais eficientes, seguros e inteligentes.

A ABB, desenvolveu o sistema “Independent High Integrity” (HI), com certificação internacional SIL3 TÜV, voltado para aplicação críticas de segurança em indústrias como petróleo, gás, papel e celulose. Este sistema permite: Diagnóstico quase total de falhas sem depender de redundância complexa, Integração com diferentes plataformas de controle e alta disponibilidade.

Logo, este trabalho fundamenta-se em referencial teórico e em um estudo de caso conduzido em ambiente industrial, com o objetivo de analisar a aplicação da inteligência artificial (IA) em equipamentos utilizados no setor produtivo. A investigação será pautada em indicadores de grau de risco dos dispositivos, por meio do cálculo do Hazard Rating Number (HRN), categoria de segurança e a Performance Level requerida (PLr), bem como na avaliação de seu desempenho operacional.

¹ Campos A; Pinto JBB. NR 12 segurança no trabalho em máquinas e equipamentos: gerenciando riscos. São Paulo, SP, Brasil: Senac São Paulo, 2019. 376 p.

Acredita-se que, por meio da metodologia proposta, será possível demonstrar que a utilização da IA representa não apenas um avanço significativo em termos de produtividade, mas também uma contribuição relevante para o aprimoramento da segurança de máquinas e equipamentos industriais.

Inicialmente, com base nos dados coletados, será realizada a apreciação de risco e o cálculo do HRN em um equipamento específico, nomeado como paletizadora devido a sua funcionalidade, pertencentes a uma linha de produção de bebidas. Para este equipamento, serão analisados os parâmetros exigidos para o cálculo do HRN e PLr, bem como as medidas de adequação necessárias conforme os requisitos da Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12). Tais medidas incluem, principalmente, manutenções corretivas em grades de proteção fixas, proteções móveis e dispositivos de intertravamento.

Em etapa posterior, os mesmos equipamentos serão reavaliados, desta vez com a integração de um componente de segurança baseado em inteligência artificial. Esse dispositivo será responsável por realizar a leitura das áreas de risco e das zonas de atenção, denominadas “red zones”, previamente modeladas por software e demarcadas ao redor dos equipamentos. Tais áreas são consideradas críticas para a segurança dos colaboradores, especialmente em situações de aproximação indevida.

O componente de IA, ao identificar uma tentativa de acesso inseguro, poderá acionar diferentes respostas programadas, tais como: intertravamento do equipamento, ativação de barreiras físicas ou emissão de alarmes sonoros e visuais, conforme o nível de risco detectado.

Após a implementação do componente de segurança, será realizada nova análise do HRN e do PLr, considerando os resultados obtidos resultará no grau de risco residual. Com isso será demonstrado as medidas de adequação necessárias e os custos de manutenção envolvidos.

A partir do comparativo entre os cenários pré e pós-integração da IA, será possível concluir qual alternativa apresenta maior eficácia na manutenção da segurança operacional, com melhor desempenho e menor custo associado.

Serão também abordados outros dispositivos inovadores aplicáveis à segurança de equipamentos industriais, como PixSafety, câmeras com IA embarcada e scanners, destacando-se especialmente as funcionalidades das câmeras inteligentes, capazes de distinguir diferentes tipos de objetos como máquinas,

empilhadeiras, pessoas e animais , identificar cores e aferir a temperatura ambiente, ampliando significativamente as possibilidades de aplicação.

Por fim, será detalhado o processo de comunicação e programação desses dispositivos, que ocorre por meio de integração com Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), relés de segurança e atuadores, conforme os objetivos específicos de cada aplicação.

Este estudo tem como proposição central demonstrar como a inovação tecnológica, em especial a aplicação da inteligência artificial, pode contribuir significativamente para a segurança de equipamentos industriais no contexto da Quarta Revolução Industrial. A proposta visa evidenciar melhorias nos processos produtivos, incremento na proteção dos dispositivos, redução dos riscos operacionais e fortalecimento da confiança dos colaboradores em suas atividades, resultando, conseqüentemente, em maior desempenho operacional.

Além dos avanços relacionados à segurança e à interação entre homem e máquina, espera-se evidenciar, por meio do estudo de caso, uma redução nos custos de manutenção. Tal expectativa fundamenta-se na comparação entre os métodos tradicionais de proteção, baseados em barreiras físicas fixas e móveis, que demandam manutenções frequentes e apresentam elevado custo. Enquanto as soluções inteligentes integradas por meio da inteligência artificial, que oferecem alternativas mais eficientes e economicamente viáveis.

2. Referencial Teórico

2.1. Norma Regulamentadora 12 (NR-12)

O avanço tecnológico no setor industrial tem promovido uma crescente integração entre operadores humanos e sistemas automatizados, especialmente por meio das Interfaces Homem-Máquina (IHMs). Essa interação, embora traga ganhos significativos em produtividade e controle de processos, também introduz novos riscos operacionais que impactam diretamente a segurança dos colaboradores. Com tais mudanças, muitas vezes implementadas de forma não sistematizada, têm exigido das organizações uma revisão de suas práticas operacionais com vistas à mitigação de riscos e à promoção de ambientes laborais mais seguros.

A aplicação de normas: como a NR-12 e ANSI/ISA-101.01², têm se mostrado eficaz na padronização de interfaces que levam segurança e favorecem a tomada de decisão a condições anormais de equipamentos³.

Visto isso, a literatura aponta que a ausência de controle sistematizado na introdução de novas tecnologias pode resultar em sobrecarga de informação, perda de consciência situacional e aumento da probabilidade de acidentes. A pesquisa realizada na Universidade Federal de Ouro Preto⁴ reforça que a adoção de boas práticas no desenvolvimento de IHMs contribui para a mitigação de riscos e para a eficiência operacional, especialmente em ambientes críticos como mineração e geração de energia.

Com o objetivo de estabelecer um padrão mínimo de segurança entre empresas que operam com processos industriais, o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) instituiu um conjunto de Normas Regulamentadoras (NRs), voltadas à promoção de ambientes laborais seguros e à prevenção de acidentes. Dentre essas normas, destaca-se a NR-12, que é uma base obrigatória e fundamental

² INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. ANSI/ISA-101.01-2015: Human Machine Interfaces for Process Automation Systems. Research Triangle Park, NC: ISA, 2015.

³ FONSECA, Ygor de Azevedo. Estudo e implementação de interfaces homem-máquina (IHMs) industriais embasadas em normas reconhecidas. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Elétrica. 2025.

⁴ FIGUEIREDO, Letícia Aparecida. Desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina (IHM) Industrial de Alta Performance Baseada no Estudo da Norma ISA-101 Aplicada a Processos de Mineração. TCC (graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2024.

para análise neste estudo de caso, por tratar especificamente da segurança na operação de máquinas e equipamentos⁵.

A NR-12, juntamente com seus anexos, define requisitos técnicos, princípios fundamentais e medidas de proteção destinadas à preservação da saúde e da integridade física dos trabalhadores. Essa regulamentação abrange todas as fases do ciclo de vida das máquinas e equipamentos desde o projeto, fabricação, importação, comercialização e exposição, até a utilização e cessão, em qualquer atividade econômica⁶. Com isso, a norma estabelece diretrizes mínimas para a prevenção de acidentes e doenças ocupacionais, sem prejuízo da observância das demais NRs aprovadas pela Portaria MTb nº 3.214, de 8 de junho de 1978⁷, bem como das normas técnicas oficiais e internacionais aplicáveis.

Devido a sua importância, por exercer esta segurança mínima e necessária para prevenção da saúde e integridade física, a NR-12, estabelece requisitos técnicos e procedimentos que devem ser seguidos para garantir a segurança no trabalho com máquinas e equipamentos. A norma orienta as empresas chegarem à conformidade por meio de etapas sistemáticas que envolvem desde o levantamento técnico até a validação das adequações realizadas.

Segundo o artigo 12.1.9 da NR-12, devem-se considerar as características das máquinas e equipamentos, do processo, a apreciação de riscos e o estado da técnica para a implementação das medidas de proteção. Complementarmente, conforme destacado por especialistas, o processo de adequação pode ser dividido em sete etapas fundamentais:

- a) Levantamento e Diagnóstico Inicial; onde será realizado o inventário de todas máquinas e equipamentos. Com identificação de não conformidades em relação a NR12.

⁵ ABIMAQ. NR-12: O que é e para que serve essa norma regulamentadora? 2023. Disponível em: <https://abimaq.org.br/blogmaq/1718/nr-12-o-que-e-e-para-que-serve-essa-norma-regulamentadoraj#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20a%20NR%2D12?.mercado%20e%20%C3%A0s%20novas%20tecnologias>. Acesso em: 28 nov. 2025.

⁶ BRASIL. NR-12 Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/ acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2025.

⁷ BRASIL. Ministério do Trabalho Gabinete do Ministro. Portaria nº 3.214, 8 de junho de 1978. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/1978/portaria_3-214_aprova_as_nrs.pdf. Acesso em: 28 nov. 2025.

- b) **Apreciação de Risco;** que se configura em um estudo técnico feito por um profissional qualificado, para identificar riscos associados e elabora um plano de ação como medidas de proteção para mitigar os riscos a níveis aceitáveis ou sinalizar o risco existente.
- c) **Planejamento de Intervenções;** desenvolver um plano de controle as ações de adequação, detalhado com prioridade, níveis de riscos, orçamento e cronograma de execução, com prazos e responsáveis.
- d) **Implementação das Adequações;** etapa de execução das atividades planejadas, instalação de proteções físicas, moveis, sinalizações, etc.
- e) **Treinamento de Colaboradores;** capacitação sobre o modo correto dos processos e utilização da máquina, orientação sobre procedimentos de emergência e segurança.
- f) **Documentação técnica;** Emissão de laudos técnicos de conformidade, registros de intervenções e treinamentos.
- g) **Auditoria e Manutenção Contínua;** validações periódicas para garantir a segurança dos equipamentos, e atualizações dos processos sempre que necessário⁸.

Através dessas etapas, as empresas são conduzidas a como se assegurar quanto a integridade física dos colaboradores em todas as fases do ciclo operacional, abrangendo atividades como limpeza, manutenção, inspeção, transporte e ajustes de máquinas e equipamentos.

Ao normatizar essas práticas, a NR-12 contribui para a construção de uma cultura organizacional voltada à prevenção de acidentes e à preservação da saúde ocupacional, conforme previsto na Portaria MTE nº 3.214/1978⁹.

2.2. CALL TO ACTION

O termo “Call to action”, traduzindo para chamada para ação, é um programa da companhia do estudo de caso que será avaliado, onde sempre que ocorrem acidentes com SIF (*Serious Injury or Fatality*) ou SIF em potencial, ou seja, com

⁸ LOCASTRO, João Carlos. JORGE, Gabriel Xavier. GARCIA, Mario Vinicio. Estudo bibliográfico acerca da aplicação da NR 12 para a segurança de trabalhadores em máquinas e equipamentos. *Journal of Exact Sciences – JES*. Vol.41,n.1,pp. 14-21 (Abr – Jun 2024). Disponível em: https://www.mastereditora.com.br/periodico/20240413_205156.pdf. Acesso em: 28 nov. 2025.

⁹ BRASIL. op. cit.

mutilação ou fatalidade. É gerada uma investigação sobre o ocorrido e gerada ações de alertas com de prevenções.

Em 2023, teve um acidente fatal em um equipamento de paletização de camada de produto. Onde o colaborador, abriu a porta do equipamento que não parou imediatamente, á destacando uma grande inconformidade. O operador se debruçou para ajustar um processo de pacote quando a mesa de elevação subiu e a paletizadora seguiu o processo de paletização elevando o colaborador e esmagando durante o processo.

Com este, trágico acontecimento foram realizadas diversas ações de mitigação e de controle de risco principalmente neste equipamento considerado de alto risco.

3. Análise de Risco

3.1. Apreciação de risco

Uma das etapas que será abordada mais detalhadamente no decorrer deste relatório é a apreciação de risco de máquinas e equipamentos, esta etapa se faz fundamental para a conclusão do estudo de caso a ser realizado.

Como bem definida anteriormente, a análise de risco aplicada a máquinas e equipamentos industriais consiste em um estudo realizado durante as fases de concepção e desenvolvimento de um projeto ou sistema, com o objetivo de identificar os possíveis riscos que poderão ocorrer durante sua fase operacional.

A partir dessa identificação, são propostas medidas de segurança destinadas à minimização ou eliminação dos riscos detectados. É fundamentada na aplicação de técnicas específicas e detalhadas, baseadas nas normas vigentes, visando à determinação dos riscos e à definição das medidas corretivas e preventivas a serem implementadas nos equipamentos.

A partir da descrição dos riscos, são identificadas suas causas (agentes) e efeitos (consequências), o que possibilita a formulação de ações eficazes para a prevenção ou correção dos problemas encontrados.

A seguir, apresenta-se o processo seguido para a condução de um processo iterativo de avaliação de riscos em máquinas, conforme diretrizes normativas:

1º - Devem ser determinados os limites da máquina, considerando o uso pretendido e qualquer forma de uso indevido previsível;

2º - Em seguida, é necessário identificar os perigos que podem ser gerados pela máquina e relacioná-los às situações perigosas correspondentes;

3º - Posteriormente, realiza-se a estimativa dos riscos, levando em conta a gravidade das possíveis lesões ou danos à saúde, bem como a probabilidade de ocorrência;

4º - A avaliação dos riscos deve considerar a necessidade de sua redução, conforme os critérios técnicos e legais aplicáveis;

5º - Por fim, os perigos devem ser eliminados ou os riscos associados devem ser reduzidos por meio da implementação de medidas de proteção adequadas.

Esse processo está em condução com os princípios estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO12100:2013¹⁰, que trata da apreciação e redução de riscos em máquinas.

Para aplicação deste método sobre a condução da análise de risco, opta-se por utilizar como suporte, ferramentas quantitativas e qualitativas de risco com base na NBR ISO 12100:2013 como referência, mais especificamente a ferramenta de análise Hazard Rating Number (HRN), Classificação Categoria de Segurança e Nível de desempenho requerido.

A ferramenta “Hazard Rating Number”, na sua forma literal significa “Número de Classificação do Perigo”, a Categoria de segurança é para uma classificação global do equipamento e a última ferramenta/metodologia a ser utilizada será a, performance Leve requerido (PLr), a que se diferencia por ser mais complexa e detalha que as demais.

3.2. Aplicação do Hazard Rating Number (HRN)

O método, Hazard Rating Number (HRN), é uma ferramenta amplamente utilizada para quantificar o risco de um determinado perigo presente em processos industriais. O HRN, consiste em uma fórmula que considera quatro fatores principais:

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

Onde, a probabilidade de ocorrência (*Likelihood of Occurrence* – LO) representa a chance de o perigo se manifestar, a frequência de exposição (*Frequency of exposure* – FE) indica com que frequência os trabalhadores estão expostos ao risco, o grau da possível lesão (*Degree of Possible Harm* – DPH) avalia o impacto potencial caso o risco se concretize e o número de pessoas expostas ao risco (*number os people* – NP) que considera quantas pessoas estão sujeitas ao perigo¹¹.

Para cada item é atribuído um valor conforme tabelas abaixo:

¹⁰ ABNT NBR ISO 12.100. 2013. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Segurança de máquinas - Princípios Gerais de Projeto - Apreciação e Redução de Riscos. Brasil.

¹¹ STEEL, C. Hazard Rating Number. *Safety and Health Practitioner Magazine*. United Kingdom, p. 20-21, jun. 1990.

