

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

THAIS MARI ENDO

**MODELO DE ELABORAÇÃO DE SISTEMA DE SEGURANÇA PARA
ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO MANUAL APLICADO À
AUTOMOBILÍSTICAS BASEADO EM ESTUDOS DE CASO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2018

THAIS MARI ENDO

**MODELO DE ELABORAÇÃO DE SISTEMA DE SEGURANÇA PARA
ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO MANUAL APLICADO À
AUTOMOBILÍSTICAS BASEADO EM ESTUDOS DE CASO**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR.

Orientador: Prof. M. Eng. Roberto Serta

CURITIBA

2018

THAIS MARI ENDO

**MODELO DE ELABORAÇÃO DE SISTEMA DE SEGURANÇA PARA
ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO MANUAL APLICADO À
AUTOMOBILÍSTICAS BASEADO EM ESTUDOS DE CASO**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

Prof. M.Eng. Roberto Serta
Professor do CEEST, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. Dr. Adalberto Matoski
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. M.Eng. Massayuki Mário Hara
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba
2018

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

RESUMO

O atual estudo teve como origem a dificuldade enfrentada pelas indústrias automobilísticas quanto ao desenvolvimento de projeto de sistemas de segurança em estações manuais de carregamento. Uma vez que tem sido crescente a utilização deste tipo de estação como resultado da implantação de células robotizadas em substituição ao operador. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento e fornecimento de um modelo para a elaboração de sistema de segurança para estações de carregamento manual a fim de tornar os postos de trabalho seguros e facilitar a implementação do sistema de segurança. Para a definição do modelo, foram analisados três projetos de segurança aplicados à estações de carregamento e classificadas de acordo com a categoria de segurança estabelecida pela NBR 14153 a fim de identificar as necessidades técnicas de funcionamento da estação. A partir da análise realizou-se um *check-list* com base nos itens de sistemas de segurança da NR-12 que apontou até 9% de itens irregulares nos casos estudados. Com o resultado do *check-list* e análises comparativas dos dispositivos de segurança das estações, foram propostas medidas corretivas e o modelo de composição do sistema de segurança de acordo com a NR-12.

Palavras-chave: Estação de carregamento; NR-12; Célula robotizada; Indústrias automobilísticas.

ABSTRACT

The present study had as origin the difficulty faced by the automotive industries in the development of safety system design for manual loading stations. Since the use of this type of stations has increased as a result of the implantation of robotic cells to replace the operator. The objective of this work was the development and supply of a model for safety system design for manual loading stations in order to make the jobs safe and facilitate the implementation of security system. For the definition of the model, three safety designs applied to the loading stations were analyzed and classified according to the safety category established by NBR 14153 in order to identify the technical requirements of the station. From the analysis, a *check-list* was made based on the safety systems items in NR-12 that pointed out up to 9% of nonconformities items on the cases studied. With the *check-list* result and the comparative analysis of the station security devices, corrective measures and the safety system composition model were proposed according to NR-12.

Key words: Loading station; NR-12; Robotic cell; Automotive industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dispositivo com comando bimanual.....	24
Figura 2 – Proteção fixa metálica.....	25
Figura 3 - Proteção fixa de policarbonato	25
Figura 4 – Portão de acesso à célula robotizada.....	26
Figura 5 - Relé de segurança	27
Figura 6 - CLP – Controlador lógico programável.....	28
Figura 7 - CLP – Chave de segurança eletromecânicas	28
Figura 8 - Sensor indutivo	29
Figura 9 - Cortina de luz de segurança aplicada em estação de carregamento.	30
Figura 10 – Scanner de segurança.....	30
Figura 11 – Botão de emergência.....	32
Figura 12 – Categoria de segurança NBR 14153:2013.	39
Figura 13 – Robô industrial articulado	39
Figura 14 – Ferramenta de operação de retirada e deposição.....	40
Figura 15 – <i>Layout</i> da estação de carregamento A.....	47
Figura 16 – <i>Layout</i> da estação de carregamento B.....	49
Figura 17 – <i>Layout</i> da estação de carregamento C.....	51
Figura 18 - Análise de risco categoria - Adaptado NBR 14153.....	58
Figura 19 – Status de conformidade da estação A de acordo com a NR-12.	59
Figura 20 – Tópicos avaliados na estação A de acordo com a NR-12.....	60
Figura 21 - Posicionamento dos dispositivos de segurança da estação A.....	61
Figura 22 – Status de conformidade da estação B de acordo com a NR-12.....	63
Figura 23 – Tópicos avaliados na estação B de acordo com a NR-12.	63
Figura 24 - Posicionamento dos dispositivos de segurança da estação B.....	65
Figura 25– Status de conformidade da estação C de acordo com a NR-12.....	66
Figura 26 – Tópicos avaliados na estação C de acordo com a NR-12.	67
Figura 27 - Instalação de barreiras em formato “L”	69
Figura 28 - Posicionamento dos dispositivos de segurança da estação C.....	70
Figura 29 - <i>Layout</i> proposto para instalação dos dispositivos de proteção	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de <i>check-list</i> – Tópico proteção da estação	53
Quadro 2 – Exemplo de <i>check-list</i> – Tópico sensores de segurança	54
Quadro 3 – Exemplo de <i>check-list</i> – Categoria de comando.....	55
Quadro 4 – Exemplo de <i>check-list</i> – Sistema pneumático	55
Quadro 5 – Exemplo de <i>check-list</i> – Interface de segurança.....	56
Quadro 6 – Exemplo de <i>check-list</i> – Diagrama de segurança	57
Quadro 7 – Exemplo de <i>check-list</i> – Responsabilidade técnica	57
Quadro 8 – Resumo dos tipos de proteções utilizados nos casos estudados.	71
Quadro 9 – Dispositivos de proteção para composição de uma estação de carregamento segura.....	72
Quadro 10 – Distância adicional C – Estação A	89
Quadro 11 – Distância adicional C – Estação B.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AOPD	Dispositivos de Proteção Ativa Opto-eletrônica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CLP	Controlador Lógico Programável
EN	<i>European Standards</i>
IHM	Interface Homem Máquina
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IRF	Federação Internacional de Robótica (<i>International Federations of Robotics</i>)
LER	Lesão por Esforço Repetitivo
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira de Referência
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
NM	Normalização Mercosul
NR	Normas Regulamentadoras
RIA	<i>Robotic Industries Association</i>
SPDA	Sistemas Contra Descargas Atmosféricas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	20
1.1 OBJETIVOS.....	21
1.1.1 Objetivo Geral.....	21
1.1.2 Objetivos Específicos.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 NR-12 – SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	22
2.1.1 Arranjos Físicos e Instalações.....	22
2.1.1.1 Arranjo físico	22
2.1.1.2 Instalações elétricas	23
2.1.1.2.1 Instalação elétrica da máquina	23
2.1.1.2.2 Quadro de energia	23
2.1.2 Dispositivo de Partida, Acionamento e Parada	24
2.1.2.1 Comando bimanual.....	24
2.1.3 Sistemas de Segurança	24
2.1.3.1 Proteções fixas	25
2.1.3.2 Proteções móveis	26
2.1.3.3 Dispositivos de segurança.....	26
2.1.3.3.1 Relé de segurança	26
2.1.3.3.2 CLP de segurança.....	27
2.1.3.3.3 Chaves de segurança eletromecânicas.....	28
2.1.3.3.4 Sensores indutivos	29
2.1.3.3.5 Cortina de luz de segurança.....	29
2.1.3.3.6 Scanners de segurança.....	30
2.2 NBR 14153 - SEGURANÇA DE MÁQUINAS - PARTES DE SISTEMAS DE COMANDO RELACIONADOS À SEGURANÇA - PRINCÍPIOS GERAIS PARA PROJETO	
31	
2.2.1 Funções de Segurança	31
2.2.1.1 Função de parada	31
2.2.1.2 Função parada de emergência.....	32
2.2.1.3 Rearme manual	32
2.2.1.4 Tempo de resposta	33

2.2.2 Categoria de segurança	33
2.2.2.1 Categoria B	34
2.2.2.2 Categoria 1	34
2.2.2.3 Categoria 2.....	35
2.2.2.4 Categoria 3.....	35
2.2.2.5 Categoria 4.....	36
2.2.2.6 Seleção de categoria.....	37
2.2.2.6.1 Severidade do ferimento.....	37
2.2.2.6.2 Frequência e/ou tempo de exposição ao perigo.....	38
2.2.2.6.3 Possibilidade de evitar o perigo.....	38
2.3 ROBÔ INDUSTRIAL	39
2.3.1 Tipos de ferramenta implementada no robô industrial	40
2.4 REDES INDUSTRIAIS	40
2.4.1 Protocolos de Redes	41
2.4.1.1 Rede Devicenet.....	41
2.4.1.2 Rede Ethernet IP	41
2.4.1.3 Rede Profinet	41
2.5 ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO MANUAL PARA ALIMENTAÇÃO DE CÉLULA ROBOTIZADA	42
2.5.1 Definição e Funcionamento	42
2.5.2 Riscos Inerentes ao Trabalho em Estações de Carregamento Manual.....	43
3 METODOLOGIA	44
4 ESTUDOS DE CASO	45
4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES	45
4.1.1 Estação de Carregamento A	45
4.1.1.1 Procedimento de elaboração do projeto de segurança da estação de carregamento	45
4.1.1.2 Dispositivos de segurança da estação de carregamento.....	46
4.1.1.3 Etapas do processo da estação de carregamento.....	47
4.1.2 Estação de Carregamento B	48
4.1.2.1 Procedimento de elaboração do projeto de segurança da estação de carregamento	48
4.1.2.2 Dispositivos de segurança da estação de carregamento.....	48
4.1.2.3 Etapas do processo da estação de carregamento.....	49
4.1.3 Estação de Carregamento C	50