Tabela 1 – Probabilidade de ocorrência - LO

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA - LO		
0,033	Quase impossível	Não pode acontecer em nenhuma circunstância
1	Muito Improvável	Entretanto é concebível
1,5	Improvável	Mas pode ocorrer
2	Possível	Mas é incomum
5	Fortuito	Pode ocorrer
8	Provável	Não surpreende
10	Muito Provável	Esperado
15	Certamente	Sem dúvidas

Fonte: The safety & Health Practitioner (1990)

Tabela 2 – Frequência de exposição -FE

FREQUÊNCIA DE EXPOSIÇÃO - FE	
0,5	Anualmente
1	Mensalmente
1,5	Semanalmente
2,5	Diariamente
4	Em termos de Horas
5	Constantemente

Fonte: The safety & Health Practitioner (1990)

Tabela 3 – Grau de possível lesão -DPH

GRAU DE POSSÍVEL LESÃO - DPH	
0,1	Arranhão / Contusão Leve
0,5	Laceração / Leves Problemas de Saúde
1	Fratura de Ossos Pequenos / Enfermidade Leve

2	Fratura de Ossos Grandes / Enfermidade Leve
4	Fratura / Enfermidade Grave
6	Perda de Um Membro ou Olho / Enfermidade Grave
8	Perda de Dois Membros ou Olhos / Enfermidade Grave
15	Fatalidade

Fonte: The safety & Health Practitioner (1990)

Tabela 4 – Número de pessoas expostas ao risco -NP

NÚMERO DE PESSOAS EXPOSTAS AO RISCO - NP	
1	1-2 Pessoas
2	3-7 Pessoas
4	8-15 Pessoas
8	16-50 Pessoas
12	Mais de 50 Pessoas

Fonte: The safety & Health Practitioner (1990)

A multiplicação dos quatro fatores (LO,FE,DPH,NP), resulta em um valor numérico que representa o grau de risco. Quanto maior o HRN, mais crítico é o risco identificado, exigindo medidas de controle mais rigorosas.

Este método é considerado uma abordagem prática e objetiva para priorizar ações corretivas e preventivas, permitindo que gestores e engenheiros tomem decisões fundamentadas sobre intervenções em máquinas, processos ou ambientes de trabalho. Além disso, o HRN facilita a comunicação entre equipes técnicas e operacionais, ao traduzir riscos complexos em valores compreensíveis e comparáveis.

A principal vantagem do HRN está em sua simplicidade e aplicabilidade, mesmo em ambientes com recursos limitados. No entanto, sua eficácia depende da correta atribuição dos valores aos fatores envolvidos, o que exige conhecimento técnico e experiência na análise de risco. O resultado do cálculo é comparado com

a seguinte tabela que determina o grau de risco de cada descrição de perigo do equipamento.

Tabela 5 – Grau de risco

COR	HRN	RISCO	AVALIAÇÃO
Verde	0-1	Desprezível	Considerar possíveis ações. Manter as medidas de proteção
	2-5	Muito Baixo	
Amarelo	6-10	Baixo	Garantir que as medidas atuais de proteção são eficazes. Aprimorar com ações complementares.
	11-50	Significante	
Vermelho	51-100	Alto	Devem ser realizadas ações para reduzir ou eliminar o risco. Garantir a implementação de proteções ou dispositivos de segurança.
	101-500	Muito Alto	Ações imediata para reduzir ou eliminar o risco.
Marrom	501-1000	Extremo	Ação imediata para reduzir ou eliminar o risco
	Acima de 1000	Inaceitável	Interromper a atividade até eliminação ou redução do risco.

Fonte: The safety & Health Practitioner (1990)

3.3. Categoria de segurança

A norma NBR 14153:2022¹², segurança de máquinas (Partes de Sistemas de Comando Relacionados à Segurança / Princípios Gerais para Projeto), estabelece cinco categorias distintas para os sistemas de segurança a serem implementados.

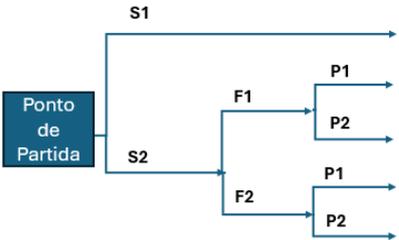
Com o propósito de avaliar o risco global associado à máquina ou equipamento, proveniente de um possível defeito na parte relacionada a segurança

¹² ABNT NBR ISO 14118. 2022. Segurança de máquinas - Prevenção de partida inesperada. disponível em: <https://pt.scribd.com/document/756355789/ABNT-NBR-14153-2022>. Acesso em: 28 nov. 2025.

de um sistema de comando. Pela norma NBR 14153:2022, foram definidas categorias com parâmetros técnicos e do nível de proteção necessário durante a fase de projeto dos sistemas de segurança. O resultado defini o nível de segurança que o dispositivo a ser utilizado no projeto deve ter, para garantir a segurança.

Para que se possa determinar corretamente a categoria de segurança aplicável a um determinado sistema, a norma propõe uma metodologia estruturada, fundamentada nos critérios apresentados na tabela a seguir.

Tabela 6 – Grau de risco I



		CATEGORIA				
		B	1	2	3	4
Ponto de Partida	S1	●	●	○	○	○
	S2	●	●	●	○	○
	F1	●	●	●	●	○
	F2	●	●	●	●	○
	P1	●	●	●	●	○
	P2	●	●	●	●	○
	P1	●	●	●	●	○
	P2	●	●	●	●	○

Fonte: Norma NBR 14153 (2022)

Onde se classifica a categoria “B” que se faz necessária o mínimo grau de proteção e a categoria 4 com maior grau de proteção para sistemas de segurança do equipamento ou máquina. Para definição da categoria de segurança do equipamento ou máquina, são utilizados os três parâmetros demonstrados na tabela:

- Severidade do Ferimento (S)
 - Na estipulação de um possível defeito vindo do sistema de comando, caso ocorra ferimentos leves ou ferimentos graves incluindo morte, podem ser qualificadas como S1 ou S2.
 - Ferimento Leve (S1) – Normalmente reversível
 - Ferimento Sério (S2) – Normalmente irreversível, incluindo morte)
- Frequência e/ou Tempo de Exposição ao Perigo (F)

Não é definida um período numérico válido para definir o que se qualifica como F1 ou F2. Porém, aconselhável seguir com o parâmetro F1 caso não exista frequência contínua na exposição ao perigo e F2 sendo uma exposição contínua ao perigo

- Raro a relativamente frequente e /ou baixo tempo de exposição (F1)
 - Frequente até contínuo e/ou baixo tempo de exposição longo (F2)
- Possibilidade de evitar o perigo
- Este parâmetro é importante para medir, o quanto um perigo é possível ser reconhecido ou não antes de levar a um acidente.
- Possível sob condições específicas (P1)
 - Quase nunca possível (P2)

Tabela 7 – Base para o nível de performance (PL)

Categoria	Descrição	Características principais	Aplicação típica
B	Nível básico de segurança	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de componentes de qualidade industrial - Sem requisitos específicos de diagnóstico - Pode perder a função de segurança em caso de falha 	Máquinas simples, baixo risco, sem partes móveis perigosas
1	Segurança melhorada em relação à B	<ul style="list-style-type: none"> - Componentes devem ter confiabilidade comprovada - Função de segurança mantida enquanto não houver falha - Sem diagnóstico contínuo 	Equipamentos com risco moderado, onde falhas não são críticas

2	Segurança com monitoramento periódico	<ul style="list-style-type: none"> - Função de segurança mantida até falha - Diagnóstico periódico obrigatório - Pode perder função entre inspeções 	Máquinas que permitem inspeções regulares e têm riscos controlados
3	Segurança com redundância parcial	<ul style="list-style-type: none"> - Função de segurança mantida mesmo com falha simples - Diagnóstico contínuo - Redundância parcial (dois canais independentes) 	Máquinas industriais com riscos elevados, onde falha única não pode comprometer segurança
4	Máxima segurança	<ul style="list-style-type: none"> - Função de segurança mantida mesmo com falhas múltiplas - Diagnóstico contínuo e redundância total - Alta tolerância a falhas de causa comum 	Máquinas críticas (prensas, robôs industriais, linhas de produção de alto risco)

Fonte: ISO 13849-1 (2023)

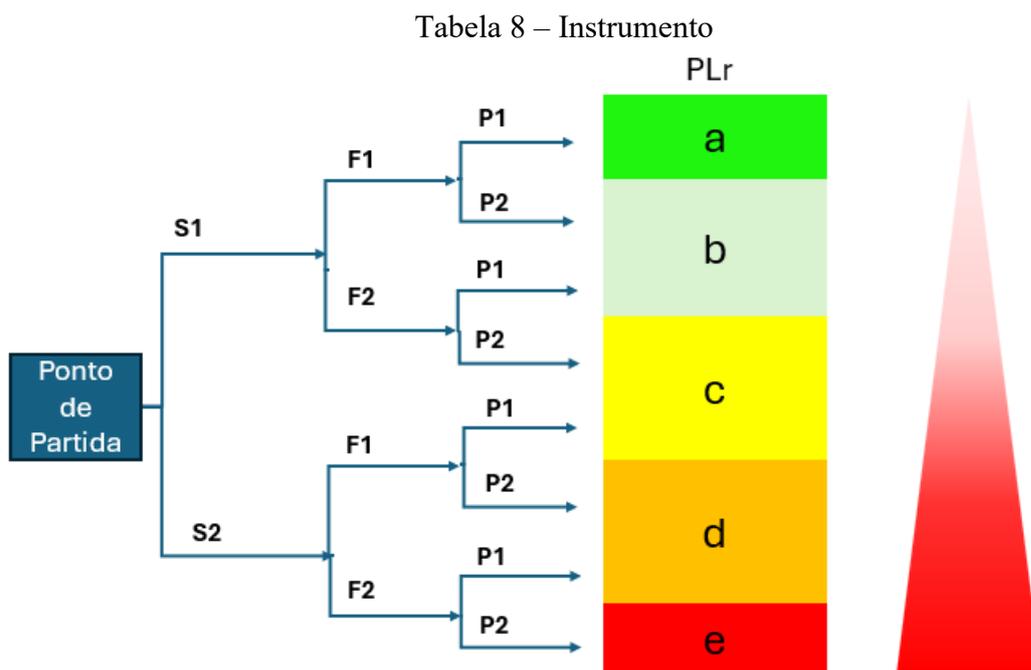
3.4. Nível de desempenho requerido (PLr)

Além das duas ferramentas anteriores apresentadas, no estudo de caso ao decorrer deste relatório, será utilizada o método de nível de desempenho requerido

(PLr). Trata-se de uma norma técnica de abrangência internacional que define os princípios fundamentais de segurança aplicáveis ao projeto e à integração de componentes dos sistemas de comando e controle de máquinas que desempenham funções relacionadas à segurança.

No contexto brasileiro, essa norma é referenciada como NBR ISO 13849-1 e desempenha um papel essencial na determinação do Nível de Desempenho (NP) requerido para assegurar a proteção de trabalhadores, equipamentos e do meio ambiente frente aos riscos identificados.

Consiste em uma ferramenta de maior complexidade, que demanda um volume significativo de informações, bem como conhecimento técnico aprofundado em projeto e especificação de sistemas. A tabela a seguir apresenta o instrumento utilizado para a definição do Nível de Desempenho Requerido (PLr), conforme estabelecido pela norma ISO 13849-1.



Fonte: ISO 13849-1 (2023)

Na tabela acima, demonstra que a metodologia Plr, se decompõe em mais níveis de contribuição de risco do que as metodologias anteriores apresentadas que são: HRN e categoria de segurança. Observe que quanto maior o fator de impacto dos parâmetros, “S”, “F” e “P” que respectivamente representam a severidade do

ferimento, frequência e/ou tempo de exposição e possibilidade de evitar o perigo, maior é a contribuição do risco. Logo em uma escala de nível, quanto mais próximo do nível “e” o equipamento ou máquina, apresentam ao ambiente de trabalho um maior nível de risco, por tanto, seus dispositivos deverão possuir um maior nível de segurança.

A análise de risco que será desenvolvida ao decorrer do estudo de caso, antes da adequação do equipamento e após a adequação orientada, será utilizada o método Plr (Nível de Performance requerido), para demonstrar o quanto de impacto e relevância a proteção do equipamento teve o dispositivo utilizado no equipamento.

4. Estudo de caso

Conforme estabelecido na introdução deste trabalho, a pesquisa fundamenta-se em um referencial teórico e em um estudo de caso conduzido em ambiente industrial. A empresa selecionada para a realização da análise é um envasadora de bebida, uma das três maiores engarrafadoras do sistema de bebidas do Brasil, com operações consolidadas no Brasil, Argentina, Chile e Paraguai. No território brasileiro, a companhia atua nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Espírito Santo e Minas Gerais, por meio de unidades fabris e centros de distribuição responsáveis pela produção e comercialização dos produtos da marca. No estado do Rio de Janeiro, destacam-se duas plantas industriais localizadas nos municípios de Duque de Caxias e no bairro de Jacarepaguá, na capital.

A unidade de Duque de Caxias, inaugurada em 2019, representa um marco tecnológico na indústria de bebidas, sendo considerada a fábrica mais moderna da América Latina. Esta planta opera sob os princípios da Indústria 4.0, com 100% dos equipamentos e processos automatizados e digitalizados, adotando um modelo descentralizado de gestão para maximizar a eficiência operacional. E a unidade de Jacarepaguá, situada no bairro da Taquara, constitui a fábrica original no Brasil, adquirida em 1994. Atualmente, esta planta conta com 12 linhas de produção, além de uma linha dedicada à formação de packs de garrafas.

O parque fabril é composto por mais de 280 equipamentos, sem considerar as áreas de utilidades, que incluem sala de máquinas, sistemas de tratamento de efluentes, tratamento de água e cogeração de energia. Essa contextualização é fundamental para compreender o ambiente industrial em que será realizada a análise de risco, permitindo uma avaliação técnica mais precisa dos equipamentos e processos envolvidos.

Será desenvolvido o estudo de caso que fundamenta este trabalho, com foco na análise de risco de um equipamento industrial, da fábrica de Jacarepaguá, antes da implementação de qualquer solução baseada em inteligência artificial. A abordagem inicial contempla a caracterização detalhada do equipamento selecionado, visando estabelecer uma compreensão abrangente de suas especificidades operacionais.

Para tanto, será realizada uma análise macro do equipamento, considerando aspectos como: tipo e fonte de alimentação, principais sistemas e componentes

integrados, funcionalidade técnica, características do processo produtivo em que está inserido, número de operadores envolvidos, nível de capacitação dos profissionais que operam o equipamento, estrutura de manutenção mecânica e elétrica, competências técnicas das respectivas equipes de manutenção, bem como a eventual participação de prestadores de serviços terceirizados.

Essa etapa é essencial para demonstrar o ambiente operacional e identificar os fatores que influenciam diretamente na exposição ao risco, permitindo uma avaliação mais precisa e fundamentada conforme os critérios estabelecidos pelas normas técnicas vigentes.

4.1. Caracterização do equipamento

O equipamento selecionado para a realização da análise de risco pertence à linha de produção da unidade fabril de envasamento de bebida, onde os sistemas operacionais não são integralmente automatizados. Trata-se de uma paletizadora fabricada pela empresa Simonazzi, com ano de fabricação datado de 1994, informação relevante para destacar a antiguidade do dispositivo e, conseqüentemente, os possíveis desafios técnicos e operacionais que podem estar associados à sua estrutura e funcionamento.

A principal função da paletizadora consiste em organizar camadas de produtos sobrepostas, formando paletes que, posteriormente, são encaminhados a um segundo equipamento responsável por envolvê-los adequadamente para fins de armazenamento. Este processo é essencial para a logística interna da fábrica, influenciando diretamente na eficiência do transporte e na segurança dos produtos acabados

A paletizadora em análise opera em regime contínuo, com funcionamento ininterrupto durante as 24 horas do dia, distribuídas em três turnos de trabalho. Cada turno conta com um operador devidamente habilitado para a execução de suas atividades, além de suporte técnico das equipes de manutenção mecânica e elétrica, tanto para ações preventivas quanto corretivas, em caso de falhas ou interrupções no processo produtivo.

Do ponto de vista técnico, o equipamento possui como fontes de alimentação energia elétrica trifásica de 380V e sistema pneumático com pressão operacional de

10 bar. Em relação à segurança física, as faces frontal, laterais e traseira da máquina estão equipadas com proteções mecânicas; contudo, estas são consideradas insuficientes para garantir a plena segurança dos operadores, carecendo de dispositivos complementares de proteção, com base na adequação sobre NR12.

O processo operacional da paletizadora é predominantemente automático, com abastecimento semi-automático e descarga automatizada. Cada turno conta com um único operador responsável pela condução do equipamento. Em emergências, há a disponibilidade de um técnico de manutenção mecânica, capacitado para realizar desmontagens, reparos, substituições, montagens, regulagens, testes operacionais e intervenções que envolvam trabalhos com calor. O profissional também possui conhecimento técnico em circuitos pneumáticos.

No que se refere à manutenção elétrica, há um eletricista disponível por turno, igualmente capacitado para executar desmontagens, reparos, substituições, montagens, regulagens e testes. Ambos os profissionais são treinados conforme os requisitos da Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), e para o caso dos técnicos eletricistas a Norma Regulamentadora nº 10 (NR-10), que trata da segurança em instalações e serviços em eletricidade.

Inicialmente, apresenta-se uma visão macro do equipamento, contemplando aspectos relacionados à sua operacionalidade e à sua manutenção. Para tanto, são disponibilizadas imagens ilustrativas que evidenciam as diferentes faces do equipamento: frontal, traseira e laterais com o objetivo de proporcionar uma compreensão mais ampla de sua estrutura física e funcional. Essa abordagem visual contribui significativamente para o entendimento do sistema em estudo, além de facilitar o acompanhamento das análises desenvolvidas ao longo do estudo de caso.

Tabela 9 – Caracterização básica do equipamento

Caracterização Básica do Equipamento	
FONTE DE ENERGIA	Elétrica (380V), Pneumática(10bar) e Mecânica
PRINCIPAIS SISTEMAS E DISPOSITIVOS	Máquina possui alto risco, com deficiência em proteções mecânicas.
UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO	Paletizar latas
CAPACIDADE	
CARACTERISITCAS DE PROCESSO	Processo automático, abastecimento semiautomático e descarga automática
NÚMERO DE OPERADORES	1 por turno
HABILIDADE DOS OPERADORES	Treinamento operacional para a função
NÚMERO DE MECÂNICO CORRETIVA	1
HABILIDADE DO MECÂNICO	Reparo, substituição, montagem, desmontagem, teste, etc..
NÚMERO DE ELETRICISTA CORRETIVA	1
HABILIDADES ELETRICISTAS	Desmontagem, reparo, regulagem, NR10, etc..

Fonte: Análise de risco – VL Solutions

O processo completo de paletização realizado pelo equipamento em análise ocorre em dois níveis distintos de altura, cada um com funções específicas dentro da dinâmica operacional. O primeiro nível compreende o magazine de pallets, o sistema de transporte e a base onde o pallet de produto será formado. Já o segundo nível corresponde à área onde a paletizadora recebe os produtos provenientes da linha de produção, agrupando-os em camadas que são empilhadas sucessivamente sobre o pallet posicionado no nível inferior.

Durante a formação dessas camadas, são inseridas folhas de separação conhecidas como chapatex entre uma camada e outra. Essa prática tem como finalidade proporcionar maior estabilidade estrutural ao pallet, além de prevenir que eventuais vazamentos de produtos comprometam as demais camadas, garantindo assim a integridade do conjunto durante o armazenamento e transporte.

4.2. Cenário inicial (antes da I.A.)

Na Figura 1, o local demarcado em amarelo representa visualmente o primeiro nível do processo descrito anteriormente, permitindo uma melhor compreensão do dimensionamento e da complexidade do equipamento. A operação inicia-se com o abastecimento do magazine de pallets, localizado na seção A da Figura 1, onde uma empilhadeira posiciona pilhas de pallets que serão liberados conforme a demanda da produção.

O deslocamento dos pallets ocorre por meio de um sistema de transporte, identificado na seção B da Figura 1, composto por rolos, correntes e engrenagens que promovem a movimentação contínua dos pallets até a próxima etapa. Finalmente, os pallets chegam à seção C, onde estão localizados a mesa giratória, responsável por alterar a direção do pallet para integração com outro sistema de transporte. E nesta mesma seção após o transporte do pallet que é utilizado como base do processo de paletização de camadas, encontra-se a paletizadora, que realiza a formação das camadas com inserção dos chapatex.

Essa descrição técnica é fundamental para compreender o funcionamento do equipamento e os pontos críticos que serão considerados na apreciação de risco, especialmente no que se refere à interação entre operadores e sistemas automatizados.

No próximo tópico deste projeto será acompanhada o desenvolvimento da análise de risco do equipamento, em seus riscos mais relevantes. A análise do equipamento será subdividida em três seções, pois caso uma das seções possua um alto nível de risco e as outras seções com baixo risco. Pode-se adequar conforme o risco encontrado, a de alto risco com sistema de maior confiabilidade e a de baixo risco com o sistema mais básico sobre a segurança. Pois caso fosse realizado a análise com o equipamento por inteiro sem subdivisões, ele estaria classificado como alto risco como um todo sendo necessário implementação de alta confiabilidade no sistema de segurança como um todo, aumentando o custo de adequação sem a devida necessidade.

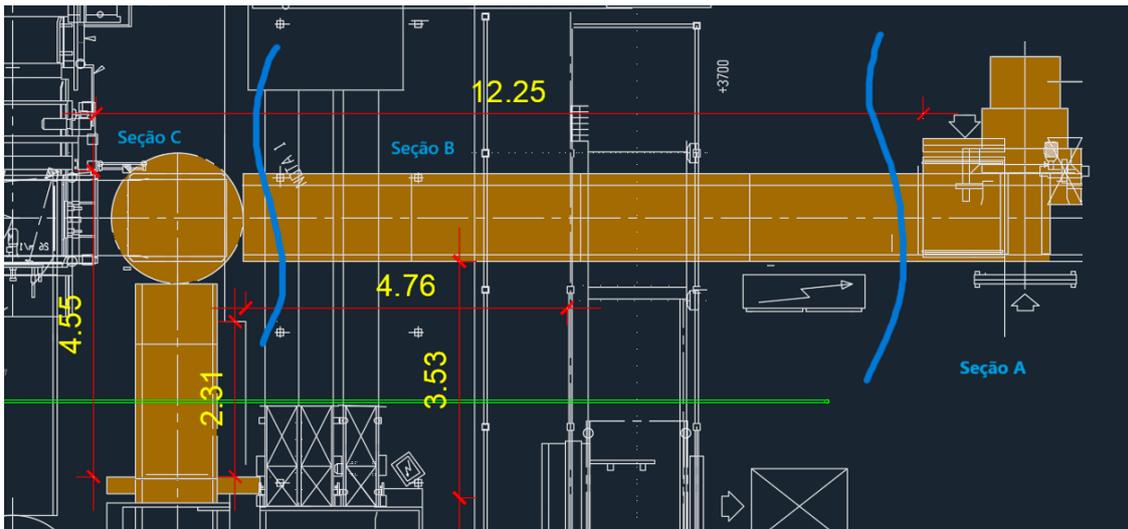


Figura 1 - Desenho técnico do 1º Nível do Fluxo do equipamento
 Fonte: Planta baixa da linha 5 no AutoCAD (2023)

4.2.1. Paletizadora Sessão A – análise de risco

A partir da observação da Seção A do equipamento, é possível identificar diversos pontos críticos que não estão em conformidade com os requisitos estabelecidos pela Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), que trata da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Dentre os principais aspectos que demandam atenção, destacam-se:

- Presença de partes móveis expostas, como engrenagens, correntes, rolos de tração e o sistema de elevação do magazine de pallet, sem a devida proteção fixa ou móvel com monitoramento, o que contraria o disposto no item 12.38 da NR-12, que exige proteções físicas para impedir o acesso às zonas de perigo;
- Possibilidade de acesso indevido de membros superiores entre as proteções fixas existentes, evidenciando falhas na barreira física de segurança, em desacordo com o item 12.39, que determina que as proteções devem ser projetadas de forma a impedir o acesso por qualquer parte do corpo humano às áreas de risco;
- Ausência de botão de parada de emergência em local de fácil acesso próximo à área de risco, o que infringe o item 12.56, que estabelece que o dispositivo de parada de emergência deve estar disponível e acessível em todas as zonas de operação onde haja risco de acidente.

Conforme indicado pelas setas vermelhas na figura 2, sinalizando suas inadequações que estão sendo avaliadas na seção A.

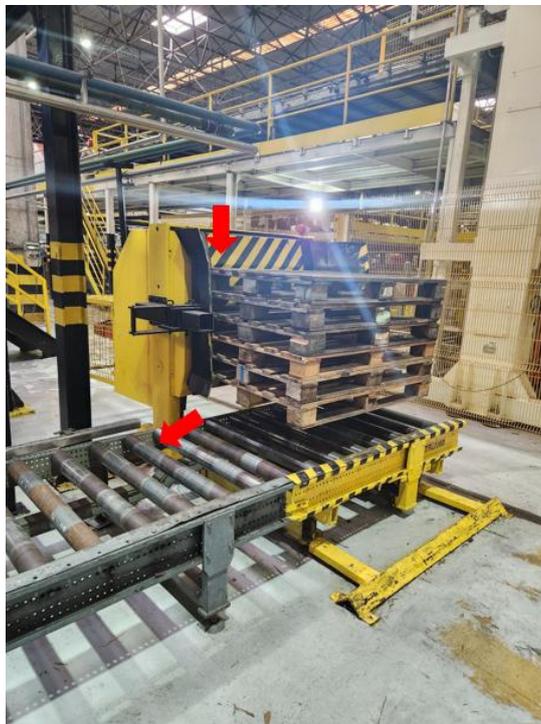


Figura 2 – Quadro Seção A / Magazine de Pallet
Fonte: Próprio autor (2023)



Figura 3 – Seção A / Magazine de Pallet I
Fonte: Próprio autor (2023)



Figura 4 – Quadro Seção A / Magazine de Pallet III
Fonte: L.V. Solutions (2024)



Figura 5 – Quadro Seção A / Magazine de Pallet IV
Fonte: L.V. Solutions (2024)

Como abordado no capítulo anterior, a apreciação de risco do equipamento foi iniciada com a definição de seus limites operacionais e do uso pretendido, conforme preconizado pela norma técnica NBR ISO 12100:2013. Na segunda etapa, foram identificados os perigos potenciais associados à máquina e sinalizados nas figuras 2; 3; 4; 5, bem como as situações perigosas que podem surgir durante sua operação, resumidamente demonstrado na tabela 10.

Dando continuidade ao processo, a terceira etapa consiste na estimativa de risco, que tem por objetivo avaliar a magnitude dos riscos identificados. Essa

avaliação é realizada com base em quatro critérios fundamentais: Gravidade das possíveis lesões ou danos que podem ser causados pela máquina; probabilidade de ocorrência dos eventos perigosos; Frequência de exposição dos operadores ou demais envolvidos às situações de risco; Número de pessoas potencialmente expostas ao perigo.

A estimativa de risco é uma etapa essencial para a tomada de decisões quanto à necessidade de medidas de proteção adicionais, e deve ser conduzida de forma sistemática e documentada. A metodologia adotada está em conformidade com os princípios estabelecidos pela NBR ISO 12100:2013, conforme abordado no capítulo anterior.

Utilizaremos três metodologias bases. A HRN, realizada na tabela 11, para quantificar o risco associado a perigos nos processos industriais ou atividade operacionais, método bastante comum para priorização de ações corretivas (quanto maior o HRN, maior a prioridade de mitigação do risco). Categoria de segurança do equipamento, realizada na tabela 12, com o propósito de avaliar o risco global associado à máquina.

O resultado define o nível de segurança que os dispositivos de segurança do equipamento devem atender. E por fim, a metodologia Plr (Performance level requerido) realizada na figura 6, está diretamente ligada à segurança funcional. (conforme a ISO 13849-1). É um nível de confiabilidade que um sistema de segurança deve atingir para reduzir o risco aceitável, específicos para sistemas de controle como por exemplo: parada de emergência, dispositivos de segurança e barreiras ópticas.

Tabela 10 – Identificação dos Risco da Seção A

Identificação dos Riscos	
ELEMENTOS	Mecânicos; Elétricos e Estrutura
LOCAL	Magazine de Pallet
ALVO DOS RISCO	Operadores e Manutenção
TAREFA	Desprender pallets do transporte, reset equipamento;
TIPO DE RISCO (ISO 12100)	Combinação de perigos
ORIGEM DO RISCO (ISO 12100)	Elementos móveis, Elementos rotativos, Partes móveis, Temperatura, Queda de objetos, Gravidade, Alta pressão, Equipamentos móveis, Peças desgastadas
CONSEQUÊNCIAS (ISO 12100)	Segurar ou prender, Enroscar, Queimadura, Qualquer outra por consequência do efeito causado por fontes de perigos da máquina ou partes da mesma, Esmagamento, Corte ou mutilação, Escorregamento, tropeço e queda, Queda ou escorregamento

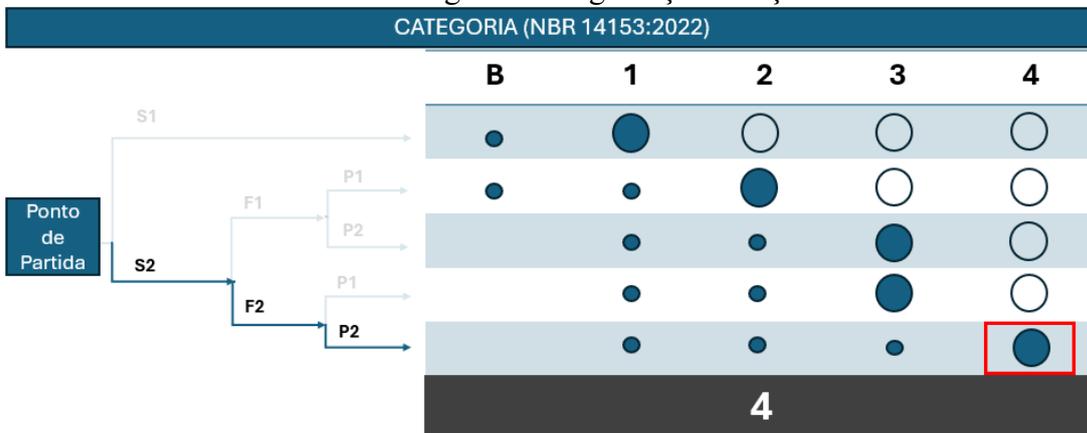
Fonte: Próprio autor (2025)

Tabela 11 – Cálculo HRN da Seção A do processo de paletização

CÁLCULO DO HRN ATUAL						
Tipo de Risco	Probabilidade de Ocorrência (LO)	Frequência de Exposição (FE)	Grau do Possível dano (DPH)	Número de pessoas expostas (NP)	HRN (LO x FE x DPH x NP)	Classificação de risco
Esmagamento, Corte ou mutilação, Escorregamento, prender membros ou queimadura.	10	4	8	1	320	RISCO MUITO ALTO
	Muito Provável / Esperado	Em termos de Horas	Perdas de dois membros ou Olhos/ Enfermida de grave	1-2 Pessoas		

Fonte: Próprio autor (2025)

Tabela 12 – Categoria de Segurança da Seção A



Fonte: Próprio autor (2025)

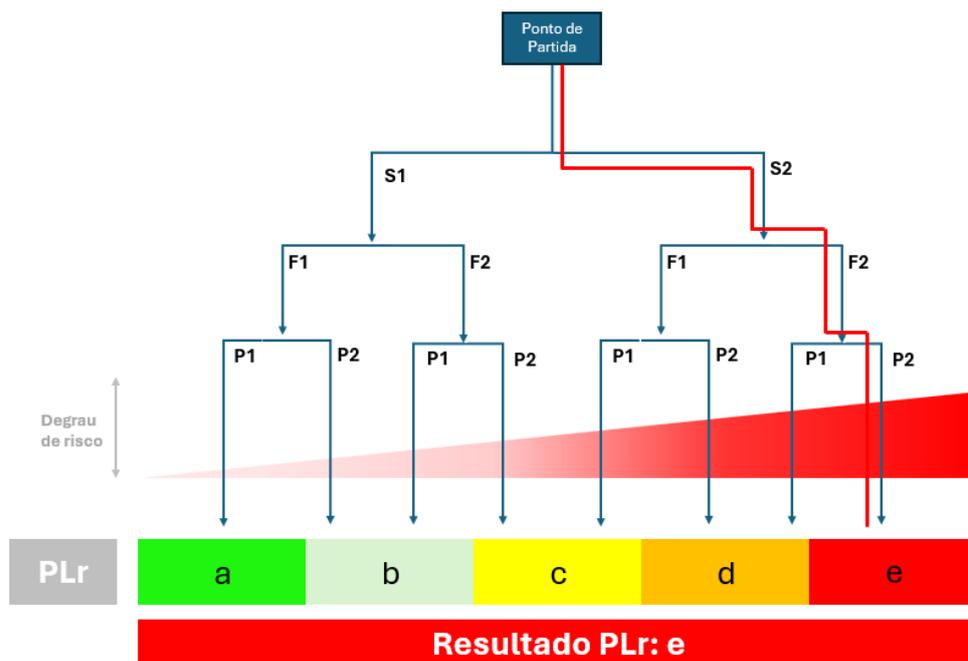


Figura 6 – Performance Level Requerido da Seção A

Fonte: Próprio autor (2025)

4.2.1.1. Recomendações de adequação – Sessão A

Após constatar o nível de criticidade da paletizadora na área determinada como Seção A, verificou-se que o cálculo do HRN resultou em 320, classificando o risco como “Muito Alto”. Esse resultado indica que o equipamento se encontra em uma condição crítica, expondo o operador ou colaborador a danos graves ou até fatais em caso de acidente. Dessa forma, tornam-se necessárias medidas imediatas de mitigação para reduzir tais riscos a níveis aceitáveis.