4.1.3.1 Procedimento de elaboração do projeto de segurança da estação de carregamento	50
4.1.3.2 Dispositivos de segurança da estação de carregamento.....	50
4.1.3.3 Etapas do processo da estação de carregamento.....	51
4.2 <i>CHECK-LIST</i>	52
4.2.1 Tópicos da NR-12	52
4.2.1.1 Proteção da estação.....	52
4.2.1.2 Sensores de segurança	53
4.2.1.3 Categoria de comando	54
4.2.1.4 Sistema pneumático	55
4.2.1.5 Interface de segurança	56
4.2.1.6 Diagrama de Segurança	57
4.2.1.7 Responsabilidade Técnica.....	57
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
5.1 CATEGORIA DE SEGURANÇA	58
5.2 ANÁLISE DA ESTAÇÃO A.....	59
5.2.1 Resultado do <i>Check-list</i>	59
5.2.2 Medidas corretivas	60
5.2.3 Composição do Sistema de Segurança.....	61
5.3 ANÁLISE DA ESTAÇÃO B	62
5.3.1 Resultado do <i>Check-list</i>	62
5.3.2 Medidas Corretivas	64
5.3.3 Composição do Sistema de Segurança.....	64
5.4 ANÁLISE ESTAÇÃO C	66
5.4.1 Resultado do <i>Check-list</i>	66
5.4.2 Medidas Corretivas	67
5.4.3 Composição do Sistema de Segurança.....	69
5.5 COMPARAÇÃO DAS ANÁLISES DO SISTEMA DE SEGURANÇA DAS ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO.....	70
5.6 COMPOSIÇÃO DO MODELO DE SISTEMA DE SEGURANÇA PROPOSTO	72
5.6.1 Proposta de <i>layout</i> para instalação dos dispositivos de proteção.....	73
5.6.2 Etapas do processo da estação de carregamento	74
5.6.3 Soluções complementares	74
5.6.4 Abrangência do modelo sugerido.....	75

6 CONCLUSÃO.....	76
REFERÊNCIAS.....	78
APÊNDICE A – CHECK-LIST	81
APÊNDICE B – CÁLCULO DE DISTÂNCIA MÍNIMA APLICADO À ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO A	89
APÊNDICE C – CÁLCULO DE DISTÂNCIA MÍNIMA APLICADO À ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO B	91
ANEXO I - DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA E REQUISITOS PARA O USO DE DETECTORES DE PRESENÇA OPTOELETRÔNICOS	93

1 INTRODUÇÃO

A aplicação da robotização em processos industriais tem aumentado a sua representatividade em todos os setores de manufatura, em especial na indústria automobilista que se destaca da maioria das indústrias pela quantidade de processos automatizados e robotizados. De acordo com a IFR (2017), em 2017 foram instalados no Brasil 1.500 robôs industriais multipropósito, dos quais 35% encontram-se em montadoras. E até 2020 é esperado um aumento de 33% na instalação de robôs industriais no território brasileiro.

Tendo em vista este cenário, a mão de obra do operador vem sendo substituída pelos processos automatizados e robotizados, trazendo um efeito favorável às indústrias no longo prazo, as quais conseguem produzir o produto demandado pelo mercado em maior quantidade e com melhor qualidade. Acrescido à isso, a indústria da manufatura isenta-se de responsabilidades relacionadas à doenças do trabalho acarretados por Lesão de Esforço Repetitivo (LER), e aos acidentes causados pelo manuseio de materiais cortantes e pesados como os encontrados na indústria automobilística (NIKU, 2012).

A fim de evitar os acidentes decorrentes dos processos industriais de soldagem, dobra e prensa dentro da montadora, tem-se reduzido a quantidade de operadores por linhas de montagens, restringindo-os à estações onde são efetuadas tarefas básicas como a colocação de peça na célula robotizada. Logo, o trabalho em estações onde são inseridas as peças para que seja dado o início do processo automatizado é feito manualmente na maioria das plantas industriais nacionais. Desta maneira, a estação de carregamento torna-se um objeto de estudo relevante tanto no âmbito da segurança do trabalho quanto para o projeto de engenharia que deve levar em conta o *layout*, as atividades a serem realizadas, o dimensionamento dos dispositivos de segurança e os testes para a validação do correto funcionamento do sistema de segurança.

Primando pela segurança do operador frente à esta estação de trabalho, a NR-12 (Norma Regulamentadora nº 12) - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos, estabelecido pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) através da portaria 197 de 17/12/2010, estabelece a instalação de sistemas de segurança capazes de atingir o nível de segurança necessária para que garantir a integridade do trabalhador.

Este trabalho tem por objetivo definir os requisitos mínimos de acordo com as normas vigentes para a operação manual da estação de carregamento de peça que faz interface com o robô que manipula a peça para o interior da célula e inicia o ciclo do processo.

1.1 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Sugerir um modelo para elaboração de projeto de sistemas de segurança de estações de carregamento manual em indústrias automobilísticas baseado na análise de três projetos de segurança de montadoras, conforme os requisitos mínimos estabelecidos da NR-12.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral foi necessário:

- Coletar informações de 3 estudos de caso;
- Criar *check-list*, com base na NR-12, aplicável ao trabalho;
- Medir nível de conformidade com base no *check-list* aplicado;
- Sugerir medidas corretivas;
- Propor modelo de parâmetros para aplicação em estações de carregamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 NR-12 – SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

A NR-12 foi criada em junho de 1978 e tem como objetivo abordar itens de segurança para trabalhos com máquinas e equipamentos (BRASIL, 2016). Em dezembro de 2010 a norma passou por uma reformulação significativa com o objetivo de contribuir para a redução do número de acidentes laborais apresentando os requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização das máquinas incluindo explicações detalhadas sobre 19 tópicos principais (REIMBERG, 2010).

De acordo com Saliba (2015) o número de acidentes do trabalho envolvendo máquinas e equipamentos é elevado e normalmente, de natureza grave. A maioria dos acidentes ocorre pela falta de proteção e falta de informações sobre tipos de proteção, procedimentos e gestão de riscos. O MTE, por meio da NR-12, detalha as normas e procedimentos de segurança a serem adotados em seguimentos industriais (BRASIL, 2016).

2.1.1 Arranjos Físicos e Instalações

A segurança com máquinas e equipamentos começa com o planejamento adequado das instalações, isto é, com arranjo físico adequado. Para tanto, é necessário conhecer o fluxo produtivo, material processado, circulação de veículos e pessoas. Deve-se dimensionar as áreas de circulação e os espaços em torno das máquinas para garantir a segurança do trabalhar e do transporte de material advindo do processo, afirma Saliba (2015).

2.1.1.1 Arranjo físico

A NR-12 apresenta como arranjo físico o espaço destinado à máquina e suas adjacências. São levadas em consideração a área da máquina, a área de trabalho, as áreas ao redor da máquina, a área de armazenamento e as áreas de circulação para dimensionar o arranjo físico da instalação para que não haja conflito com outras linhas de produção, com equipamentos de transporte (BRASIL, 2016).

2.1.1.2 Instalações elétricas

De acordo com o item 12.14 da NR-12, as instalações elétricas das máquinas e equipamentos devem ser projetadas e mantidas de modo a prevenir, os perigos de choque elétrico, incêndio, explosões e outros tipos de acidentes previstos na NR-10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade (BRASIL, 2016).

2.1.1.2.1 Instalação elétrica da máquina

São medidas de proteção para instalação elétrica de máquinas, o aterramento conforme a NBR 5419 utilizando dispositivos de proteção contra surtos de energia, barramento de equipotencialização e SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, além do aterramento da carcaça metálica do equipamento e de seus painéis elétricos, tanto painéis de comando, quanto os painéis de potência. O encaminhamento dos cabos no interior da máquina também deve ser levado em consideração. Além disso, os cabos devem estar protegidos contra esforços mecânicos que levem ao rompimento, contra contatos abrasivos como *splashes* de solda e contra temperaturas acima das especificações do cabo (BRASIL, 2016).

2.1.1.2.2 Quadro de energia

Os quadros de comando e potência devem possuir porta e devem ser mantidas permanentemente fechadas para que não haja contatos acidentais que possam prejudicar o correto funcionamento da máquina ou até mesmo provocar um choque elétrico que atinja o trabalhador conforme apresentado na NR-12 (BRASIL, 2016).

A norma também estabelece que o quadro deve possuir sinalização quanto aos tipos de perigos e nível de tensão em que o equipamento funciona, deve ser sinalizado quanto ao acesso restrito por pessoas não autorizadas e sem capacitação para trabalhar com serviços elétricos. Os quadros elétricos devem atender o grau de proteção adequado em função do ambiente de uso (BRASIL, 2016).

2.1.2 Dispositivo de Partida, Acionamento e Parada

Os dispositivos de partida da máquina são formados por circuitos elétricos que respondem à sinais de comando para que se inicie o ciclo do equipamento, explica Stephan (2013). Esses dispositivos apresentam função primordial na segurança do equipamento ou estação de trabalho pois podem ser projetados para atuar em conjunto com dispositivos de segurança, de maneira que a máquina não partirá enquanto a área de risco esteja sendo ocupada, explica Armando et al. (2012)

2.1.2.1 Comando bimanual

O comando bimanual existe para obrigar o operador a manter suas mãos em local seguro durante o ciclo evitando-se assim possíveis acidentes em manufatura onde não é possível o uso de barreiras de proteção para impedir o acesso do operador às zonas de perigo, para acionamento de máquinas especiais ou para ajuste de ferramental. A caixa usada para abrigar este comando tem como principal função dificultar a manipulação do sistema de acionamento. O comando bimanual tem seu acionamento através de seus dois botões, ocorrendo apenas quando houver a atuação síncrona, definida pela NBR 14152:1998 como a diferença de tempo entre o início de um sinal de entrada e o início do outro deve ser menor ou igual a 0,5. Para garantir esta sincronia, é utilizado um circuito eletrônico de segurança com duplo canal (ABNT NBR 14152, 2013).



Figura 1 – Dispositivo com comando bimanual
Fonte: Schmersal (2017)

2.1.3 Sistemas de Segurança

A NR-12 apresenta os sistemas de segurança como conjunto de proteções, podendo elas serem fixas móveis e dispositivos de segurança integrado, que garantam proteção à segurança ao trabalhador. (BRASIL, 2016).

2.1.3.1 Proteções fixas

Conforme esclarecido na NR-12 é considerada proteção fixa a proteção que é mantida em sua posição de maneira permanente ou por elementos de fixação que só permitam sua remoção ou abertura com o uso de ferramentas. Em células robotizadas são utilizadas com o objetivo de delimitar a área de perigo e criar uma barreira física, podendo ser ela em canaleta de alumínio e policarbonato de acordo com a figura 3 ou em grade metálica, conforme apresentado na figura 2. (BRASIL, 2016).