A análise também demonstrou que o equipamento se enquadra na Categoria de Segurança 4, o que significa que o sistema de controle deve possuir canais duplicados, ou seja, dois caminhos independentes de segurança para garantir que, caso um falhe, o outro mantenha a função de proteção. Além disso, exige-se monitoramento contínuo, de modo que o sistema verifique em tempo real se os componentes de segurança como sensores, relés e controladores estão funcionando corretamente. Essa configuração assegura elevada tolerância de segurança. Como exemplo, pode-se citar a utilização de dois relés de segurança em paralelo para controlar um motor: caso um falhe, o outro ainda será capaz de cortar a energia.

Por fim, constatou-se que o Performance Level requerido (PLr) da Seção A corresponde ao nível “e”, o mais alto definido pela ISO 13849-1, o que implica que o sistema deve apresentar o máximo grau de confiabilidade em seus componentes de segurança.

Diante dos resultados obtidos na análise de risco da Seção A, torna-se imprescindível a adoção de medidas corretivas e preventivas, de modo a atender aos requisitos da NR-12 e reduzir os riscos identificados a níveis aceitáveis. As principais recomendações são:

- Prover proteções nos pontos rotativos expostos, como correntes, engrenagens, mancais e roletes, de forma a impedir o contato acidental dos operadores com partes móveis. Demonstrado na figura 7.
- Prover fechamento total com gradil, demonstrado na figura 8, eliminando o acesso direto às áreas críticas do equipamento. Caso haja necessidade de entrada para manutenção ou ajustes, recomenda-se a instalação de portas

monitoradas, que assegurem o bloqueio automático do funcionamento durante a abertura.



Figura 7 – Pontos rotativos protegidos
Fonte: Próprio autor (2025)



Figura 8 – Gradil
Fonte: Próprio autor (2025)

As barreiras físicas são estruturas instaladas ao redor de partes móveis ou perigosas da máquina, com o objetivo de impedir o acesso acidental do operador à zona de risco. Essas proteções podem ser fixas ou móveis, sendo projetadas de acordo com a necessidade operacional. Sua principal vantagem é a simplicidade e a eficácia na contenção de riscos mecânicos diretos.

As barreiras de proteções fixas, comumente conhecidas como “Gradil” são comercializadas entre R\$2500,00 a R\$3500,00, com estimativa média de R\$3000,00 cada metro de comprimento com uma altura de 2 metros.

Instalar sistemas de monitoramento nos locais de entrada e saída de pallets, utilizando cortinas de luz com recurso de *muting*, demonstrada na figura 9, garantindo a segurança sem comprometer a continuidade operacional.



Figura 9 – Cortina de luz no acesso
Fonte: Próprio autor (2025)

Na figura 10, demonstra a cortinas de luz que possuem sistemas optoeletrônicos que criam uma barreira invisível de feixes infravermelhos. Quando um objeto ou pessoa interrompe esses feixes, o sistema aciona automaticamente a parada da máquina. São especialmente úteis em áreas onde o acesso frequente do operador é necessário, como em prensas e linhas de montagem. Com base em Cortinas de segurança industrial WEG e KEYENCE, com feixes distribuídos e 1,20 metros de altura, estima-se uma faixa de preço de R\$3000,00 a R\$4500,00.



Figura 10 – Cortinas de luz
Fonte: catálogo KEYENCE (2023)

Implementar scanners para monitoramento interno, como na figura 11, impossibilitando que o colaborador acione ou opere o equipamento a partir de dentro da própria estrutura, que demarca em seu software a área de risco demonstrada na figura 12, prevenindo situações de risco.



Figura 11 – Scanner 270°
Fonte: Próprio autor (2023)



Figura 12 – Demarcação da zona de risco no software
Fonte: Próprio autor (2023)

O scanner de segurança a laser funciona criando zonas virtuais de proteção dentro ou ao redor de um equipamento. Ele emite feixes de laser em um ângulo amplo (até 270°) e detecta qualquer objeto ou pessoa que adentre essas áreas, evidenciado na figura 13.

Quando ocorre a invasão de uma zona de risco previamente configurada, o scanner envia um sinal ao sistema de comando da máquina, que imediatamente executa ações de segurança, como reduzir a velocidade, parar ou desligar o equipamento, garantindo assim a proteção dos operadores e colaboradores. Com base na precificação dos modelos de Scanners da Keyence, estima-se um valor médio na unidade de R\$ 25.000,00.



Figura 13 – Fonte catálogo Keyence
Fonte: catálogo KEYENCE (2025)

Instalar botoeiras de emergência em locais de fácil acesso ao operador, como apresentado na figura 14, permitindo a interrupção imediata do funcionamento em situações de perigo.

Com base, em pesquisa no mercado, estima-se no valor de uma caixa com botoeira de emergência a faixa de preço de R\$500,00 a R\$1000,00. Está faixa considerando modelos de caixa de botoeira com trava, 22 mm ou 30 mm, com contatos NA/NF, marcas como Schneider e WEG.

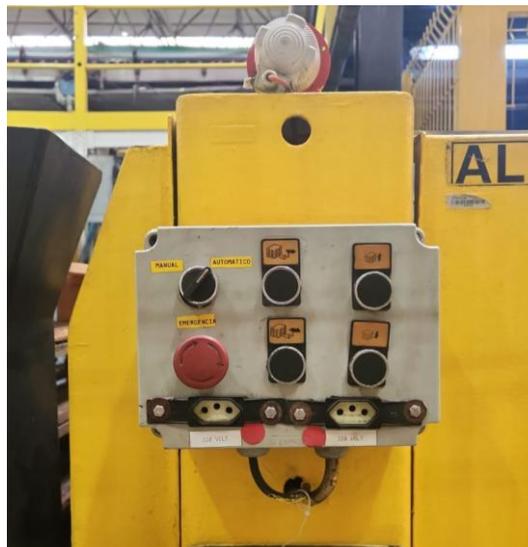


Figura 14 – Botão de emergência instalada
Fonte: Próprio autor (2025)

Após a implementação dos componentes de segurança convencionais encontra-se um cálculo do HRN Residual, conforme a tabela 13 a seguir, diminuindo a probabilidade de ocorrência e o grau de possível dano:

Tabela 13 – Cálculo do HRN atual (II)

CÁLCULO DO HRN ATUAL						
Tipo de Risco	Probabilidade de Ocorrência (LO)	Frequência de Exposição (FE)	Grau do Possível dano (DPH)	Número de pessoas expostas (NP)	HRN (LO x FE x DPH x NP)	Classificação de risco
Segurar, enroscar, tropeço, queda ou corte.	1,5	4	8	1	48	Risco Significante
	Improvável / Mas pode ocorrer	Em termos de Horas	Perda de Dois Membros ou Olhos / Enfermida de Grave	1-2 Pessoas		

Fonte: Próprio autor (2025)

4.2.2. Paletizadora Seção B – Análise de risco

Da mesma forma que foi conduzida a apreciação de risco utilizando as metodologias HRN e PLr, bem como a definição da categoria de segurança referente à Seção A, foram estabelecidas as recomendações necessárias, em conformidade com a NR-12, para a adequação do equipamento e consequente redução do nível de risco. O objetivo é que o índice de risco calculado pelo método HRN seja minimizado por meio das medidas propostas. Dando continuidade ao processo, inicia-se, a apreciação de risco da Seção B.

A Seção B corresponde à área destinada ao transporte de pallets da Seção A para a Seção C, onde se encontra o equipamento de paletização. Ao iniciar a análise, identificam-se os principais tipos de risco presentes nesta seção, os quais não estão em conformidade com os requisitos da Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12). Entre os pontos críticos observados nas figuras 15 e 16. Descritos na tabela 14, destacam-se:

- Presença de partes móveis expostas, como engrenagens e correntes, que podem ocasionar cortes, ferimentos em geral ou mesmo o esmagamento dos membros superiores;
- Risco associado aos rolos de tração do transporte devido ao espaçamento entre os roletes, uma vez que, caso o colaborador transite sobre o equipamento em movimento ou parado, há possibilidade de queda, além do risco de esmagamento dos membros inferiores caso ocorra queda entre os rolos;
- Ausência de botoeiras de emergência próximas à área de transporte, considerando que se trata de um sistema com extensão de 12,25 metros, o que compromete a resposta rápida em emergências.

Essas inadequações evidenciam a necessidade de medidas corretivas para garantir a segurança dos operadores e a conformidade com a NR-12, especialmente no que se refere à proteção de partes móveis e à instalação de dispositivos de parada de emergência em locais estratégicos.



Figura 15 - Transporte de Pallet Seção B
Fonte: Próprio autor (2023)



Figura 16 - Transporte de Pallet Seção B I
Fonte: L.V. Solutions (2024)

Na Seção B, foram devidamente identificados os riscos e suas respectivas consequências, seguindo a mesma metodologia aplicada anteriormente na Seção A. A próxima etapa consiste na avaliação de parâmetros essenciais para a estimativa de risco, considerando: Probabilidade de ocorrência dos eventos perigosos; Frequência de exposição dos colaboradores às situações de risco; Grau de severidade dos possíveis danos em caso de ocorrência; Número de colaboradores potencialmente expostos ao perigo.

Com base nesses critérios, será aplicada a metodologia HRN (Tabela 15), em conjunto com a análise de PLr (Figura 17) e a definição da Categoria de Segurança (Tabela 16), conforme preconizado pelas normas técnicas e regulamentadoras pertinentes a esse estudo.

Tabela 14 – Identificação dos Risco Seção B

Identificação dos Riscos	
ELEMENTOS	Mecânicos
LOCAL	Transporte de Pallet
ALVO DOS RISCO	Operadores, Assepsia e Manutenção
TAREFA	Desprender pallets do transporte, troca de rolete danificado, troca de corrente e/ou engrenagens, limpeza;
TIPO DE RISCO (ISO 12100)	Mecânicos e ergonômico
ORIGEM DO RISCO (ISO 12100)	Elementos móveis, Elementos rotativos e Peças desgastadas
CONSEQUÊNCIAS (ISO 12100)	Segurar ou prender partes do corpo, Enroscar, Esmagamento, Corte e queda.

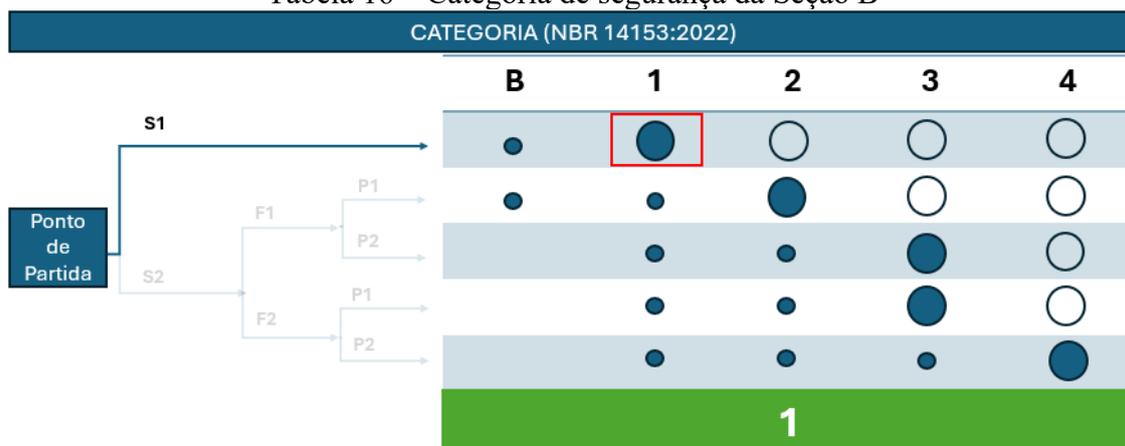
Fonte: Próprio autor (2025)

Tabela 15 – Cálculo do HRN atual

CÁLCULO DO HRN ATUAL						
Tipo de Risco	Probabilidade de Ocorrência (LO)	Frequência de Exposição (FE)	Grau do Possível dano (DPH)	Número de pessoas expostas (NP)	HRN (LO x FE x DPH x NP)	Classificação de risco
Esmagamento, Corte, Escorregamento ou prender membros.	5	4	4	1	80	ALTO
	Provável/ Não surpreende	Em termos de Horas	Fratura/ Enfermida de Grave	1-2 Pessoas		

Fonte: Próprio autor (2025)

Tabela 16 – Categoria de segurança da Seção B



Fonte: Próprio autor (2025)

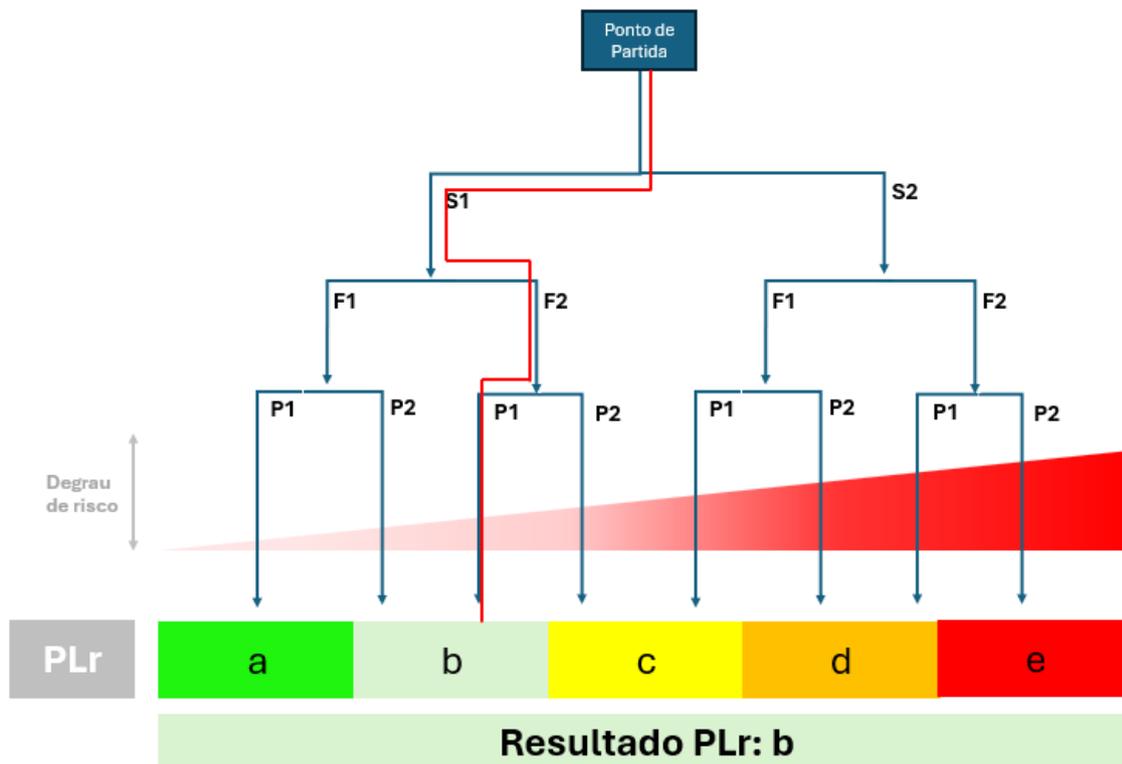


Figura 17 – Performance level requerido da Seção B

Fonte: Próprio autor (2025)

O resultado da análise de risco da Seção B revelou aspectos relevantes. Conforme demonstrado, o índice HRN atribuído à seção classificou o risco como “Alto”. Entretanto, a avaliação da categoria de segurança do equipamento apresentou resultado igual a 1 e o Performance Level (PL) foi determinado como “b”.