Figura 2 – Proteção fixa metálica
Fonte: Unisafety (2018)



Figura 3 - Proteção fixa de policarbonato
Fonte: Fix automação (2018)

2.1.3.2 Proteções móveis

As proteções móveis podem ser abertas sem o uso de ferramenta, geralmente ligadas por elementos mecânicos à estrutura da máquina ou a um elemento fixo próximo, e deve se associar a um dispositivo de intertravamento (BRASIL, 2016).

A NR-12 considera que em ambientes industriais, as proteções móveis podem ser encontradas em portões de acesso, tampas ou janelas de segurança, as mesmas são interligadas à uma controladora que, no momento da abertura da proteção móvel, desativa a área à ser acessada. No entanto, o processo da célula não poderá ser imediatamente restaurado com o fechamento da proteção móvel, o funcionamento apenas será reestabelecido quando o operador apertar o botão de validação que encontra-se fora da área de risco, garantindo desta forma, que o trabalhador não seja atingido por componentes do equipamento ou pelo robô durante o processo. (EUCHNER, 2013)

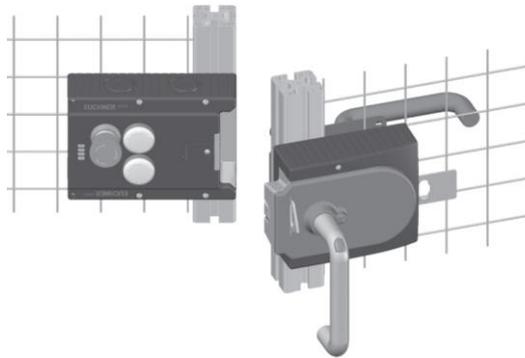


Figura 4 – Portão de acesso à célula robotizada.
Fonte: Euchner (2015)

2.1.3.3 Dispositivos de segurança

São componentes que, por si só ou interligados ou associados a proteções. Reduzem os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde.

2.1.3.3.1 Relé de segurança

De acordo com a NR-12 são comandos elétricos ou interfaces de segurança os dispositivos responsáveis por realizar o monitoramento, que verificam a interligação, posição e funcionamento de outros dispositivos do sistema e impedem a ocorrência de falha que provoque

a perda da função de segurança, como relés de segurança, controladores configuráveis de segurança e controlador lógico programável - CLP de segurança. (BRASIL, 2016).



Figura 5 - Relé de segurança
Fonte: Schneider (2018)

2.1.3.3.2 CLP de segurança

O Controlador Lógico Programável (CLP), é um dispositivo responsável por comandar e supervisionar máquinas ou processos industriais, ele utiliza um processador com código de programas desenvolvidos pelo usuário para operar com diversos níveis de complexidade, desde uma máquina isolada até células robotizadas. O *software* que opera no CLP possui uma interface que controla subsistemas, tais como estações automáticas, ferramentas, transportadores e robôs industriais (SENAI, 2006). Segundo a NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) (1978) o CLP é considerado um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.

Os CLPs podem ser dimensionados pela capacidade de processamento pelo número de pontos de Entradas e/ou Saídas (E/S) e configurados para diversos tipos de estruturas, como redes radiais, em anel, que tornam o sistema mais confiável por criar redundâncias de maneira que caso um enlace da rede esteja danificada, a informação ainda chegará através do outro lado da rede. As arquiteturas de rede em CLPs são frequentemente atualizadas, com o objetivo de deixá-la mais flexível e expansíveis para os mais variados seguimentos industriais. (SIEMENS, 2017).

Segundo Petruzella (2013), o CLP de segurança, diferentemente do CLP convencional, são equipamentos em que é possível fazer a ligação de dispositivos utilizados para a segurança,

como chaves de segurança, sensores de segurança, botões de emergência, entre outros. Para esses dispositivos de segurança, é necessário que controlador esteja apto para operar com as entradas e saídas com redundância, ou seja, com duplo canal.



Figura 6 - CLP – Controlador lógico programável
Fonte: Siemens (2018)

2.1.3.3.3 Chaves de segurança eletromecânicas

De acordo com o Sick (2017), as chaves de segurança eletromecânicas monitoram barreiras de proteção física móveis de forma econômica e confiável. Este tipo de dispositivo de segurança responde a atuações mecânicas envolvidas no processo. São utilizadas em larga escala em indústrias automobilísticas pela facilidade de instalação e aplicação no processo e na segurança do trabalhador. Na figura 7 são apresentados exemplos de chaves eletromecânicas utilizadas em processos automatizados.



Figura 7 - CLP – Chave de segurança eletromecânicas
Fonte: Sick (2017)

2.1.3.3.4 Sensores indutivos

São sensores são utilizados em processo de automação e que executam uma comutação eletrônica quando um objeto ferromagnético invade seu campo eletromagnético exemplificados pela figura 8, causando a mudança de seu estado lógico, tornando o objeto detectável, explica Pepperl-Fuchs (2017).



Figura 8 - Sensor indutivo
Fonte: Pepperl-Fuchs (2017)

2.1.3.3.5 Cortina de luz de segurança

As cortinas de luz de proteção, conforme ilustrada pela figura 9, são dispositivos opto-eletrônicos de segurança e detectores de presença, que identificam um objeto no campo de detecção da cortina de luz. Costumam ser usados em aplicações de proteção de máquinas para detectar a presença do dedo, mão, membro ou corpo de uma pessoa. Também chamadas de AOPDs (Dispositivos de proteção ativa opto-eletrônica), as cortinas de luz oferecem segurança em áreas de acesso ou transporte de peças e são dispositivos de segurança que atinge a categoria de segurança de nível 4 conforme ABNT NBR 12100 (2013).



Figura 9 - Cortina de luz de segurança aplicada em estação de carregamento.
Fonte: Montadora C (2017)

2.1.3.3.6 Scanners de segurança

Scanners a laser de segurança são dispositivos compactos com conjuntos de campos configuráveis através de software fornecido pelo fabricante, podendo proteger até 4 zonas simultaneamente em uma margem de até 7 m de varredura, conforme indicado pelo fabricante Sick (2017). Este dispositivo é utilizado em projetos de segurança para detectar a presença de pessoas em áreas de risco.



Figura 10 – Scanner de segurança.
Fonte: Sick (2017)

2.2 NBR 14153 - SEGURANÇA DE MÁQUINAS - PARTES DE SISTEMAS DE COMANDO RELACIONADOS À SEGURANÇA - PRINCÍPIOS GERAIS PARA PROJETO

A NBR 14153 tem como objetivo a especificação os requisitos de segurança e estabelecimento de princípios para o projeto de partes de sistemas de comando relacionadas à segurança pois partes do sistema de comando tem como função a gestão de sinais relacionados à segurança do sistema. Para essas partes, especifica-se categorias e descreve-se características de funções de segurança. Podendo ser aplicado a sistemas de programação para máquinas e dispositivos de proteção relacionados. (ABNT NBR 14153, 2013)

2.2.1 Funções de Segurança

As funções que garantem a segurança do operador são chamadas funções de segurança e se referem à artifícios de comando eletrônico ou elétrico que possibilitam a remedição ou redução do dano, são elas:

2.2.1.1 Função de parada

Uma solicitação de parada dentro de um processo pode ser classificada em, no mínimo, duas categorias: parada de processo e parada de segurança, iniciada por um dispositivo de proteção. Após a definição dos tipos de parada, deve ser definido o que cada parada deve desativar (ABNT NBR 14153, 2013).

Em ilhas robotizadas, estas definições são chamadas de níveis de segurança, onde cada falha ou parada desativa ou desarma um conjunto de elementos dentro de uma zona da célula robotizada. Os níveis de segurança são definidos de acordo com as normativas internas de cada montadora, sendo normalmente dividida em 4 níveis, desligamento de equipamentos de potência – 440V/380V, desligamento da central de ar dos dispositivos, desligamento de comando - 24V e o desligamento de segurança, que trata-se de uma parada prioritária, onde o CLP recebe a informação de que algum dos dispositivos de segurança foi interrompido, sinalizando uma invasão da área segura, fazendo com o que todos os níveis de segurança citados anteriormente sejam desarmados e a célula parada. (ABNT NBR 14153, 2013)

Conforme explica a ABNT NBR 14153 (2013), a velocidade do desligamento de segurança após a sua atuação deve ser tão rápida quanto necessário, colocando a máquina em condição segura.

2.2.1.2 Função parada de emergência

A função de parada de emergência encontra-se no nível de segurança onde são desligados os dispositivos de segurança, no entanto, esta função possui alguns diferenciais em relação à outros elementos de proteção da célula, pois enquanto os dispositivos de proteção de célula como *laser scanner* ou cortina de luz servem para sinalizar uma invasão, o botão de emergência é responsável por impedir uma possível colisão ou parar imediatamente uma atividade que coloque em risco o trabalhador conforme determina a ABNT NBR 14153 (2013).

O botão de emergência exemplificado na figura 11, deve possuir, além das atribuições dos dispositivos de segurança, como velocidade de atuação aumentada e duplo canal de segurança, também devem ser capazes de desarmar as células de interface de acordo com a NR-12 (2016).



Figura 11 – Botão de emergência
Fonte: Schneider (2018)

2.2.1.3 Rearme manual

Conforme apresentado pela NR-12 e complementado pela ABNT NBR 14153 (2013), o rearme manual é uma função de segurança que é implementada para evitar que a linha de montagem reinicie logo após o sinal do dispositivo de segurança seja reestabelecido. Quando utilizado o rearme manual a célula deve ser mantida em estado seguro até que a falha tenha sido

avaliada e sanada e posteriormente seja rearmada para voltar ao processo de produção. Após o restabelecimento da função segura pelo rearme do dispositivo de proteção, deve-se cancelar o comando de parada.

O rearme manual deve ser atuado através de um dispositivo separado, manualmente operado, em conjunto com as partes do sistema de comando relacionadas à segurança e deve somente ser efetivado se todas as funções de segurança e dispositivos de proteção estiverem operando. Se isso não for possível, o rearme não pode estar disponível (BRASIL, 2013).

O atuador para rearme deve estar situado fora da área de perigo e em posição segura, de onde se tenha boa visibilidade para a verificação da inexistência de pessoas na zona de perigo conforme estabelecido pela NR-12 (BRASIL, 2013).

2.2.1.4 Tempo de resposta

A ABNT NBR14153 (2013) estabelece como tempo de resposta é parte do tempo total de resposta da máquina. O tempo de resposta dos elementos que compõe o sistema de segurança da célula automática influencia no tempo de resposta total. O valor do tempo interfere no projeto de segurança da estação, podendo alterar valores de distâncias mínimas ou apresentar a necessidade da implementação de um sistema de freios.