Esta análise se faz interessante, pois leva a reflexão se é possível que mesmo um equipamento com resultado de risco alto ter uma categoria de segurança exigida normativamente baixa. Constata-se que sim, é possível um equipamento possuir um HRN com risco alto e se enquadrar na categoria de segurança 1, ao mesmo tempo. Isso ocorre, porque o HRN mede o nível de risco quantitativo (gravidade, exposição, possibilidade de evitar), enquanto a categoria de segurança está ligada ao sistema de comando da máquina e ao nível de proteção exigido pela norma, pois está seção analisada, seção B, possui sistema de comando básico. Comandos básicos, não precisam de redundância ou diagnósticos automáticos de falha. Como o risco calculado do HRN é alto, a categoria 1 não se faz suficiente, ideal neste caso é adotar categorias, mas robustas como a categoria 2 ou 3, para garantir a segurança e conformidade.

4.2.2.1. Recomendações de adequação – Seção B

Logo, diante dos resultados obtidos na análise de risco da Seção B, torna-se imprescindível a adoção de medidas de adequação, de modo a atender aos requisitos da NR-12 e reduzir os riscos identificados a níveis aceitáveis. As principais recomendações são:

- Prover proteções nos pontos rotativos expostos, como correntes, engrenagens, mancais e roletes, conforme determina o item 12.38 da NR-12, que exige que todas as partes móveis acessíveis sejam protegidas contra contato acidental;
- Realizar o fechamento total do transporte com gradil, como apresentado na figura 18, impedindo o acesso direto à zona de risco. Caso haja necessidade de entrada para operação ou manutenção, recomenda-se a instalação de portas de acesso monitoradas com chaves de segurança, demonstrado na figura 19, em conformidade com o item 12.44, que trata de dispositivos de intertravamento em proteções móveis, e conforme as exigências de Categoria 2 ou 3 de segurança, conforme a norma ISO 13849-1;
- Instalar botoeiras de emergência em local de fácil acesso ao operador, conforme o item 12.56 da NR-12, que estabelece que os dispositivos de parada de emergência devem estar disponíveis e acessíveis em todas as zonas de operação onde haja risco de acidente.



Figura 18 – Gradil como proteção fixa
Fonte: Próprio autor (2025)



Figura 19 – Chave de segurança magnética
Fonte: Próprio autor (2025)

Após a implementação dos componentes de segurança convencionais encontra-se um cálculo do HRN Residual, conforme a tabela a seguir, diminuindo a probabilidade de ocorrência e o grau de possível dano:

Tabela 17 – Categoria de segurança da Seção B I

CÁLCULO DO HRN ATUAL						
Tipo de Risco	Probabilidade de Ocorrência (LO)	Frequência de Exposição (FE)	Grau do Possível dano (DPH)	Número de pessoas expostas (NP)	HRN (LO x FE x DPH x NP)	Classificação de risco
Segurar, enroscar, tropeço, queda ou corte.	1	4	0,1	1	0,4	Desprezível
	Muito improvável / Entretanto concebível	Em termos de Horas	Arranhão / Contusão Leve	1-2 Pessoas		

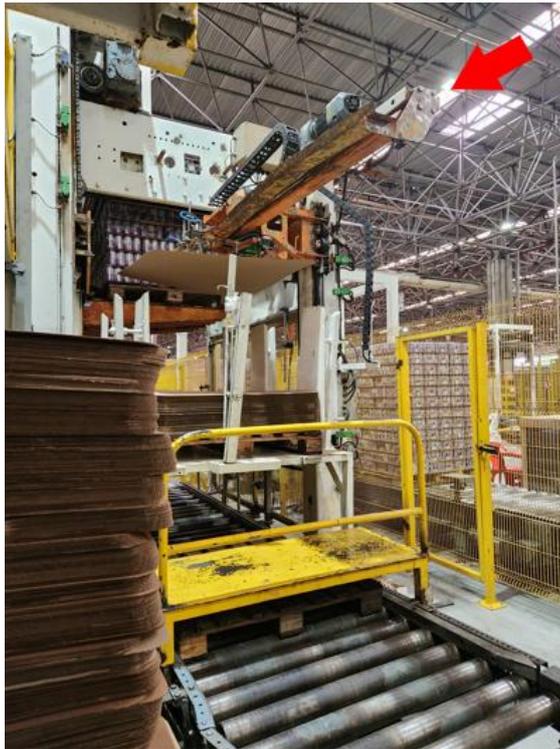
Fonte: Próprio autor (2023)

4.2.3. Paletizadora Seção C – Análise de risco

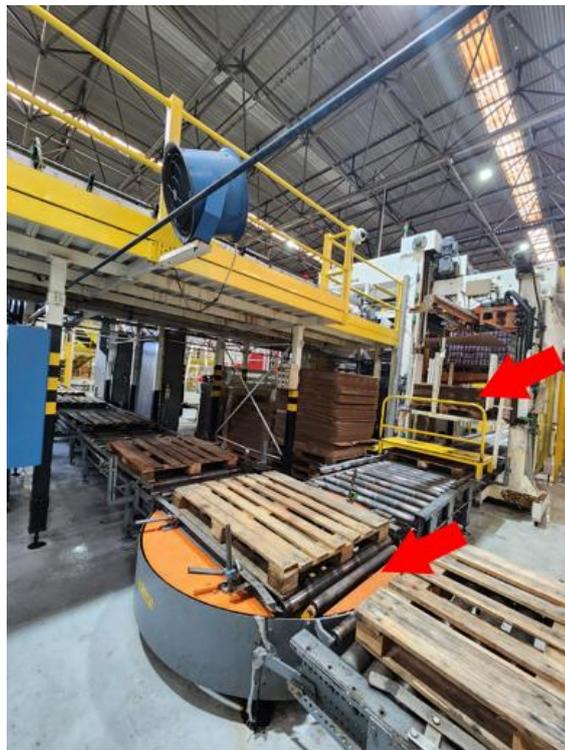
Por fim, será analisada a seção C, que resumidamente corresponde ao processo de elevação da mesa de pallet para o segundo nível, para assim formar a próxima camada de produto do pallet. Na Seção C, foram identificados diversos pontos críticos que não atendem às exigências da Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12). Entre as principais inadequações observadas, destacam-se:

- Irregularidades no espaçamento dos roletes, considerando que, por se tratar de um local aberto, existe a possibilidade de o colaborador tentar atravessar sobre o transporte, expondo-se ao risco de queda ou de esmagamento dos membros inferiores;
- Áreas abertas sem proteções fixas ou móveis, permitindo acesso direto às zonas de risco em decorrência de inadequações do equipamento;
- Acessos livres a elementos rotativos, como engrenagens, correntes e redutores, que representam risco de contato acidental e consequentes lesões;
- Sistema de movimentação do equipamento de translação, tanto vertical quanto horizontal, com possibilidade de circulação de colaboradores na área, o que pode ocasionar situações de esmagamento.

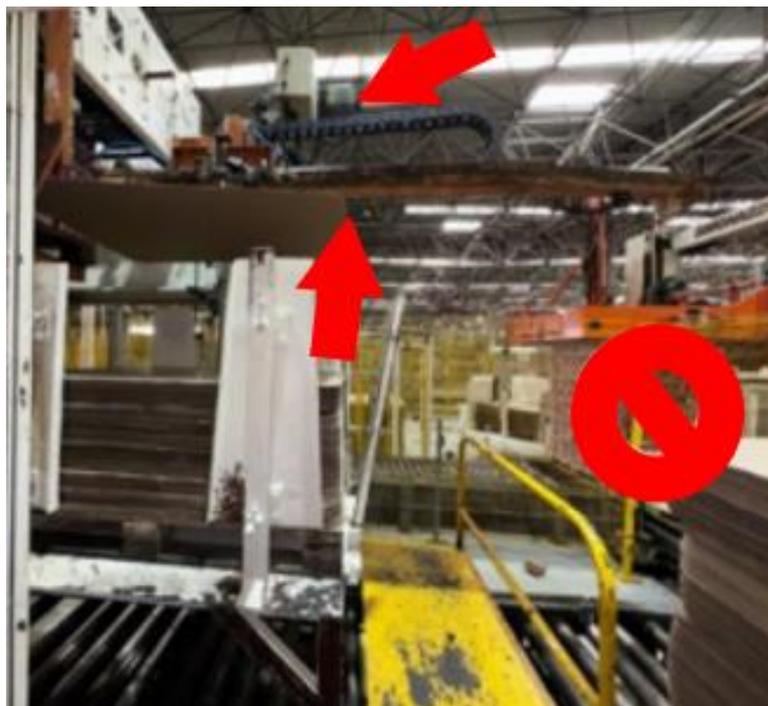
Esses pontos críticos, devidamente sinalizados nas Figuras 20-25 e identificados na tabela 18, reforçam a necessidade de adequações.



Figuras 20 – Pontos críticos Seção C
Fonte: Próprio autor (2023)



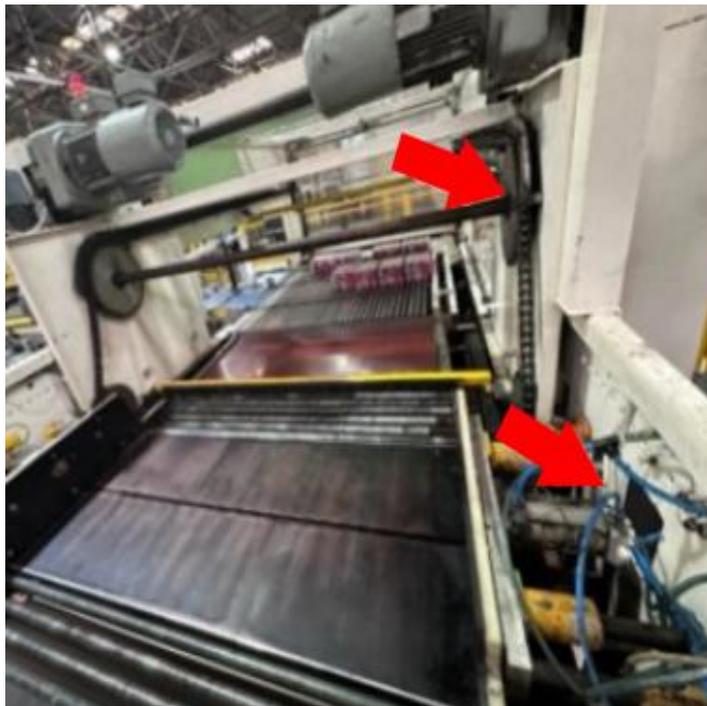
Figuras 21 – Pontos críticos Seção C I
Fonte: Próprio autor (2023)



Figuras 22 – Pontos críticos Seção C II
Fonte: L.V. Solutions (2024)



Figuras 23 – Pontos críticos Seção C III
Fonte: L.V. Solutions (2024)



Figuras 24 – Pontos críticos Seção C IV
Fonte: L.V. Solutions (2024)



Figuras 25 – Pontos críticos Seção C V
Fonte: L.V. Solutions (2024)

Tabela 18 – Identificação dos Riscos Seção C

Identificação dos Riscos	
ELEMENTOS	Mecânicos; Elétricos e Pneumáticos
LOCAL	Primeiro nível e Segundo Nível paletização
ALVO DOS RISCO	Operadores, Assepsia e Manutenção
TAREFA	Desprender pallets do transporte, operação normal, retirada de pacote preso, troca de corrente e/ou engrenagens, limpeza e ajustes
TIPO DE RISCO (ISO 12100)	Mecânicos, Elétricos; Térmicos; Vibração; ergonômico (Combinação de Riscos)
ORIGEM DO RISCO (ISO 12100)	Aceleração, desaceleração, elementos móveis e/ou rotativos, altura a partir do solo
CONSEQUÊNCIAS (ISO 12100)	Corte ou mutilação, queda, tropeço, esmagamento, enroscar, choque, perda de equilíbrio e abrasão

Fonte: Próprio autor (2025)

Conforme descrito nas seções A e B anteriores, será conduzida a análise de risco utilizando a metodologia HRN, apresentada na Tabela 19, e o cálculo do PL_r, mostrado na Figura 27, com posterior definição da categoria de segurança conforme a Figura 26, em alinhamento com os requisitos da norma EN ISO 13849-1 e da NR-12.

Tabela 19 - HRN Seção C

CÁLCULO DO HRN ATUAL						
Tipo de Risco	Probabilidade de Ocorrência (LO)	Frequência de Exposição (FE)	Grau do Possível dano (DPH)	Número de pessoas expostas (NP)	HRN (LO x FE x DPH x NP)	Classificação de risco
Esmagamento, mutilação; queda ou arremesso, perda de equilíbrio, choque e	10	5	15	1	750	Risco Extremo
	Muito provável	Constantemente	Fatalidade	1-2 Pessoas		

Fonte: Próprio autor (2025)

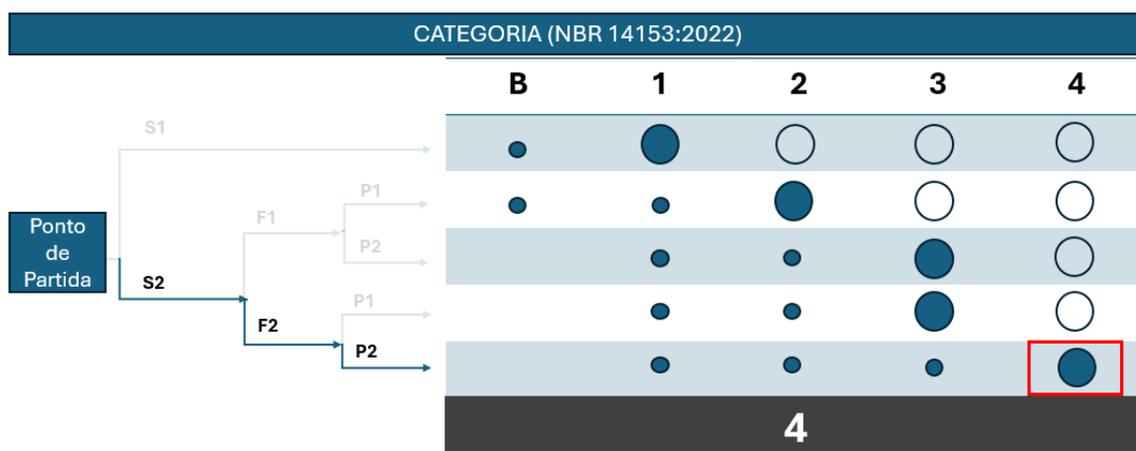


Figura 26 – Categoria de Segurança da Seção C
Fonte: Próprio autor (2025)

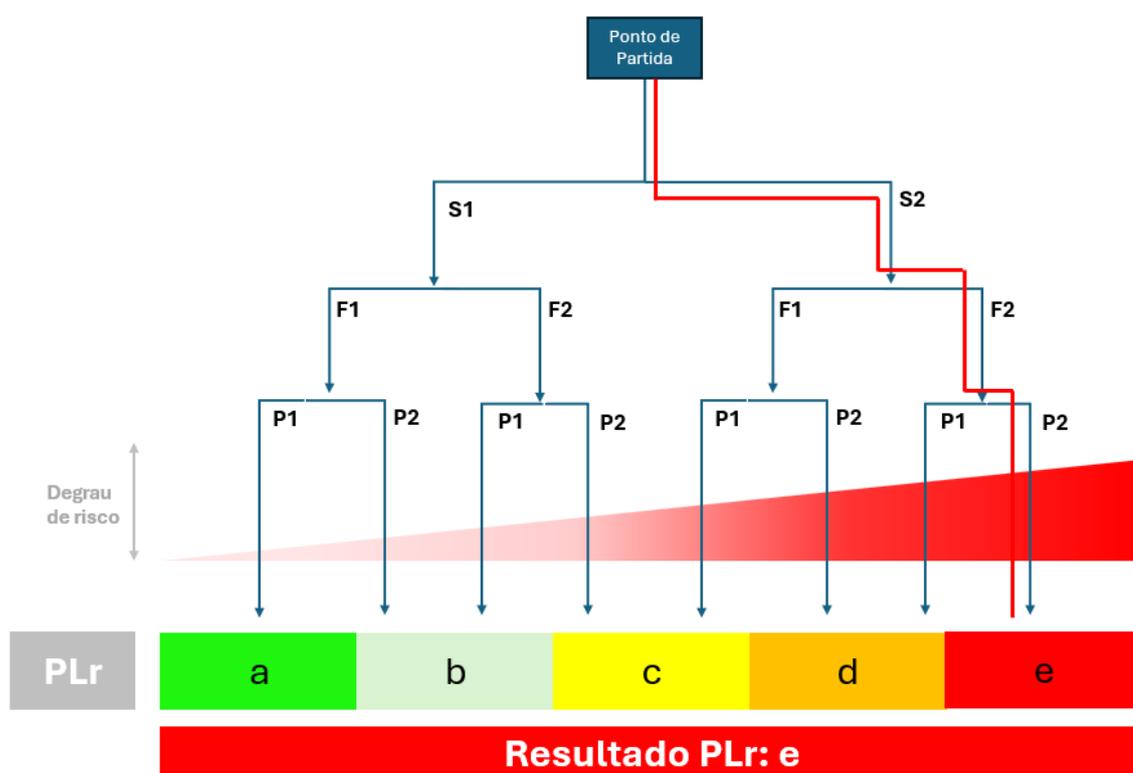


Figura 27 – Performance Level requerido da Seção C
Fonte: Próprio autor (2025)

A análise da Seção C demonstrou risco extremo, com o cálculo do HRN resultando em 750. Esse valor elevado indica que a combinação dos parâmetros de probabilidade de ocorrência, frequência de exposição, possibilidade de evitar o acidente e severidade do dano culmina em um nível crítico, exigindo medidas imediatas e eficazes de mitigação.