2.2.2 Categoria de segurança

As categorias determinam os parâmetros de segurança requeridos, em termos de comportamento, sistemas de automação, com relação à resistência à falhas com base na produção de sinais de saída que atinjam os objetivos de redução de riscos da ABNT NBR 14009 e não objetivam sua aplicação em uma sequência ou hierarquia definidas, com relação aos requisitos de segurança (ABNT NBR 14153, 2013).

As categorias de segurança são subdivididas em 5 categorias. A categoria básica ou categoria B em que a ocorrência de um defeito pode levar à perda da função de segurança. A categoria 1, uma maior resistência a defeitos é alcançada predominantemente pela seleção e aplicação de componentes. As categorias 2, 3 e 4, apresentam um desempenho melhorado, com relação à função de segurança especificada. A melhoria se dá predominantemente pela otimização da estrutura de rede da parte relacionada à segurança do sistema de comando. Na

categoria 2 isso será conseguido pela checagem periódica de que a função de segurança especificada está sendo cumprida (ABNT NBR 14153, 2013).

Nas categorias 3 e 4 isso é conseguido pela garantia de que um defeito isolado não leva à perda da função de segurança. Na categoria 4 e, sempre que razoavelmente praticável na categoria 3, tais defeitos serão detectados. Na categoria 4 a resistência ao acúmulo de defeitos será especificada.

De acordo com a ABNT NBR 14153 (2013), as categorias mais altas apenas podem ser interpretadas como proporcionando uma maior resistência a defeitos em circunstâncias comparáveis.

2.2.2.1 Categoria B

Nesta categoria partes de sistemas de comando, relacionadas à segurança e/ou equipamentos de proteção, bem como seus componentes, devem ser projetados, construído, selecionado, montado e combinado de acordo com as normas relevantes, de tal forma que resistam às influências esperadas como a fadiga operacional, ações do ambiente onde se encontra, vibrações e distúrbios ou interrupção do fornecimento de energia.

A categoria B tolera que a ocorrência de um defeito possa levar à perda da função de segurança. (ABNT NBR 14153, 2013).

2.2.2.2 Categoria 1

A categoria 1 leva em consideração os requisitos aplicados à categoria B e adiciona-se a necessidade da utilização de componentes bem ensaiados e com princípios de segurança comprovados. São considerados componentes bem ensaiados, aqueles que foram largamente empregados no passado, com resultados satisfatórios em aplicações similares, ou construído e verificado utilizando-se princípios que demonstrem sua adequação e confiabilidade para aplicações relacionadas à segurança. A decisão de se aceitar um componente particular como bem ensaiado pode depender de sua aplicação. (ABNT NBR 14153, 2013).

A probabilidade de uma falha na categoria 1 é menor que na categoria B. Consequentemente, a perda da função de segurança é menos provável.

Quando um defeito ocorre, ele pode levar à perda da função de segurança. Para atender aos requisitos da ABNT NBR 12100 (2013), que tem por objetivo apresentar metodologia para redução de riscos, podem ser necessárias medidas adicionais que não sejam proporcionadas pelas partes relacionadas à segurança de sistemas de comando (ABNT NBR 14153, 2013).

2.2.2.3 Categoria 2

A ABNT NBR 14153 (2013) considera a categoria 2 como sendo a união dos requisitos abordados pela categoria B e pela categoria 1 e incluindo a verificação automática ou manual periódica dos sistemas de comando do equipamento no momento da partida da máquina e antes de qualquer situação que apresente perigo para o trabalhador. A verificação também deve ser feita, caso apresentado na avaliação de risco, durante a operação, tendo como função a detecção da perda de segurança durante o processo.

As verificações realizadas por equipamentos integrados ou externos ao equipamento, devem permitir a operação se nenhum defeito for constatado, ou em caso de ser constatado um defeito deve ser gerado um sinal de saída, que inicia uma ação apropriada do comando e mantém a célula em estado seguro até que o defeito tenha sido sanado.

Sempre que possível, esse sinal deve comandar um estado seguro e quando não for possível comandar um estado seguro, a saída deve gerar um aviso do perigo e observa-se que a verificação por si só não pode levar a uma situação de perigo (ABNT NBR 14153, 2013).

2.2.2.4 Categoria 3

Além de serem aplicados à categoria 3 todos os requisitos das categorias anteriores, adiciona-se como parte do projeto de segurança a necessidade contabilizar probabilisticamente os defeitos para avaliar quanto a significância de tal modo que um defeito isolado não leve a perda das funções de segurança (ABNT NBR 14153, 2013).

O requisito de detecção do defeito isolado não significa que todos os defeitos serão detectados, pois a implementação da detecção de defeitos depende da tecnologia aplicada. Conseqüentemente, o acúmulo de defeitos não detectados pode levar a um sinal de saída indesejado e a uma situação de perigo na máquina.

O comportamento de sistema de categoria 3 permite que: quando o defeito isolado ocorre, a função de segurança sempre seja cumprida, também permite que alguns, mas não

todos os defeitos sejam detectados e que o acúmulo de defeitos não detectados leve à perda da função de segurança. (ABNT NBR 14153, 2013)

2.2.2.5 Categoria 4

Além de serem aplicados à categoria 3 todos os requisitos das categorias anteriores, adiciona-se como parte do projeto de segurança a função que permite uma falha isolada em qualquer dessas partes relacionadas à segurança não leve à perda das funções de segurança, e que uma falha isolada seja detectada antes ou durante a próxima atuação sobre a função de segurança, como, por exemplo, imediatamente, ao ligar o comando, ao final do ciclo de operação da máquina. Se essa detecção não for possível, o acúmulo de defeitos não pode levar à perda das funções de segurança (ABNT NBR 14153, 2013).

Em caso da impossibilidade da detecção de certos defeitos durante a verificação seguinte à ocorrência do defeito, por razões de tecnologia ou engenharia de circuitos, a ocorrência de defeitos posteriores deve ser admitida de maneira que nessa situação, o acúmulo de defeitos não poderá levar à perda das funções de segurança (ABNT NBR 14153, 2013).

A revisão de defeitos pode ser suspensa quando a probabilidade de ocorrência de defeitos posteriores for considerada suficientemente baixa. Nesse caso, o número de defeitos, em combinação, que precisam ser levados em consideração dependerá da tecnologia, estrutura e aplicação, mas deve ser suficiente para atingir o critério de detecção.

A revisão de defeitos pode ser limitada a dois defeitos em combinação, quando a taxa de defeitos de componentes for baixa, e os defeitos em combinação são bastante independentes uns dos outros, e ainda a interrupção da função de segurança ocorre somente quando os defeitos aparecem em uma certa ordem (ABNT NBR 14153, 2013).

Se defeitos posteriores ocorrerem como resultado do primeiro defeito isolado, o primeiro e todos os defeitos consequentes devem ser considerados defeitos isolados. Defeitos de modo comum devem ser levados em consideração, por exemplo, utilizando diversidade e procedimentos especiais para identificar tais defeitos.

Em células robotizadas, a revisão de defeitos é geralmente executada em nível estrutural, com base em grupos de montagem e estações de operação.

O comportamento de sistema de categoria 4 permite que a função de segurança seja sempre processada quando da ocorrência de defeitos e que os defeitos sejam detectados a tempo de impedir a perda da função de segurança conforme ABNT NBR14153 (2013),

2.2.2.6 Seleção de categoria

A seleção da categoria de segurança é relacionada à quantificação do risco e normalmente apresenta uma série de dificuldades na sua seleção. O método utilizado para a seleção e consequente redução dos riscos é apresentado na ABNT NBR 14153 e na norma ISO EN 13849 (2015) que fornece especificações para dimensionamento e integração dos dispositivos de segurança do sistema, incluindo parâmetros de programação e leva em consideração 3 parâmetros: a severidade do ferimento, o tempo de exposição e a possibilidade de evitar o perigo (ABNT NBR 14153, 2013).

A seleção de uma categoria para uma parte específica relacionada à segurança do sistema de comando depende principalmente de:

- redução de risco a ser atingida pela função de segurança, para a qual a parte contribui;
- probabilidade de ocorrência de defeito nessa parte;
- aumento de risco, no caso de defeito nessa parte;
- possibilidades de evitar defeito nessa parte;
- tecnologia aplicada.

2.2.2.6.1 Severidade do ferimento

De acordo com a ABNT NBR 14153 (2013), para a estimativa do risco proveniente de um defeito na parte relacionada à segurança de um sistema de comando, apenas ferimentos leves (S1) e ferimento sérios (S2) são considerados. Podem ser classificados como ferimentos leves, os acidentes que resultem em ferimentos reversíveis e como ferimentos sérios, os que incluem ferimentos irreversíveis, incluindo a morte.

Para tomar uma decisão, as consequências usuais de acidentes e processos normais de cura devem ser levadas em consideração na determinação de S1 e S2. São consideradas como

S1, ferimentos como contusões e/ou lacerações sem complicações. Já para ser considerada S2, os acidentes devem resultar em uma amputação ou morte (ABNT NBR 14153, 2013).

2.2.2.6.2 Frequência e/ou tempo de exposição ao perigo

Junior (2015) esclarece que para classificar de tempo de exposição de acordo com o método utilizado, considera-se F1 o trabalho em que o tempo de exposição do operador ao perigo encontra-se entre um intervalo de raro a relativamente frequente e/ou baixo tempo de exposição e considera-se F2 o trabalho em que o tempo de exposição encontra-se entre um intervalo de período de frequente a contínuo e/ou tempo de exposição longo.

O período de exposição ao perigo deve ser avaliado com base no valor médio observado, com relação ao período total de utilização do equipamento. Caso o operador trabalhe durante um período médio da sua jornada em uma estação exposta ao perigo, deve ser classificada como F2, já em casos em que o operador atende à estação exposta ao perigo apenas para manutenção ou eventos ocasionais, pode-se classificar como F1, conforme apresentado pela ABNT NBR14153 (2013),

2.2.2.6.3 Possibilidade de evitar o perigo

É comum em áreas robotizadas, existir o perigo em diversas partes do processo, quando isso acontece, é importante saber se ele pode ser reconhecido e quando pode ser evitado, antes de levar a um acidente apresenta Junior (2015). Deve-se levar em consideração os meios pelo qual é possível identificar o perigo, pode ser identificado através de características físicas ou por meios técnicos, por exemplo, indicadores. Outro aspecto importante que influencia a seleção é quanto à existência de sistemas supervisórios no processo, quanto à qualificação do operador que executa a atividade, a velocidade com que o perigo aparece, podendo ser lenta ou rapidamente, quanto a possibilidade de evitar o perigo por meio de fuga ou intervenção de terceiros e quanto a experiência prática de segurança relativa ao processo.