O resultado de Categoria de Segurança 4 revela que os sistemas de proteção do equipamento devem possuir redundância total em seus componentes. Isso

significa que, mesmo diante de uma falha em um dos elementos de segurança, a função de proteção não pode ser comprometida. Além disso, é necessário manter um monitoramento contínuo para assegurar que o sistema esteja sempre em condições seguras de operação.

Por fim, o Performance Level requerido (PLr) “e” representa o mais alto nível de confiabilidade exigido para os componentes de segurança. Esse resultado implica que os dispositivos de proteção devem ser projetados e validados para suportar condições severas de operação, garantindo máxima confiabilidade e reduzindo ao mínimo a probabilidade de falhas que possam expor os operadores a riscos.

4.2.3.1. Recomendações de adequação - Seção C

Em síntese, os resultados obtidos na Seção C reforçam a necessidade de intervenções técnicas rigorosas, com foco na implementação de sistemas redundantes, monitoramento constante e utilização de componentes de segurança de alto desempenho, em conformidade com a NR-12 e com os princípios da NBR ISO 12100:2013. Recomendações necessárias para adequação e mitigação do risco, sobre a seção C:

- Demarcação da área de trabalho segura para operação, com a devida provisão de proteção, conforme o item 12.9 da NR-12, que exige a delimitação e sinalização das áreas de risco;
- Regularização da escada com guarda-corpo, atendendo ao item 12.11, que trata das condições seguras de acesso e circulação em máquinas e equipamentos;
- Fechamento de aberturas irregulares de acesso à área de risco, por meio de proteções fixas ou móveis monitoradas, em conformidade com os itens 12.38 e 12.44, que exigem proteções físicas e dispositivos de intertravamento em proteções móveis;
- Instalação de cortina de luz no local onde a operação exige alinhamento de pacotes para paletização, impossibilitando o movimento do equipamento durante a intervenção, conforme o item 12.42, que trata da utilização de dispositivos de segurança optoeletrônicos;

- Implementação de proteções mecânicas fixas em todos os pontos de tração por correntes, engrenagens, mancais, roletes expostos e cremalheiras, conforme o item 12.38, que determina a obrigatoriedade de proteção contra contato com partes móveis;
- Monitoramento da área interna, interligado ao sistema antiqueda do cabeçote da paletizadora ou a um dispositivo mecânico de travamento (*cálcio mecânico*), em conformidade com o item 12.43, que estabelece requisitos para sistemas de detecção e monitoramento de presença em áreas de risco.

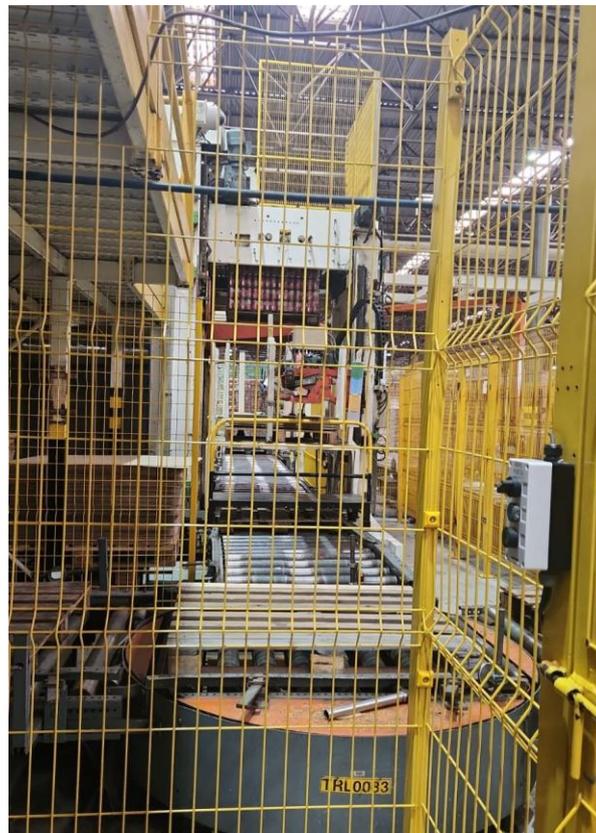


Figura 28 – Equipamento 100% enclausurado e monitorado
Fonte: Próprio autor (2025)

Após a implementação dos componentes de segurança convencionais encontra-se um cálculo do HRN Residual, conforme a figura a seguir, diminuindo a probabilidade de ocorrência e o grau de possível dano, nota-se que neste caso mesmo com toda a proteção física, acessos monitorados e monitoramento interno não foi possível diminuir consideravelmente o risco:

Tabela 20 – Cálculo do HRN atual

CÁLCULO DO HRN ATUAL						
Tipo de Risco	Probabilidade de Ocorrência (LO)	Frequência de Exposição (FE)	Grau do Possível dano (DPH)	Número de pessoas expostas (NP)	HRN (LO x FE x DPH x NP)	Classificação de risco
Esmagamento, Corte ou mutilação, Escorregamento, prender membros ou queimadura.	2	5	15	1	150	RISCO MUITO ALTO
	Muito Provável / Esperado	Em termos de Horas	Perdas de dois membros ou Olhos/ Enfermida de grave	1-2 Pessoas		

Fonte: Próprio autor (2025)

4.3. Cenário com IA integrada

Após a análise detalhada das subdivisões do equipamento e a definição de seus níveis de criticidade, será aplicada a mesma metodologia utilizada nas Seções A, B e C. Contudo, diferentemente das adequações realizadas por meio de componentes de segurança convencionais, nesta etapa será elevado o nível de tecnologia para atender às exigências de segurança.

Dessa forma, constata-se que, mesmo não se tratando de uma indústria caracterizada como Indústria 4.0, é possível elevar significativamente o nível de proteção dos equipamentos por meio da adoção de tecnologias com inteligência artificial integrada, tornando os sistemas de segurança automatizados e mais confiáveis.

4.3.1. O que é Inteligência Artificial (IA)?

A definição de Inteligência Artificial apresenta certa complexidade, dada a diversidade de abordagens existentes. Conforme exposto por Dennis dos Santos Gomes em sua pesquisa intitulada "*Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações*"¹³, essa definição pode ser agrupada em quatro principais linhas de pensamento: sistemas que pensam como seres humanos; sistemas que atuam como

¹³ GOMES, Denis Santos. Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações. Revista Olhar Científico – Faculdades Associadas de Ariquemes – V. 01, n.2, Ago./Dez. 2010. Disponível em https://www.professores.uff.br/screspo/wp-content/uploads/sites/127/2017/09/ia_intro.pdf. Acesso em: 28 nov. 2025.

seres humanos; sistemas que pensam racionalmente; e sistemas que atuam racionalmente. Tais perspectivas orbitam entre duas abordagens fundamentais: uma de caráter empírico, voltada à observação e experimentação, e outra de natureza racionalista, que envolve a aplicação de princípios matemáticos e de engenharia.

Sob ótica da programação e engenharia, a inteligência artificial, é o desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de simular comportamentos inteligentes, utilizando algoritmos, modelos matemáticos e estruturas de dados para resolver problemas complexos de forma autônoma e eficiente. Analisando no campo da sua lógica de programação, a IA, é implementada por meio de algoritmos que aprendem com os dados, conhecidos como machine learning, e por estruturas como redes neurais, árvores de decisão e modelos probabilísticos. Os principais aspectos incluem: (i) Aprendizado supervisionado e não supervisionado, que são técnicas que permitem ao sistema aprender padrões a partir de dados rotulados ou não; (ii) Processamento de linguagem natural (PLN), usado para interpretar e gerar linguagem humana, como chatbots e tradutores automáticos; (iii) Visão computacional, permitindo que sistemas reconheçam e interpretem imagens e vídeos; (iv) Automação de tarefas, como classificação de dados, previsão de resultados e tomadas de decisões com base em regras padrões. Essas aplicações, vem de conhecimentos em linguagens como por exemplo, Python e Java. Assim como conhecimento em frameworks como TensorFlow, Pytorch e Scikit-learn.

No campo da engenharia, a IA é aplicada para otimizar processos, prever falhas, automatizar projetos e melhorar a eficiência operacional. Algumas aplicações práticas incluem: Modelagem preditiva, prevendo o comportamento de estruturas ou sistemas com base em dados históricos; Automação de projetos, geração automática de desenhos técnicos e/ou arquitetônicos; Manutenção preditiva, análise de sensores e dados operacionais para antecipar falhas em equipamentos; Robótica e controle inteligente, sistemas que ajustam seu comportamento em tempo real.

Essas soluções são integradas a ambientes de engenharia como CAD, BIM, SCADA e sistemas embarcados, permitindo realizações de desenhos técnicos e modelagens 3D possibilitando o design da arquitetura, engenharia e automação. Muitas vezes com suporte de GPUs (Graphics Processing Unit) para acelerar o

processamento de cálculos complexos em alta velocidade, acelerando a renderização de imagens e vídeos.

Em um trabalho desenvolvido por Gíménez Campos (2021) em “Aplicaciones de GPUs em visión e inteligência artificial para el reconocimiento de formas” para a universidade politécnica de Valência¹⁴, abordou-se de forma clara um estudo onde foi utilizado uma GPU com programação em Python para identificar um objeto determinado. E para isso, Gímenez, recorreu de conjuntos de dados de imagens de referências programadas com algoritmos de aprendizado profundo, empregando redes neurais.

4.3.2. Aplicação de Tecnologias avançadas na segurança de equipamento

A aplicação de tecnologias avançadas com IA integrada, trazem diversos benefícios para a área industrial como todo. Maior eficiência operacional, redução de custos, personalização de serviços, inovação processos e um maior suporte estratégico para tomada de decisão. É importante destacar que o grau de risco de um equipamento considera fatores como a exposição ao risco e a probabilidade de ocorrência de acidentes.

Com a adoção de um processo inteligente, é possível elevar a performance operacional e, ao mesmo tempo, reduzir a necessidade de que colaboradores se exponham diretamente a situações perigosas. Além disso, aumenta-se a confiabilidade do equipamento, que passa a identificar irregularidades no sistema e, conseqüentemente, impedir o acesso de colaboradores a locais onde foram detectadas falhas ou inadequações de segurança.

Alguns exemplos de tecnologias aplicáveis são:

- a) Visão computacional com IA, são câmeras inteligentes capazes de identificar automaticamente a presença de pessoas em áreas de risco e enviar sinais de parada imediata ao equipamento.

¹⁴ Gíménez Campos, J. Aplicaciones de gpus en visión e inteligencia artificial para el reconocimiento de formas. Universitat Politècnica de València.2021. Disponível em: <https://riunet.upv.es/handle/10251/174441>. Acesso em: 28 nov. 2025.

- b) Sensores inteligentes preditivos, dispositivos que monitoram vibração, temperatura e ruído de componentes críticos, antecipando falhas e evitando acidentes.
- c) Scanners a laser com análise inteligente: Além de criar zonas virtuais de proteção, podem ajustar dinamicamente os limites de segurança conforme o fluxo de operação.
- d) Sistemas de bloqueio inteligente (Smart interlocks): são portas e gradis monitorados que só liberam acesso mediante autenticação e garantem que o equipamento esteja em estado seguro antes da entrada.
- e) Integração com softwares de análise de dados: plataformas que coletam informações em tempo real e utilizam algoritmos de IA para identificar padrões de risco e recomendar ações preventivas.

Assim, mesmo sem a adoção completa de conceitos da indústria 4.0, é possível automatizar a segurança e alcançar níveis elevados de confiabilidade, alinhando o equipamento às exigências da NR-12 e às normas internacionais de segurança de máquinas.

Avaliando de forma comparativa os componentes convencionais de segurança e os com IA integrada sobre os principais aspectos de segurança abordados nas análises de risco anteriores:

Tabela 21 – Comparando componentes

Aspectos de Segurança	Componentes convencionais (NR-12)	Tecnologias avançadas com IA
Proteções físicas contra acesso	Gradis, proteções fixas e móveis com intertravamento (NR-12, itens 12.38 e 12.44)	Portas inteligentes com autenticação biométrica e monitoramento em tempo real
Detecção de presença	Cortinas de luz com sistema <i>muting</i> (NR-12, item 12.42)	Visão computacional com IA para identificar pessoas e objetos em áreas de risco
Monitoramento interno	Scanners a laser convencionais (NR-12, item 12.43)	Sistemas inteligentes de parada automática baseados em análise de comportamento e risco
Prevenção de falhas	Relés de segurança redundantes (Categoria 4, ISO 13849-1)	Sensores preditivos com IA que antecipam falhas por vibração, temperatura ou ruído
Gestão de dados	Registros manuais de inspeção e manutenção	Plataformas de análise de dados com IA para identificar padrões de risco e recomendar ações preventivas

Fonte: Próprio autor (2025)

4.4. Componentes da IA integrada

4.4.1. PixSafety

Durante o processo de busca por tecnologias avançadas voltadas à alta confiabilidade na segurança da fábrica, destacou-se em uma feira de inovação, um sistema de monitoramento inteligente denominado Pix Safety. Desenvolvido pela empresa brasileira Pix Force¹⁵, tem como principal objetivo prevenir acidentes de

¹⁵AMCHAM. Pix Force é eleita a melhor startup do país no Amcham Arena 2025. 2025. Disponível em: <https://www.amcham.com.br/noticias/pix-force-e-eleita-a-melhor-startup-do-pais-no-amcham-arena-2025#:~:text=Especializada%20em%20intelig%C3%A2ncia%20artificial%20e%20vis%C3%A3o%20computacional%2C,inspe%C3%A7%C3%B5es%20visuais%20em%20processos%20automatizados%20e%20escal%C3%A1veis>. Acesso em: 28 nov. 2025.

trabalho por meio da automação de processos de inspeção visual, garantindo maior eficiência e confiabilidade na detecção de situações de risco¹⁶.

Esse sistema utiliza inteligência artificial e visão computacional para ampliar a segurança do trabalho em ambientes industriais e operacionais. A visão computacional, uma área da IA, utiliza algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais para processar imagens digitais, vídeos e outros inputs visuais. O mais interessante é que o sistema PixSafety, é possível integrar câmeras de segurança já existentes para identificar rapidamente desvios e comportamentos inseguros, acionando alertas em tempo real¹⁷.