De acordo com a ABNT NBR 14153 (2013), classifica-se como P1 as situações em que o perigo ocorre, e existe chance real de se evitar um acidente ou reduzir significativamente o seu efeito. Como P2, classifica-se quando o perigo ocorre e praticamente não há chance de evitar o acidente.

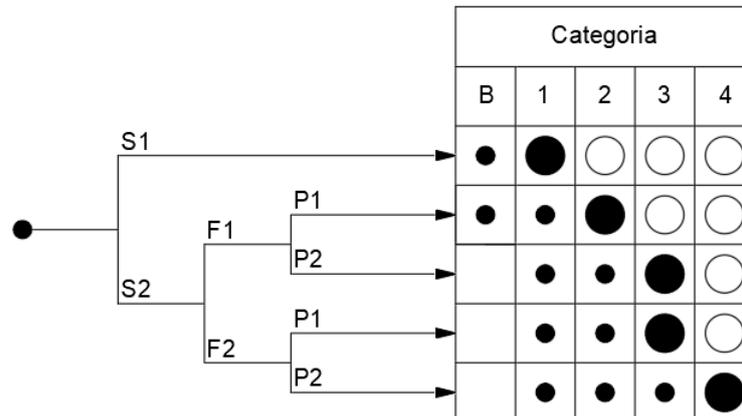


Figura 12 – Categoria de segurança NBR 14153:2013.
Fonte: ABNT (2013)

2.3 ROBÔ INDUSTRIAL

Segundo o *Robotic Industries Association* (RIA), o robô industrial é definido como um manipulador multifuncional reprogramável que foi desenvolvido para movimentar materiais ou ferramentas através de programação de trajetória (RIVIN, 1988). O robô pode manipular materiais com vários graus de liberdade conforme explica a ISO 10218, norma que define os parâmetros para o projeto da segurança inerente a utilização de robôs industriais.

Niku (2013) o robô é projetado para executar tarefas simultâneas com base no programa em execução, tornando assim, possível alterar a trajetória do robô apenas alterando o programa.



Figura 13 – Robô industrial articulado
Fonte: ABB (2017)

2.3.1 Tipos de ferramenta implementada no robô industrial

Conforme Niku (2013), o robô industrial pode realizar diversas tarefas dependendo da ferramenta conectada no último elo do robô. As aplicações mais comuns dentro da indústria automobilista são carregamento de máquinas, operações de retirada e deposição e soldagem. O caso aplicado em estações de carregamento é o robô com ferramenta para realização de operação de retirada e deposição, em que o robô pega as peças e coloca em outro lugar. Nos casos abordados no trabalho, o robô pega a peça da estação de carregamento manual e deposita em outra mesa de dispositivos dentro da célula robotizada para que os robôs subsequentes executem a função de soldagem.

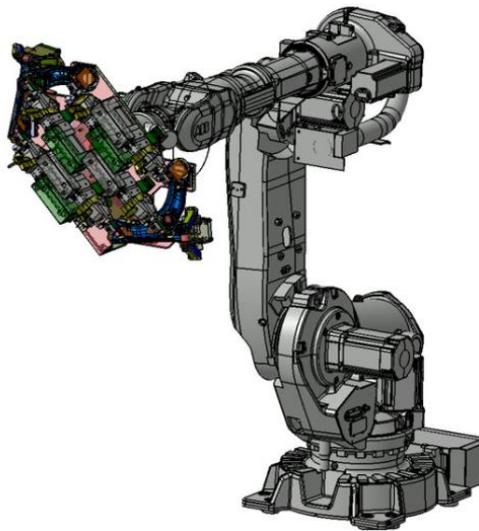


Figura 14 – Ferramenta de operação de retirada e deposição.
Fonte: MDA Projetos (2018)

2.4 REDES INDUSTRIAIS

Redes industriais são essencialmente sistemas de comunicação distribuídos, que comportam diversos elementos trabalhando de forma simultânea a fim de supervisionar e controlar um determinado processo. Os elementos podem ser sensores, chaves fim de curso, válvulas, motores ou variáveis analógicas. Eles necessitam estar interligados e trocando informações de forma rápida e precisa (LUIGLI, 2010).

Com a implementação das redes industriais é possível comunicar informação entre diversos dispositivos. A quantidade de dispositivos a serem comunicados e as definições de

segurança é definida pelo tipo de protocolo utilizado, sendo os mais conhecidos no mercado automotivo o Profibus/Profinet, DeviceNet e Ethernet IP (LUIGLI, 2010).

2.4.1 Protocolos de Redes

2.4.1.1 Rede Devicenet

De acordo com Luigli (2010), o protocolo de rede industrial criado em 1995 pela organização que promove a DeviceNet é a Open Device Vendor Association (ODVA), que oferece manipulação de dados através de sistema de tronco e nós, utilizando cabeamento em par trançado. Apesar de ser um sistema robusto, possui uma limitação de dispositivos a serem conectados e distancias de cabo que dificultam a aplicação em sistemas com mais de 64 dispositivos por tronco. Além disso o protocolo não comporta o sistema de segurança integrado à rede, o que resulta na necessidade de implementação de módulos e relés de segurança adicionais, o que possibilita falhas na instalação e o aumento a taxa de transmissão, tornando a velocidade de resposta do sistema inferior às outras redes existentes no mercado.

2.4.1.2 Rede Ethernet IP

A rede Ethernet IP é uma evolução da rede DeviceNet que utiliza como meio físico o padrão Ethernet e está classificada como uma rede a nível de dispositivo. Esta rede permite que os equipamentos sejam configurados através de um *browser* de internet sem a necessidade de programas específicos. Também possuem as funções de segurança implementadas de forma transparente através de um roteador.

Lopez (2010) explica que o cabo utilizado é o de par trançado e a taxa de transmissão pode chegar a altos valores de até 100 Mbps. A topologia utilizada nesta rede é a de barramento e estrela, suporta até 1024 dispositivos e a distância máxima é de 400m.

2.4.1.3 Rede Profinet

A Organização PROFIBUS criou em 2000 a tecnologia Profinet, tornando a rede uma solução simples para uso em grandes plantas e diferentes aplicações. Rede Profinet e pode utilizar o cabeamento por par trançado ou fibra óptica além de prover um protocolo de segurança

denominado PROFIsafe torna a comunicação de segurança do sistema intrínseca à rede industrial, tornando desnecessária a implementação separadamente de módulos e relés de segurança, o que impossibilita falhas na instalação e diminui a taxa de transmissão, tornando a velocidade de resposta do sistema superior às outras redes. A rede pode ser utilizada em sistemas de segurança de automação até a categoria de segurança 4 afirma Lopez (2000).

2.5 ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO MANUAL PARA ALIMENTAÇÃO DE CÉLULA ROBOTIZADA

2.5.1 Definição e Funcionamento

A substituição dos operadores por células robotizadas em tarefas que possuem risco elevado como a soldagem de estruturas metálicas faz com que os meios de produção aumentem a capacidade de fabricação, padronize a qualidade do produto final e reduza os acidentes do trabalho, sejam por riscos químicos, mecânicos e ergonômicos que antes estavam presentes nas estações de operação de solda ponto com eletrodo revestido manual NERIS (2012). No entanto, o operador é indispensável em diversas estações de carregamento manual que são o ponto de partida para as linhas de produção robotizadas.

As estações de carregamento são fundamentalmente mesas ou dispositivos compostos por grampos e posicionadores pneumáticos onde o operador fica encarregado de depositar as peças que serão inseridas através de um robô de manipulação para o interior da célula robotizada onde passarão por processos de solda, geometria, cola ou prensa (NIKU, 2013).

O funcionamento de uma estação de carregamento manual começa quando o sistema de controle solicita a inserção de peça na célula através de um *display* ou sinal específico. Ao observar o sinal de solicitação de peça, o operador se desloca até o depósito de peças que normalmente é posicionado a uma distância de até 5 metros da estação de carregamento. Após buscar a peça, o operador carrega o dispositivo e pressiona a botoeira de validação para que os cilindros pneumáticos sejam ativados e o robô de manipulação adentre a estação para a retirada da peça do dispositivo e encaminha-la para dentro da célula (SMC, 2017).

2.5.2 Riscos Inerentes ao Trabalho em Estações de Carregamento Manual

Uma estação de carregamento manual contém perigos e riscos conforme apresentado por Bianchi (2014) que podem ser relacionados às atividades executadas como:

Atividade 1: Manipulação de peça do depósito de peças até o dispositivo de carregamento.

Perigo: Transporte de peça metálica cortantes;

Riscos: Cortes, queda do operador, desvio de postura incorreta e contusão.

Atividade 2: Depósito da peça no dispositivo e validação.

Perigo: Dispositivos pneumáticos e peças cortantes;

Riscos: Prensagem, esmagamento e cortes.

Atividade 3: Entrada do robô na estação de carregamento.

Perigo: Robô;

Riscos: Prensagem, esmagamento, cortes e perfurações.

Atividade 4: Fatores externos à estação de carregamento.

Perigo: Ruído da pinça de solda, projeção de resíduos de solda durante o processo de solda e ruído de fundo da produção;

Riscos: Perda da acuidade auditiva, queimaduras leves e perda parcial da visão.

Os riscos devem ser controlados através de instalação de equipamentos de proteção, utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), implementação medidas operacionais e organizacionais e atendimento a NR-12. (CAMPOS, 2012)

3 METODOLOGIA

Para elaboração do modelo de sistema de segurança aplicada à uma estação de carregamento manual em um processo robotizado, primeiramente, foram escolhidos três projetos de sistemas de segurança onde é executado o abastecimento manual da célula robotizada em três montadoras diferentes estabelecidas no território nacional. As estações estudadas encontram-se em efetivo funcionamento na área das montadora destinada à fabricação da estrutura metálica do veículo e possuem sistemas de segurança conforme apresentado no trabalho.

A partir da definição das estações, foram realizadas análises nos processos de funcionamento e *layouts* das instalações. Após as análises, foi realizada a definição da categoria de segurança de comando conforme norma ABNT NBR 14153. Com base nas informações levantadas na análise da documentação e categorização dos sistemas de segurança, foi elaborado um *check-list* para cada estação contendo informações do status de conformidades e medidas corretivas, quando necessário, no que diz respeito à implementação de dispositivos de segurança segundo a NR-12.

Finalmente, em função no *check-list*, foi elaborado um quadro comparativo dos casos estudados que será tomado como base para a elaboração do modelo de projeto de sistema de segurança conforme os requisitos mínimos estabelecidos na NR-12.

4 ESTUDOS DE CASO

4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES

Serão apresentadas a seguir as características das estações estudadas, englobando localização, procedimento de elaboração do projeto de segurança, os dispositivos de segurança das estações e as etapas do processo de carregamento para as estações de carregamento manual A, B e C.

4.1.1 Estação de Carregamento A

A Estação de carregamento manual do caso A está localizada na montadora A e integra o processo de fabricação da estruturação e soldagem do piso traseiro do automóvel para que este receba o formato de acordo com o modelo a ser confeccionado.

4.1.1.1 Procedimento de elaboração do projeto de segurança da estação de carregamento

O processo de elaboração do projeto de segurança da célula robotizada inicia-se juntamente com o a elaboração dos projetos complementares como: projeto elétrico, mecânico, *software* e de manutenção, e tem peso de importância maior do que as outras disciplinas. Tendo em vista que as normativas internas para elaboração dos projetos complementares estão bem definidas, o ponto crítico que merece análise diferenciada recai nas estações de carregamento manual da célula robotizada.

Dentro da análise da estação A foi observado que não há registros de ou indicações de normativas internas que leve em consideração as estações de carregamento semelhantes à estação analisada. Sem procedimentos padrões para a elaboração do projeto de segurança, o mesmo é elaborado pelo mesmo corpo responsável pelo projeto de implantação da ilha robotizada que por sua vez não possui habilitação para a elaboração do projeto de segurança conforme NR-12. A variação de procedimentos na instalação de estações de carregamento manual espalhadas pela fábrica torna o sistema vulnerável à arquiteturas de segurança falhas e ineficientes.

Após o projeto de segurança ser implantado, é realizado um laudo baseado nos itens da NR-12 para atestar a segurança da instalação, no entanto não foram encontrados registros de ART do projeto ou laudo.

4.1.1.2 Dispositivos de segurança da estação de carregamento

A estação de carregamento do caso A é composta por uma mesa de carregamento formada por grampos e pilotos pneumáticos que tem os sinais lógicos interligados à um concentrador de sinais seguros com redundância em canais separados e este se comunica com o CLP que por sua vez faz o processamento dos dados e supervisiona as falhas à nível de estação e da célula como um todo também. Conforme indicado na figura 15, os dispositivos de segurança utilizados nesta arquitetura são um botão de emergência vermelho tipo soco devidamente sinalizado com inscrição “Parada de Emergência”, um botão de validação que quando pressionada pelo operador libera a área de carregamento para a entrada do robô de manipulação, um conjunto de *laser scanners* que protege a área contra invasão de inadvertida do operador ou pedestres e cercas metálicas devidamente aterradas que circundam a estação de carregamento e a célula robotizada delimitando a área de trabalho do operador, dos robôs e vias de circulação. Também é evidenciado na figura 15 um portão com trava de segurança, no entanto, este dispositivo não foi avaliado na análise deste trabalho por se tratar de um elemento de segurança da célula robotizada, não interferindo no processo ou segurança da estação de carregamento.

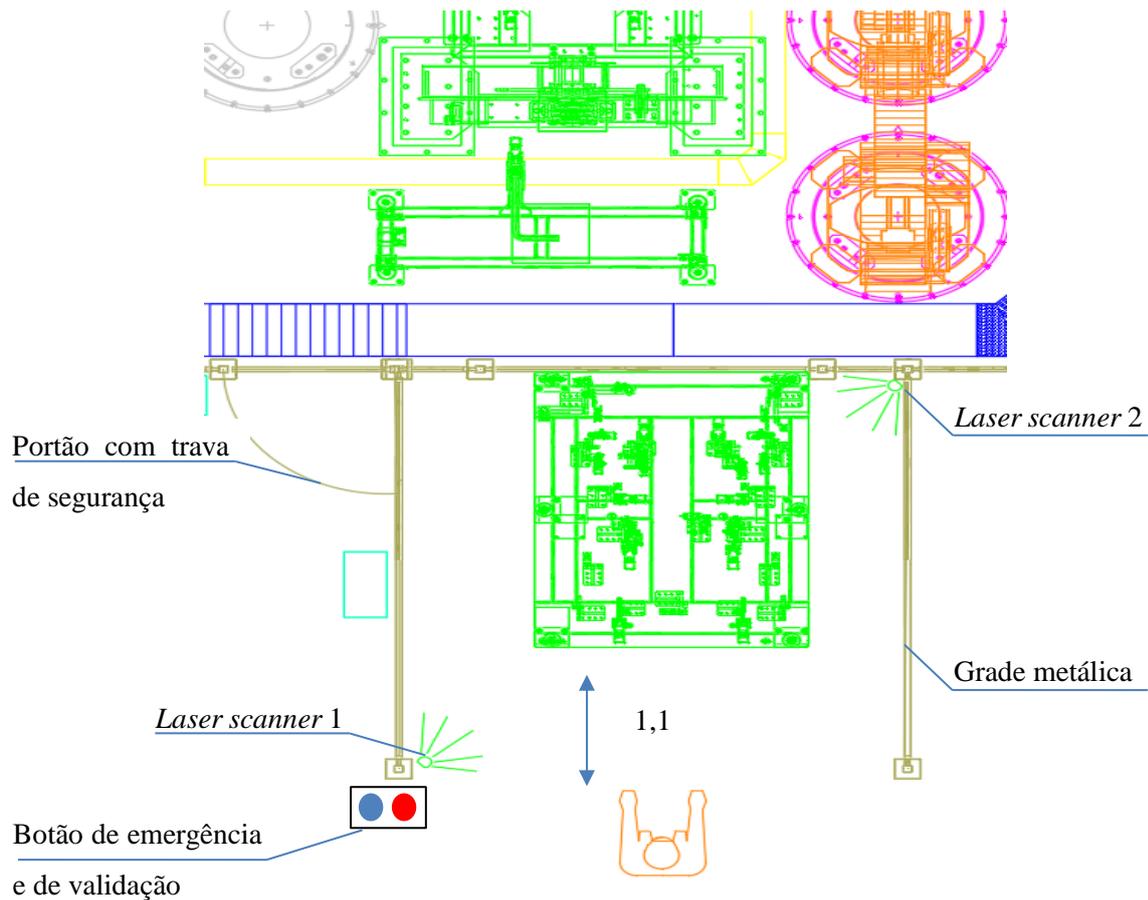


Figura 15 – *Layout* da estação de carregamento A.

Fonte: Montadora A

4.1.1.3 Etapas do processo da estação de carregamento

As etapas do processo são:

- Passo 1: Operador invade área do *laser scanner 1* e desarma a segurança da célula;
- Passo 2: Operador carrega peças, invadindo a área do *laser scanner 2*;
- Passo 3: Operador fecha grampos manuais;
- Passo 4: Operador valida área através da botoeira de validação;
- Passo 5: Pressurizam grampos manuais;
- Passo 6: Fecham grampos;
- Passo 7: Robô entra na estação e segura peça;
- Passo 8: Abrem grampos;
- Passo 9: Robô retira peça;
- Passo 10: Robô deposita a peça em outra estação.

4.1.2 Estação de Carregamento B

A Estação de carregamento manual do caso B está localizada na montadora B e integra o processo de fabricação da estruturação e soldagem do piso traseiro do automóvel para que este receba o formato de acordo com o modelo a ser confeccionado.

4.1.2.1 Procedimento de elaboração do projeto de segurança da estação de carregamento

No processo de avaliação da estação de carregamento manual B, foi observado que o sistema de segurança aplicado inicia-se juntamente com a definição dos projetos completos da célula robotizada, e é baseado na documentação interna específica para estações de carregamento manual. De forma que, em linhas gerais, o projeto de segurança deve atender os requisitos apresentados na normativa interna, podendo ser adicionado outros dispositivos de segurança caso seja necessário em função da aplicação. A adição de dispositivos de segurança complementares à normativa interna é definida durante a fase de estudo de projeto da célula robotizada e pode depender de exigências do processo como tempo de ciclo e frequência da atividade ou ergonomia.

O documento utilizado como normativa interna de segurança possui laudo de conformidade com a NR-12 e ART elaborado por um profissional legalmente habilitado para tal projeto. Após a instalação ser concluída é elaborado novamente um laudo da instalação para atestar a correta implantação do sistema formulado no projeto de segurança normatizado pela montadora e seus equipamentos adicionais, caso seja aplicável.

4.1.2.2 Dispositivos de segurança da estação de carregamento

A estação de carregamento do caso B é composta por uma mesa de carregamento formada por grampos e pilotos pneumáticos que tem os sinais lógicos interligados à um concentrador de sinais seguros com redundância em canais separados e este se comunica com o CLP que faz o processamento dos dados e supervisiona as falhas à nível de estação e da célula como um todo também. Conforme indicado na figura 16, os dispositivos de segurança utilizados nesta arquitetura são um botão de emergência vermelho tipo soco devidamente sinalizada com

inscrição “Parada de Emergência” e um conjunto de *laser scanners* que protege a área contra invasão de inadvertida do operador ou pedestres.