Esse recurso possibilita intervenções imediatas, reduzindo de forma significativa a probabilidade de ocorrência de acidentes e aumentando a confiabilidade das operações industriais. Tem como suas principais funcionalidades:

- a) Transforma câmeras comuns de vigilância em sensores inteligentes, conectando-as a plataforma. Dessa forma reduz custos de implantação.
- b) Detecção de uso de EPIs: O sistema é capaz de verificar automaticamente se os colaboradores estão utilizando os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) corretos em áreas específicas.
- c) Monitoramento de áreas restritas (redzones): a tecnologia monitora o acesso a zonas de risco, alertando em tempo real sobre a presença de pessoas não autorizadas ou comportamentos perigosos.
- d) Análise de comportamento de risco: a IA analisa as imagens de câmeras já existentes para identificar posturas ou ações que possam levar a acidentes.
- e) Alertas em tempo real: Em caso de violação das regras de segurança, o sistema emite alertas imediatos para que as medidas corretivas possam ser tomadas rapidamente.

¹⁶ ANS NACIONAL. Mercopar 2023 terá lançamento de tecnologia que aponta falhas em segurança do trabalho. 2023. Disponível em: <https://agenciasebrae.com.br/inovacao-e-tecnologia/mercopar-2023-tera-lancamento-de-tecnologia-que-aponta-falhas-em-seguranca-do-trabalho/>. Acesso em: 28 nov. 2025.

¹⁷ FLORES, Sebastián. Câmeras para Prevenção de Acidentes podem revolucionar a segurança do trabalho? Pix Force. 2024. Disponível em: [https://pixforce.com/pt-br/cameras-para-prevencao-de-acidentes-seguranca-do-trabalho/#:~:text=C%C3%A2meras%20com%20Intelig%C3%Aancia%20Artificial:%20As%20c%C3%A2meras%20equipadas,individual%20\)%20e%20intera%C3%A7%C3%B5es%20perigosas%20entre%20trabalhadores](https://pixforce.com/pt-br/cameras-para-prevencao-de-acidentes-seguranca-do-trabalho/#:~:text=C%C3%A2meras%20com%20Intelig%C3%Aancia%20Artificial:%20As%20c%C3%A2meras%20equipadas,individual%20)%20e%20intera%C3%A7%C3%B5es%20perigosas%20entre%20trabalhadores.). Acesso em: 28 nov. 2025.

4.4.2. Câmera com IA integrada

Permanecendo na busca por tecnologias avançadas voltadas à alta confiabilidade na segurança da fábrica, destacou-se, uma grande proposta de inovação. O Flexidome IP Starlight 8000i X, desenvolvido pela Bosch Security Systems, é um equipamento de monitoramento de vídeo de última geração, projetado para oferecer imagens de alta qualidade em ambientes internos e externos. Trata-se de uma câmera IP que combina tecnologias avançadas de captura de imagem com recursos de inteligência artificial, permitindo não apenas a vigilância tradicional, mas também a análise inteligente de cenários em tempo real.

Do ponto de vista funcional, o equipamento possui resolução de até 6 megapixels, tecnologia Starlight X, que garante imagens nítidas mesmo em condições de baixa iluminação, e HDR X, com faixa dinâmica de até 144 dB, capaz de equilibrar áreas claras e escuras sem perda de detalhes. Além disso, conta com comissionamento remoto, que possibilita ajustes e configurações à distância das áreas monitoradas, reduzindo custos de instalação e manutenção. A integração com algoritmos de inteligência artificial permite a detecção de movimentos, reconhecimento de objetos e geração de alertas preditivos, ampliando a eficiência do sistema de segurança.

Entre os benefícios da utilização do Flexidome IP Starlight 8000i X destacam-se a qualidade superior das imagens, a confiabilidade do monitoramento contínuo, a redução de custos operacionais e a flexibilidade de aplicação em diferentes ambientes. O equipamento contribui para a prevenção de incidentes, fortalece a segurança, facilita auditorias e conformidade com normas internacionais de segurança eletrônica.

Por outro lado, é importante considerar algumas limitações. Exige um maior investimento inicial comparado com os convencionais, além disso, a operação requer infraestrutura de rede robusta e treinamento especializado para configuração e análise dos dados.

Do ponto de vista econômico, embora o investimento inicial seja elevado, devido a necessidade de mão de obra especializada para sua configuração inicial. O retorno se dá pela redução de perdas na produção, acidentes/incidentes, além da diminuição de custos de manutenção preventiva.

Socialmente, o equipamento aumenta a sensação de segurança dos colaboradores que atual no raio de monitoramento, enquanto ambientalmente apresenta consumo energético relativamente baixo para o porte da tecnologia em comparativo com os componentes de segurança convencionais.

Um ponto importante e relevante para continuação deste estudo de caso, é que no aspecto da segurança, o Flexidome IP Starlight 8000i X atua como um sistema complementar até o momento. Integrando-se a dispositivos certificados de proteção, como cortinas de luz e barreiras físicas, em conformidade com normas como a NR-12 e a ISO 12100. Pois seu objetivo inicial de desenvolvimento da Bosch foi para monitoramento e segurança patrimonial, logo seu sistema de ligação não foi pensando com redundância, monitoramento cruzado ou arquitetura segura de ligações. Com isso no próximo tópico será demonstrado como foi transformado a arquitetura completa do sistema de ligação na fábrica para tornar está câmera em um monitoramento de categoria 4 de segurança.

4.5. Arquitetura do sistema de ligação

Com o objetivo de adequar o equipamento em conformidade com a NR-12, será utilizada a câmera com inteligência artificial (IA), que proporcionará menor custo de manutenção em comparação aos componentes de segurança convencionais, além de oferecer maior confiabilidade contra atos inseguros. Em paralelo, essa tecnologia poderá ser aplicada para o aumento da performance do equipamento, reduzindo a necessidade de contato direto entre homem e máquina.

Será arquitetado um sistema de ligação completo atendendo aos requisitos da EN ISO 13849-1, conforme a figura 29, elevando o sistema da câmera IA para a Categoria 4. Normativamente, um sistema é considerado de Categoria 4 de segurança, o nível mais alto de proteção, quando apresenta:

- Redundância de canais;
- Monitoramento contínuo e cruzado;
- Detecção de falhas;
- Arquitetura segura de ligação;
- Validação e testes periódicos.

Serão utilizadas duas câmeras inteligentes para o monitoramento da mesma área do equipamento, delimitando as zonas de risco (*red zone*) e as zonas de atenção. Nas zonas de risco, o controlador do equipamento acionará a parada segura imediata; já nas zonas de atenção, haverá redução da velocidade e a sinalização de um alarme visual de advertência.

As câmeras estão conectadas em canais independentes (canal 1 e canal 2), diretamente ao relé de segurança, que recebe os sinais enviados pelos dispositivos. Cada canal é monitorado separadamente e, somente se ambos estiverem em estado seguro previamente determinado, o relé libera a saída. Em caso de falha ou divergência entre os sinais, o relé interrompe imediatamente a saída, garantindo a integridade do sistema.

O sistema conta ainda com um CLP (Controlador Lógico Programável) conectado ao relé por meio de uma linha de diagnóstico. Esse controlador registra falhas, divergências, curtos ou desconexões, sendo capaz de acionar alarmes, luzes de advertência ou realizar a parada do sistema. O CLP também é configurado para executar testes cíclicos nas câmeras, assegurando que não existam falhas silenciosas.

Importante destacar que o relé de segurança e o PLC operam em verificação cruzada, com troca contínua de informações para confirmar que ambos permanecem em estado seguro. Por exemplo, quando o relé cortar a energia e emite um sinal de parada ao PLC, este deve confirmar o recebimento do comando e bloquear qualquer tentativa de *reset* inadequado. Caso haja divergência entre os sinais, o sistema entra automaticamente em falha segura.

A saída segura do relé é conectada à função Safe Torque Off (STO) do inversor de frequência seguro, que recebe o sinal e desativa imediatamente o torque do motor em caso de falha. Além disso, o inversor controla a velocidade e o sentido de rotação do motor trifásico, que atua como o atuador final do sistema. O motor somente opera se o inversor receber o sinal seguro proveniente do relé, garantindo máxima confiabilidade e proteção.

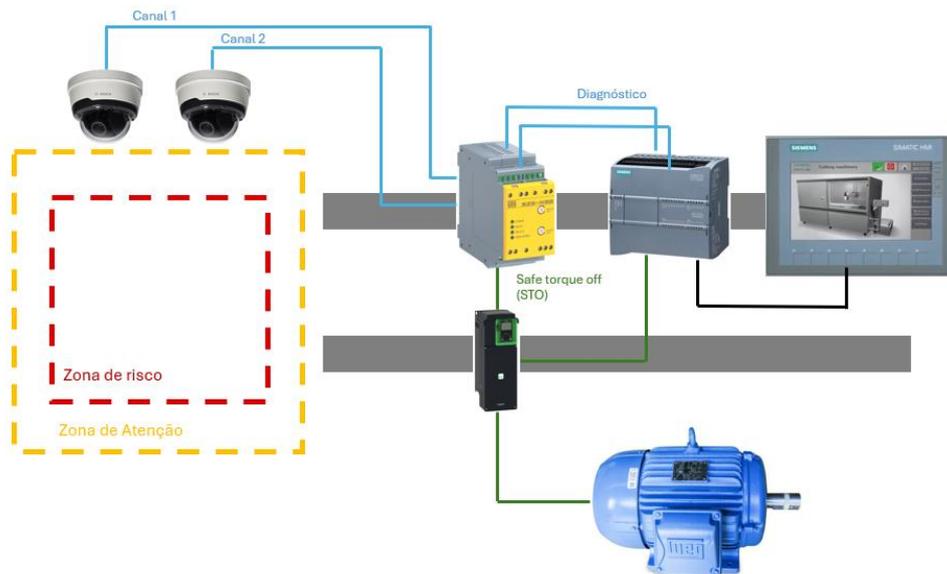


Figura 29 – Sistema de Ligação
 Fonte: Próprio autor (2025)

4.6. Adequações das Seções A, B, C com a integração da IA

Nesta etapa, será realizada a análise da paletizadora como um todo, abrangendo as Seções A, B e C. A divisão anterior por seções foi adotada devido ao fato de cada face do equipamento apresentar níveis distintos de risco, permitindo que cada área fosse adequada conforme o risco calculado.

Contudo, neste momento, não se mostra mais vantajoso manter a análise segmentada, uma vez que o objetivo é consolidar a avaliação do equipamento em sua totalidade para adequá-la como um todo utilizando a câmera IA. A abordagem de segmentar a análise evita que o equipamento seja classificado com base no maior risco individual entre as faces, o que poderia gerar investimentos superiores ao necessário.

Ao tratar cada área conforme seu nível real de risco, é possível atender adequadamente às exigências normativas, especialmente da NR-12, e realizar a mitigação dos riscos identificados de forma eficiente e proporcional, otimizando recursos sem comprometer a segurança.

Porém, para no caso deste tópico onde objetivo é adequar com a implementação da câmera IA que pega o perímetro total do equipamento, será analisado como um único bloco os riscos encontrados na avaliação: partes rotativas sem proteção ou monitoramento, controle de acesso da empilhadeira sem

monitoramento, risco de esmagamento com o movimento da paletizadora, aberturas indevidas nas proteções fixas, sem botão de emergência, entre outros já pontuados.

Abaixo segue seus resultados:

Tabela 22 – Identificação dos riscos do equipamento como todo

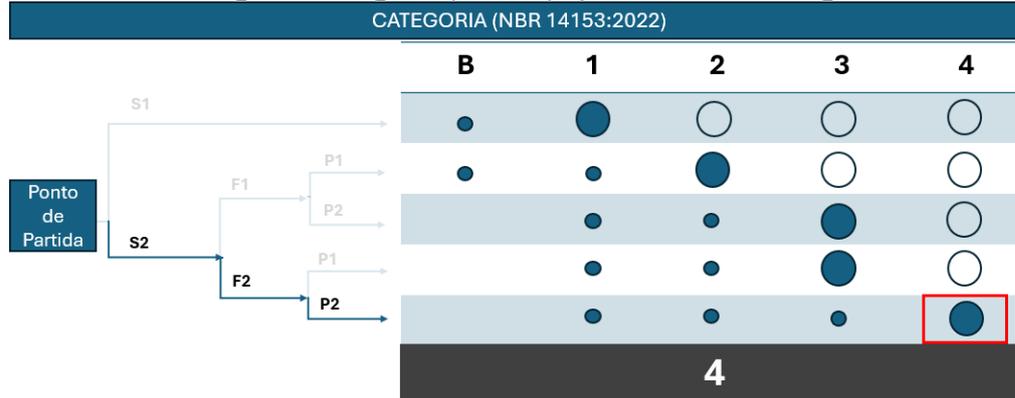
Identificação dos Riscos	
ELEMENTOS	Mecânicos; Elétricos e Pneumáticos
LOCAL	Primeiro nível e Segundo Nível paletização
ALVO DOS RISCO	Operadores, Assepsia e Manutenção
TAREFA	Desprender pallets do transporte, operação normal, retirada de pacote preso, troca de corrente e/ou engrenagens, limpeza e ajustes
TIPO DE RISCO (ISO 12100)	Mecânicos, Elétricos; Térmicos; Vibração; ergonômico (Combinação de Riscos)
ORIGEM DO RISCO (ISO 12100)	Aceleração, desaceleração, elementos móveis e/ou rotativos, altura a partir do solo
CONSEQUÊNCIAS (ISO 12100)	Corte ou mutilação, queda, tropeço, esmagamento, enroscar, choque, perda de equilíbrio e abrasão

Fonte: Próprio autor (2025)

Tabela 23 – HRN do equipamento global

CÁLCULO DO HRN ATUAL						
Tipo de Risco	Probabilidade de Ocorrência (LO)	Frequência de Exposição (FE)	Grau do Possível dano (DPH)	Número de pessoas expostas (NP)	HRN (LO x FE x DPH x NP)	Classificação de risco
Esmagamento, mutilação; queda ou arremesso, perda de equilíbrio, choque e	10	5	15	1	750	Risco Extremo
	Muito provável	Constantemente	Fatalidade	1-2 Pessoas		

Fonte: Próprio autor (2025)

Tabela 24 – Categoria de segurança do equipamento de forma global

Fonte: Próprio autor (2025)

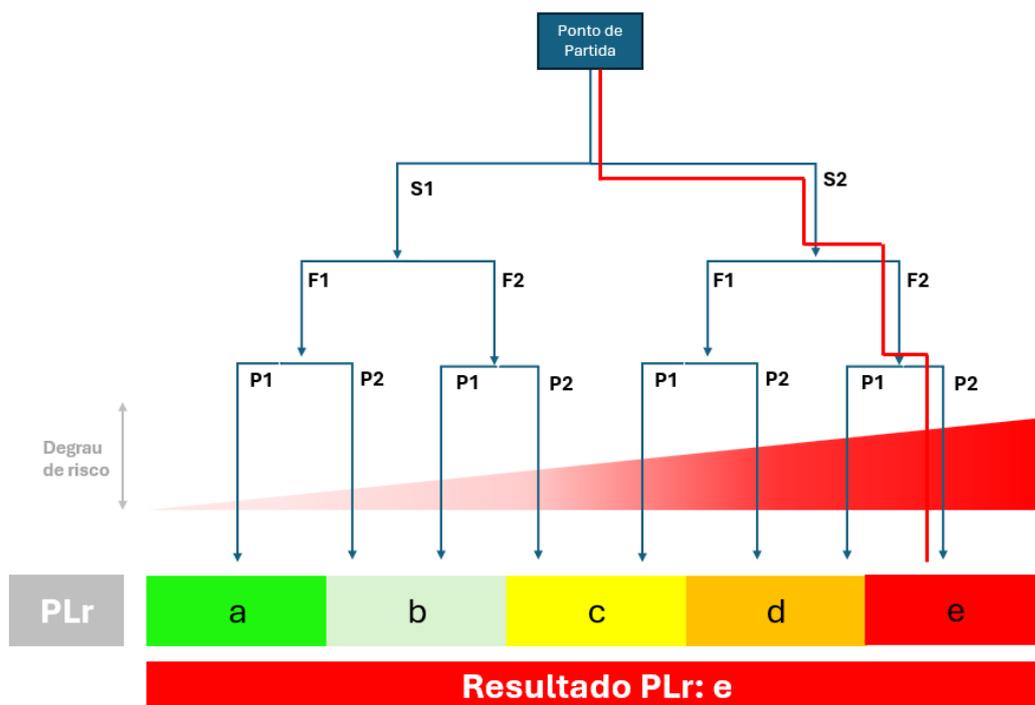


Figura 30 – PLr do equipamento global

Fonte: Próprio autor (2025)

Com a identificação dos perigos e riscos associados ao equipamento como um todo, destacam-se como principais: mutilações, esmagamento de membros e do corpo, choques elétricos, quedas, entre outros.