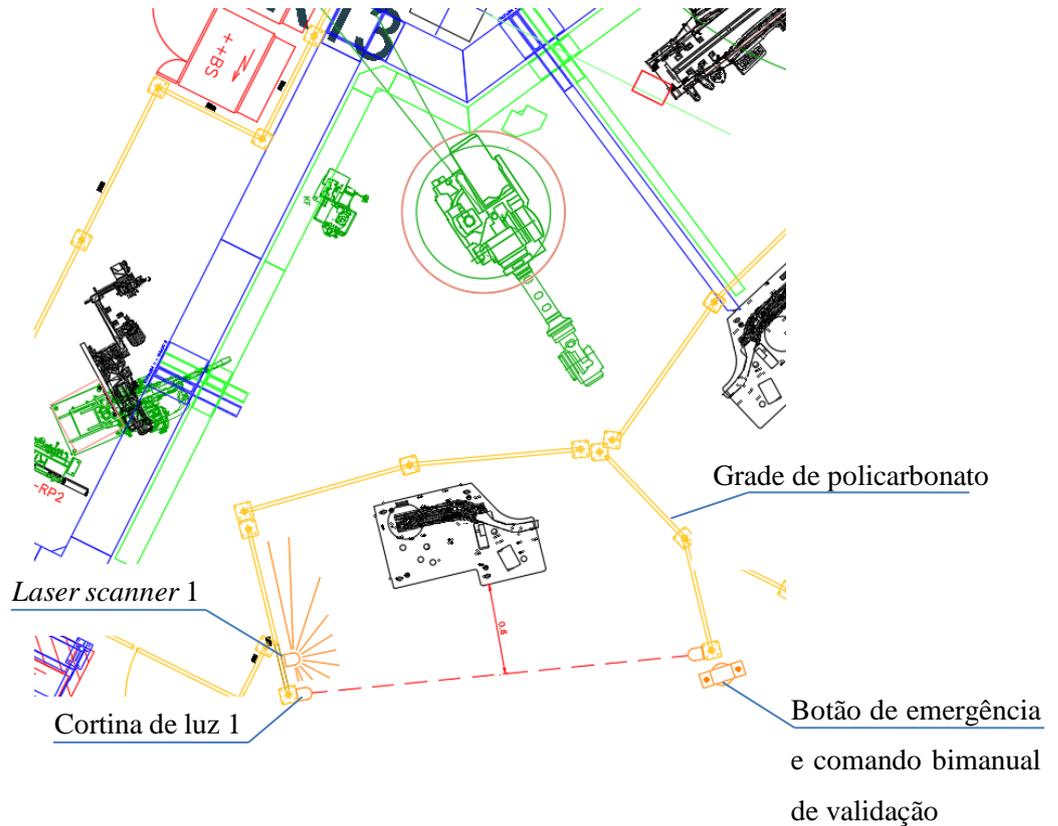


Figura 16 – *Layout* da estação de carregamento B.
Fonte: Montadora B

4.1.2.3 Etapas do processo da estação de carregamento

As etapas do processo são:

- Passo 1: Operador invade a área de proteção da cortina de luz 1 e scanner 1, desarmando a segurança da ilha para carregar as peças;
- Passo 2: Operador carrega peças;
- Passo 3: Operador fecha grampo manual;
- Passo 4: Ao fim do carregamento, operador aperta botoeira de validação e rearma a segurança da célula;
- Passo 5: Grampos manuais são pressurizados e os grampos automáticos são fechados;
- Passo 6: Robô recebe a liberação para retirar peça do dispositivo.

4.1.3 Estação de Carregamento C

A Estação de carregamento manual do caso C está localizada na montadora C e integra o processo de fabricação da estruturação e soldagem da tampa traseira do automóvel para que este receba o formato de acordo com o modelo a ser confeccionado.

4.1.3.1 Procedimento de elaboração do projeto de segurança da estação de carregamento

Da mesma forma que nos estudos anteriores, o projeto de segurança da estação de carregamento C tem início juntamente com o projeto completo da célula robotizada. O projeto de segurança é elaborado de maneira colaborativa entre o cliente e o fornecedor, em que o fornecedor apresenta uma solução de segurança que é avaliada por responsáveis pela segurança do trabalho da equipe do cliente. Após a avaliação do projeto pelo cliente, o projeto é aprovado ou é solicitada alteração na proposta do sistema de segurança. A partir das propostas levantadas, é feita a equalização das necessidades observadas pelo cliente e pelo fornecedor e o projeto de segurança é reformulado e liberado para execução. Assim que a instalação da célula é concluída o cliente inicia o processo de produção.

4.1.3.2 Dispositivos de segurança da estação de carregamento

A estação de carregamento do caso C é composta por uma mesa de carregamento formada por grampos e pilotos pneumáticos que tem os sinais lógicos interligados à um concentrador de sinais seguros com redundância em canais separados e este se comunica com o CLP que por sua vez faz o processamento dos dados e supervisiona as falhas à nível de estação e da célula como um todo também. Conforme indicado na figura 17, os dispositivos de segurança utilizados nesta arquitetura são um painel de botoeiras composto por um botão de emergência vermelho tipo soco devidamente sinalizada com inscrição “Parada de Emergência” e um botão de validação que aciona o funcionamento da estação, além de um de *laser scanners* e cortina de luz em formato de L que protege a área contra invasão de inadvertida do operador ou pedestres.

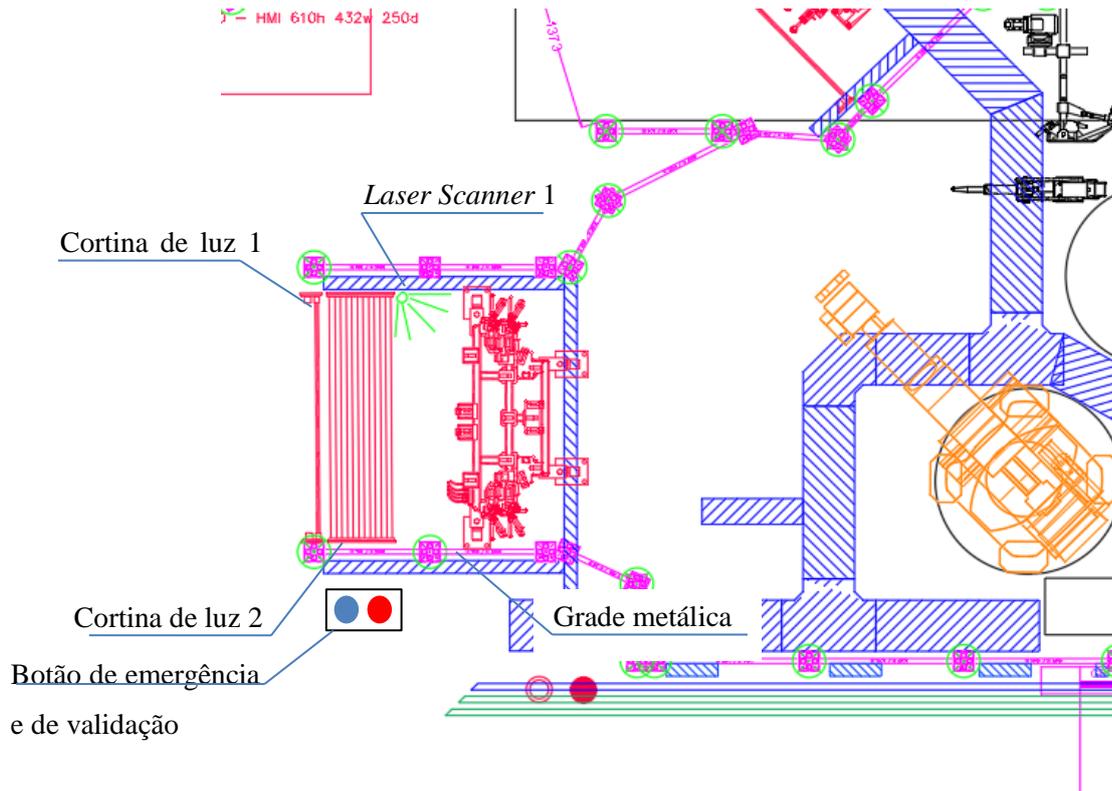


Figura 17 – Layout da estação de carregamento C.
Fonte: Montadora C

4.1.3.3 Etapas do processo da estação de carregamento

As etapas do processo são:

- Passo 1: Operador invade área de cobertura das Cortinas de luz 1 e 2;
- Passo 2: Operador invade área de cobertura do *laser scanner* 1 e desativa a proteção da célula;
- Passo 3: Operador carrega peças no dispositivo;
- Passo 4: Operador fecha grampos manuais;
- Passo 5: Operador valida área através da botoeira de validação;
- Passo 6: Pressurizam grampos manuais;
- Passo 7: Robô segura a peça;
- Passo 8: Os grampos da mesa se abrem;
- Passo 9: Robô retira peça.

4.2 CHECK-LIST

4.2.1 Tópicos da NR-12

Para facilitar o entendimento e aplicação dos itens da NR-12 que envolvem os sistemas de segurança, foi realizado um agrupamento dos 45 itens relacionáveis em sete tópicos, são eles: Proteção da estação, sensores de segurança, categoria de comando, sistema pneumático, interface de segurança, diagrama de segurança e responsabilidade técnica. Para cada item da norma foi avaliado quanto à conformidade do item em comparação com o projeto da estação de carregamento de cada estação estudada.

Foram padronizados dois possíveis status para o preenchimento do *check-list*, podendo os itens estarem conforme (C) e não conforme (NC). Não serão apresentados no *check-list* os itens não aplicáveis, tendo em vista que, por se tratarem de estações com conceito de funcionamento similares, os itens não aplicáveis são comuns à todas as estações, tornando-os irrelevante para a análise.

4.2.1.1 Proteção da estação

Os itens relacionados no tópico de proteção da estação estão apresentados no apêndice A. Nele encontram-se itens que abordam tipos de proteções e dispositivos aplicáveis e seu modo de instalação para que se atinja a categoria de segurança adequada. Também apresenta os requisitos de respostas que as proteções e intertravamentos devem retornar para o sistema de segurança. No quadro1 é apresentado um fragmento do *check-list* do tópico em questão.

Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
12.38	As zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistema de segurança, caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados, que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores.			

12.38.1	A adoção de sistemas de segurança, em especial nas zonas de operação que apresentem perigo, deve considerar as características técnicas da máquina e do processo de trabalho e as medidas alternativas técnicas existentes, de modo a atingir o nível necessário de segurança previsto nesta Norma.			
12.39 d)	Os sistemas de segurança devem ser selecionados e instalados de modo que não possam ser neutralizados ou burlados;			

Quadro 1 – Exemplo de *check-list* – Tópico proteção da estação
Fonte: Autor (2018).

4.2.1.2 Sensores de segurança

Neste tópico intitulado de sensores de segurança encontram-se itens que abordam tipos de sensores mecânicos e não mecânicos aplicáveis e seu modo de instalação para que se atinja a categoria de segurança adequada. Também apresenta comportamento que o sistema de segurança deve garantir de acordo com a categoria de segurança exigida. No quadro 2 é apresentado um fragmento do *check-list* do tópico em questão, o *check-list* completo encontra-se no Apêndice A.