Diante desse cenário, compreende-se que a principal ação para mitigação dos riscos é a eliminação do acesso de colaboradores às zonas de risco que são de processo durante a operação, seja para ajustes operacionais ou intervenções de manutenção.

Caso a intervenção no equipamento seja necessária, esta deve ocorrer de forma segura, com o uso de tecnologias de proteção, procedimentos operacionais

padronizados e dispositivos de segurança conforme os requisitos da NR-12, garantindo a integridade física dos trabalhadores e a conformidade legal da operação.

Diante da necessidade de monitoramento da área interna do perímetro avaliado como de risco, foram instaladas duas câmeras com inteligência artificial (IA), vide a figura 31, integradas a uma arquitetura de ligação projetada em conformidade com a Categoria 4 de segurança. Este sistema provê: Redundância dos canais de monitoramento, supervisão contínua e cruzada dos componentes, detecção imediata de falhas, arquitetura segura de ligação e validação periódica por meios de testes automatizados.



Figura 31 – Câmera com IA
Fonte: Próprio autor (2025)

Além do monitoramento interno voltado a ajustes operacionais ou manutenções seguras, torna-se indispensável a adoção de uma trava contra o risco da energia gravitacional presente no movimento da paletizadora, especificamente na transição do segundo nível para o primeiro nível. Essa medida garante que, mesmo em situações de falha ou intervenção, não haja risco de queda ou deslocamento inesperado da estrutura, preservando a integridade dos colaboradores e a segurança do processo.

A câmera é capaz de distinguir exatamente os elementos para os quais foi programada, apresentando elevada precisão na identificação. Alguns exemplos

incluem a diferenciação entre empilhadeiras, pessoas, pallets e chapatex. Além disso, pode realizar análises mais avançadas, como a distinção entre mecânicos, eletricitas e operadores, considerando que cada grupo utiliza uniformes padronizados com cores específicas, as quais são reconhecidas pelo sistema.

Dessa forma, é possível limitar os espaços permitidos de acordo com as funcionalidades e atribuições de cada colaborador, garantindo maior controle e segurança operacional.

Na Figura 32, é demonstrada a demarcação programada da área classificada como *red zone*, também conhecida como zona de risco, evidenciando a aplicação prática da tecnologia no monitoramento seguro do ambiente industrial.



Figura 32 – Zona de risco demarcada
Fonte: Próprio autor (2023)

Caso algum objeto se aproxime de uma distância pré-determinada da zona de risco, sendo classificado dentro da zona de atenção, e a câmera identifique esse objeto como um colaborador, demonstrado na figura 33, o sistema sinalizará que há um trabalhador presente nessa área.

Nessa condição, a câmera pode ser programada para emitir sinais de atenção, que podem ser sonoros ou visuais, alertando imediatamente sobre a presença do colaborador em uma área de potencial perigo e reforçando a prevenção de acidentes.



Figura 33 – Câmera demarcando o colaborador na zona de atenção
Fonte: Próprio autor (2023)

Após se aproximar da zona de atenção, caso o colaborador indevidamente adentre a zona de risco sem acionar manualmente a parada do equipamento, o sistema, conforme programado, envia imediatamente um comando de parada segura sinalizado na figura 34.

Dessa forma, o colaborador deixa de estar exposto a riscos rotativos, arremessos de objetos ou colisões com o equipamento, garantindo a integridade física e a conformidade com os requisitos de segurança operacional.



Figura 34 – Colaborador na zona de risco acionando parada segura
Fonte: Próprio autor (2023)

Desta forma, são atendidos os requisitos de monitoramento interno e de parada segura do equipamento. Entretanto, um outro risco crítico, não evidenciado na imagem, refere-se à energia gravitacional. Caso ocorra falha nos componentes de sustentação e tração do cabeçote da paletizadora, poderá haver queda livre, gerando potencial acidente caso um colaborador esteja posicionado abaixo da mesa.

Para mitigar esse risco, está sendo desenvolvido um projeto de ativação de atuadores cilíndricos que atuarão como travas mecânicas. Assim, caso a corrente de elevação do cabeçote da paletizadora se rompa, o cilindro atuador impedirá a queda, funcionando como um dispositivo de bloqueio contra acidentes.

Nesse contexto, qualquer detecção de condição insegura pela câmera, acionamento de emergência ou parada do equipamento, resumidamente, enviará um sinal ao relé de segurança. O PLC liberará o comando para o atuador por meio do inversor de frequência seguro, que, através da função Safe Torque Off (STO), ativará o motor do atuador, garantindo o travamento imediato do equipamento em caso de parada.

Após as adequações necessárias forem aplicadas, refazendo o cálculo do HRN residual do equipamento calculado na Tabela 25:

Tabela 25 – Cálculo do HRN Residual do equipamento

CÁLCULO DO HRN ATUAL						
Tipo de Risco	Probabilidade de Ocorrência (LO)	Frequência de Exposição (FE)	Grau do Possível dano (DPH)	Número de pessoas expostas (NP)	HRN (LO x FE x DPH x NP)	Classificação de risco
Esmagamento, mutilação; queda ou arremesso, perda de equilíbrio, choque e	2	2,5	1	1	5	Muito Baixo
	Possível / Mas incomum	Diariamente	Fratura de Ossos Pequenos / Enfermidade Leve	1-2 Pessoas		

Fonte: Próprio autor (2025)

Foi realizado um cálculo de HRN (Hazard Rating Number) residual, após adequações mencionadas que resultou em uma classificação de risco “Muito Baixo”, em razão da alteração de parâmetros relevantes:

- Probabilidade de ocorrência: o equipamento encontra-se 100% monitorado por um sistema redundante de segurança, o que dificulta a ocorrência de atos

inseguros por parte dos colaboradores, como transitar sobre o transporte ou sob o gradil, entre outras condutas inadequadas.

- Frequência de exposição: como a câmera possui monitoramento contínuo com sistema de aprendizado, é possível antecipar situações e ajustar o material, reduzindo a necessidade de intervenções operacionais no interior do equipamento e, conseqüentemente, diminuindo a frequência de exposição ao risco.
- Grau do possível dano: considerando tratar-se de ambiente industrial, os colaboradores podem sofrer lesões leves, como tropeços, que podem ocasionar enfermidades de menor gravidade.
- Número de pessoas expostas: este parâmetro manteve-se inalterado em relação à análise anterior.

5. Considerações finais

Como mencionado, a câmera com inteligência artificial (IA) não foi originalmente desenvolvida com fins de segurança de equipamentos. No entanto, após indagações da diretoria da companhia sobre a necessidade de inovação e maior confiabilidade no setor de segurança de máquinas, especialmente após a fatalidade de um colaborador em um equipamento com a mesma funcionalidade e classificação de risco do presente estudo de caso, a utilização da câmera surgiu como uma proposta relevante.

O projeto piloto foi iniciado em 2023, com os primeiros testes realizados em 17/11/2023, conforme demonstrado nas Figuras 32, 33 e 34. Para garantir a confiabilidade exigida pela Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), foi necessária a elaboração de toda a arquitetura de ligação do sistema.

Após a implementação da câmera IA na paletizadora de uma das linhas de produção, observaram-se resultados positivos não apenas em termos de performance e confiabilidade do equipamento, mas também no aumento da percepção de segurança pelos colaboradores. Além disso, houve redução nos custos de manutenção, uma vez que, diferentemente da adequação convencional realizada por meio de gradis, sensores *scanners*, barreiras de segurança e outros componentes sujeitos à degradação contínua, o sistema baseado em IA apresentou maior durabilidade e menor necessidade de reparos.

Como é possível observar na tabela de preços aproximados abaixo, dos itens de segurança convencional e da câmera, a câmera com IA integrada necessita de um maior aporte inicial em relação aos outros itens. Porém, com os itens como gradil, chave de segurança e os scanners ficam mais próximos dos colaboradores, podendo ocorrer esbarrões ou até colisões com trânsito de empilhadeiras. Possuem uma maior rotatividade de manutenção e/ou trocas.

Apenas nos baseando com os itens mencionados, o equipamento foi adequado com os componentes convencionais no valor aproximadamente de R\$114.098,00 no aporte inicial sem manutenções corretivas.

Tabela 26 – Preço aproximado

Item	Preço aproximado (R\$)	Quantidade aproximada
Barreira de Luz (1,20m)	3.200,00	2 pares
Chave de Segurança	3.599,00	3 un
Grade de proteção fixas (2m)	600,00	30 m
Scanner de Segurança	27.500,00	3 un
Câmera IA integrada	3.500,00	2 un

Fonte: Próprio autor (2025)

Diante dos bons resultados, outras câmeras com IA integrada foram instaladas nas paletizadoras das demais linhas de produção, considerando que este equipamento possui uma das classificações de risco mais elevadas da fábrica. Auditorias externas avaliaram positivamente o sistema, embora, por não possuir certificações como TÜV, UL, CE ou INMETRO, não tenha sido possível retirar as proteções fixas ou barreiras de segurança exigidas para componentes certificados.

Vale destacar que, após a validação da utilização da câmera IA como parte do sistema de segurança da máquina, houve aumento da procura por essa tecnologia em processos de benchmarking. Isso levou os fabricantes a serem questionados sobre a possibilidade de obter certificações adequadas para esse fim, ainda que isso implique em custos adicionais devido às implementações necessárias.

Por fim, ressalta-se a importância de um bom nível de conhecimento por parte do engenheiro mecânico sobre proteção de máquinas e equipamentos. Esse profissional, muitas vezes responsável por projetar, adaptar e supervisionar sistemas, deve dominar os requisitos da NR-12, garantindo que os projetos já nasçam em conformidade legal e reduzindo custos de adequação ao longo do tempo. Além disso, é essencial estar atento às inovações tecnológicas industriais, especialmente em um cenário em que a inteligência artificial se intensifica no mercado. Dessa forma, mesmo fábricas não totalmente automatizadas podem elevar seus níveis de segurança e performance com dispositivos como o apresentado neste estudo.

6. Referências Bibliográficas

ABIMAQ. **NR-12: O que é e para que serve essa norma regulamentadora?** 2023. Disponível em: <https://abimaq.org.br/blogmaq/1718/nr-12-o-que-e-e-para-que-serve-essa-norma-regulamentadoraj#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20a%20NR%2D12?,mercado%20e%20%C3%A0s%20novas%20tecnologias>. Acesso em: 28 nov. 2025.

ABNT NBR ISO 12.100. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Segurança de máquinas - Princípios Gerais de Projeto - Avaliação e Redução de Riscos.** Brasil. 2013.

ABNT NBR ISO 14118. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Segurança de máquinas - Prevenção de partida inesperada.** 2022. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/756355789/ABNT-NBR-14153-2022>. Acesso em: 28 nov. 2025.

AMCHAM. **Pix Force é eleita a melhor startup do país no Amcham Arena 2025.** 2025. Disponível em: <https://www.amcham.com.br/noticias/pix-force-e-eleita-a-melhor-startup-do-pais-no-amcham-arena-2025#:~:text=Especializada%20em%20intelig%C3%Aancia%20artificial%20e%20vis%C3%A3o%20computacional%2C,inspe%C3%A7%C3%B5es%20visuais%20em%20processos%20automatizados%20e%20escal%C3%A1veis>. Acesso em: 28 nov. 2025.

ANS NACIONAL. **Mercopar 2023 terá lançamento de tecnologia que aponta falhas em segurança do trabalho.** 2023. Disponível em: <https://agenciasebrae.com.br/inovacao-e-tecnologia/mercopar-2023-tera-lancamento-de-tecnologia-que-aponta-falhas-em-seguranca-do-trabalho/>. Acesso em: 28 nov. 2025.

BRASIL. **Ministério do Trabalho Gabinete do Ministro. Portaria nº 3.214, 8 de junho de 1978.** Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/1978/portaria_3-214_aprova_as_nrs.pdf. Acesso em: 28 nov. 2025.

BRASIL. **NR-12 Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2025.

CAMPOS A; PINTO JBB. **NR 12 segurança no trabalho em máquinas e equipamentos: gerenciando riscos**. São Paulo, SP, Brasil: Senac São Paulo, 2019. 376 p.

FIGUEIREDO, Letícia Aparecida. **Desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina (IHM) Industrial de Alta Performance Baseada no Estudo da Norma ISA-101 Aplicada a Processos de Mineração**. TCC (graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2024. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/7048/1/MONOGRAFIA_DeenvolvimentoInterfaceHomem.pdf. Acesso em: 28 nov. 2025.

FLORES, Sebastián. **Câmeras para Prevenção de Acidentes podem revolucionar a segurança do trabalho?** Pix Force. 2024. Disponível em: [https://pixforce.com/pt-br/cameras-para-prevencao-de-acidentes-seguranca-do-trabalho/#:~:text=C%C3%A2meras%20com%20Intelig%C3%Aancia%20Artificial:%20As%20c%C3%A2meras%20equipadas,individual%20\)%20e%20intera%C3%A7%C3%B5es%20perigosas%20entre%20trabalhadores](https://pixforce.com/pt-br/cameras-para-prevencao-de-acidentes-seguranca-do-trabalho/#:~:text=C%C3%A2meras%20com%20Intelig%C3%Aancia%20Artificial:%20As%20c%C3%A2meras%20equipadas,individual%20)%20e%20intera%C3%A7%C3%B5es%20perigosas%20entre%20trabalhadores). Acesso em: 28 nov. 2025.

FONSECA, Ygor de Azevedo. **Estudo e implementação de interfaces homem-máquina (IHMs) industriais embasadas em normas reconhecidas**. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Elétrica. 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/267957>. Acesso em: 28 nov. 2025.

GIMÉNEZ CAMPOS, J. **Aplicaciones de gpus en visión e inteligencia artificial para el reconocimiento de formas**. Universitat Politècnica de València.2021. Disponível em: <https://riunet.upv.es/handle/10251/174441>. Acesso em: 28 nov. 2025.

GOMES, Denis Santos. Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações. **Revista Olhar Científico** – Faculdades Associadas de Ariquemes – V. 01, n.2, Ago./Dez. 2010. Disponível em https://www.professores.uff.br/screspo/wp-content/uploads/sites/127/2017/09/ia_intro.pdf. Acesso em: 28 nov. 2025.

INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. **ANSI/ISA-101.01-2015: Human Machine Interfaces for Process Automation Systems**. Research Triangle Park, NC: ISA, 2015.

ISO 13849-1. **Norma para a segurança funcional, base para o nível de performance (PL)**. 2023. Disponível em: <https://www.pilz.com/pt-BR/support/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1>. Acesso em: 28 nov. 2025.

KEYENCE BRASIL. **Catálogo**. Disponível em: https://www.keyence.com.br/products/?utm_medium=cpc&utm_content=KBR-BR-PT-GEN-GEN&aw=KBR01kw1_11624693&gad_source=1&gad_campaignid=790814140&gbraid=0AAAAADMouErkKQrBKlumiMYikU2ZH4u8a5&gclid=CjwKCAiAraXJBhBJEiwAjz7MZdg21sS0m6ltCAu7-vVBVHoAw8kbqaoIVsepsqlA7WQqmKvxbTqJrRoCdVEQAvD_BwE. Acesso em: 28 nov. 2025.

LOCASTRO, João Carlos. JORGE, Gabriel Xavier. GARCIA, Mario Vinicio. Estudo bibliográfico acerca da aplicação da NR 12 para a segurança de trabalhadores em máquinas e equipamentos. **Journal of Exact Sciences – JES**. Vol.41,n.1,pp. 14-21 (Abr – Jun 2024). Disponível em: https://www.mastereditora.com.br/periodico/20240413_205156.pdf. Acesso em: 28 nov. 2025.

STEEL, C. Hazard Rating Number. **Safety and Health Practitioner Magazine**. United Kingdom, p. 20-21, jun. 1990.