Este tópico abrange as distâncias mínimas de segurança que são apresentadas no Anexo I, item a e que devem ser calculadas para garantir a não acessibilidade do trabalhador quando a área não estiver liberada para operação.

Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
12.42 c)	Sensores de segurança: dispositivos detectores de presença mecânicos e não mecânicos, que atuam quando uma pessoa ou parte do seu corpo adentra a zona de detecção, enviando um sinal para interromper ou impedir o início de funções perigosas, como cortinas de luz, detectores de			

	presença optoeletrônicos, laser de múltiplos feixes, barreiras ópticas, monitores de área, ou scanners, batentes, tapetes e sensores de posição;			
12.50	Quando a proteção for confeccionada com material descontínuo, deve ser observada as distancias de segurança para impedir o acesso às zonas de perigo, conforme previsto no Anexo I, item A.			

Quadro 2 – Exemplo de *check-list* – Tópico sensores de segurança
Fonte: Autor (2018).

4.2.1.3 Categoria de comando

O tópico destinado à categoria de comando tem como premissa a categorização de segurança realizada anteriormente. Considerando a categoria de segurança 4 conforme definido segundo termos da ABNT NBR 14153, foram selecionados os itens que são essenciais para que o projeto de segurança atenda às exigências da NR-12. Também apresenta o comportamento que o sistema de segurança deve garantir de acordo com a categoria de segurança exigida. No quadro 3 é apresentado um fragmento do *check-list* do tópico em questão, o *check-list* completo encontra-se no Apêndice A.

Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
12.39 a)	Ter categoria de segurança conforme prévia análise de riscos prevista nas normas técnicas oficiais vigentes;			
12.39 c)	Possuir conformidade técnica com o sistema de comando a que são integrados;			
12.39 e)	Manterem-se sob vigilância automática, ou seja, monitoramento de acordo com a categoria de segurança requerida, exceto para dispositivos exclusivamente mecânicos; e			

12.39 f)	Paralisação dos movimentos perigosos e demais riscos quando ocorrerem falhas ou situações anormais de trabalho.			
----------	---	--	--	--

Quadro 3 – Exemplo de *check-list* – Categoria de comando
Fonte: Autor (2018).

4.2.1.4 Sistema pneumático

As mesas onde são depositadas as peças nas estações de carregamento são compostas basicamente por apoios mecânicos e cilindros pneumáticos que executam as tarefas de indexação e posicionamento, por este motivo foi elaborado o tópico de sistemas pneumáticos conforme é demonstrado no quadro 4 e no Apêndice A. Neste tópico foram selecionados os itens que tratam sobre características dos equipamentos pneumáticos e seus elementos auxiliares como retentores e limitadores.

Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
12.42	Para fins de aplicação desta Norma, consideram-se dispositivos de segurança os componentes que, por si só ou interligados ou associados às proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde, sendo classificados em:			
12.42 d)	Válvulas e blocos de segurança ou sistemas pneumáticos e hidráulicos de mesma eficácia;			
12.42 e)	Dispositivos mecânicos, como: dispositivos de retenção, limitadores, separadores, empurradores, inibidores, defletores e retráteis; e			

Quadro 4 – Exemplo de *check-list* – Sistema pneumático
Fonte: Autor (2018).

4.2.1.5 Interface de segurança

O tópico destinado à interface de segurança tem como função agrupar os itens que tratam sobre comandos elétricos e suas ligações. Também são considerados os itens de supervisão de falhas e monitoramento dos circuitos de segurança. No quadro 5 é apresentado um fragmento do *check-list* do tópico em questão, o *check-list* completo encontra-se no Apêndice A.

Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
12.42	Para fins de aplicação desta Norma, consideram-se dispositivos de segurança os componentes que, por si só ou interligados ou associados às proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde, sendo classificados em:			
12.42 a)	Comandos elétricos ou interfaces de segurança: dispositivos responsáveis por realizar o monitoramento, que verificam a interligação, posição e funcionamento de outros dispositivos do sistema e impedem a ocorrência de falha que provoque a perda da função de segurança, como relés de segurança, como relés de segurança, controladores configuráveis de segurança e controlador lógico programável – CLP de segurança;			
12.42 f)	Dispositivos de validação: dispositivos suplementares de comando operados manualmente, que quando aplicados de modo permanente, habilitam o dispositivo de acionamento como chaves seletoras bloqueáveis e dispositivos bloqueáveis.			

Quadro 5 – Exemplo de *check-list* – Interface de segurança
Fonte: Autor (2018).

4.2.1.6 Diagrama de Segurança

De acordo com a avaliação do risco, faz-se necessária a apresentação dos projetos elétricos, mecânicos e de segurança ou representações esquemáticas na língua portuguesa. Os itens referentes à esse assunto encontra-se representado no quadro 6 e no apêndice A.

Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
12.55	Em função do risco, poderá ser exigido projeto, diagrama ou representações esquemáticas do sistema de segurança, com respectivas especificações técnicas em língua portuguesa.			

Quadro 6 – Exemplo de *check-list* – Diagrama de segurança
Fonte: Autor (2018).

4.2.1.7 Responsabilidade Técnica

O tópico de responsabilidade técnica tem como função englobar os itens da norma que estabelecem a necessidade da apresentação do responsável técnico pelo projeto de segurança das estações de carregamento. As estações estudadas são projetadas especialmente com base na necessidade do cliente, desta maneira, não possui documentação técnica e por consequência, os projetos necessitam ser elaborados e construídos por um profissional legalmente habilitado conforme mostrado no quadro 7 e no apêndice A.

Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
12.39 b)	Estar sob a responsabilidade técnica de um profissional legalmente habilitado;			
12.55.1	Quando a máquina não possuir a documentação técnica exigida, o proprietário deve construí-la sob a responsabilidade de um profissional legalmente habilitado e com respectiva anotação de Responsabilidade Técnica do Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura - ART/CREA.			

Quadro 7 – Exemplo de *check-list* – Responsabilidade técnica
Fonte: Autor (2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CATEGORIA DE SEGURANÇA

A categoria de segurança foi definida conforme ABNT NBR 14153 apresentado no item 2.2 deste estudo. Foram avaliados os parâmetros para Severidade do ferimento, frequência ou tempo de exposição e a possibilidade de evitar o perigo. Os resultados obtidos foram:

- Severidade do ferimento: S2 - Ferimento sério (normalmente irreversível) uma vez que o robô pode ocupar a mesma área de trabalho que o operador;
- Frequência e/ou tempo de exposição ao perigo: F2 – O trabalho de carregamento de peças opera de maneira frequente, ocorrendo mais de 2 vezes por turno;
- Possibilidade de evitar o perigo: P2 – Após uma invasão do robô na área de risco, torna-se pouco possível evitar o acidente.

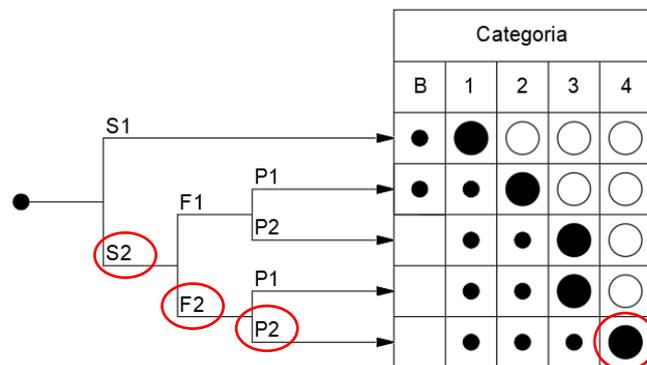


Figura 18

Figura 18- Análise de risco categoria - Adaptado NBR 14153.
Fonte: ABNT (2013).

Conforme apresentada na figura 18, a categoria requerida para este tipo de estação de carregamento manual é a categoria de segurança 4. Esta categoria implica na máxima segurança prevista na NR-12, exigindo que a estrutura do sistema de segurança seja projetada de forma que um defeito isolado não leve a perda da função de segurança, e que um defeito isolado seja detectado durante ou antes a próxima demanda da função de segurança. Caso não seja possível implementar esta função, o acúmulo de falhas não pode levar a perda das funções de segurança.

5.2 ANÁLISE DA ESTAÇÃO A

5.2.1 Resultado do *Check-list*

O *check-list* baseado em 47 itens sobre sistemas de segurança da NR-12 retornou 45 itens conformes e 2 itens não conformes, de acordo com o *check-list* que encontram-se no Apêndices de A. A figura 19 apresenta o resultado da análise em valores estatísticos, sendo que 96% do sistema de segurança está em conformidade com a norma vigente e 4% necessitam adequação

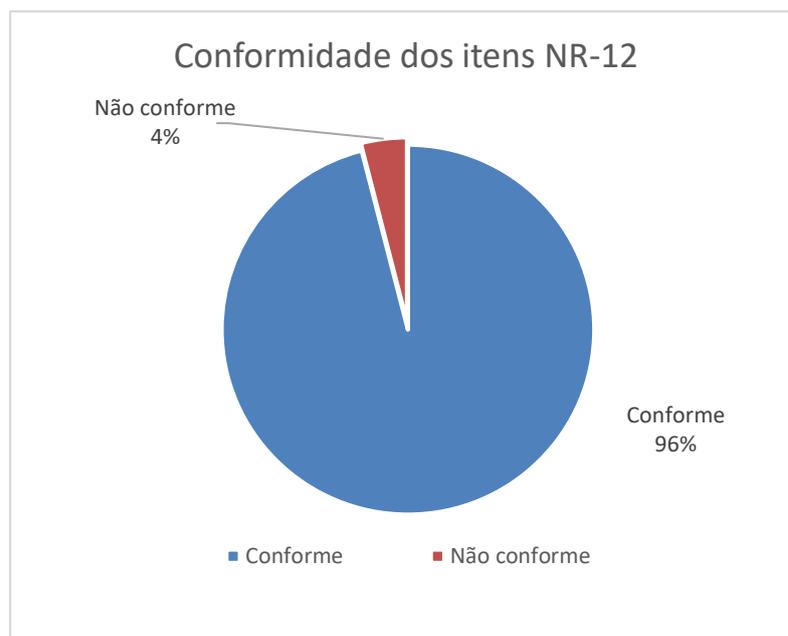


Figura 19 – Status de conformidade da estação A de acordo com a NR-12.
Fonte: Autor (2018).

Na figura 20, os itens avaliados estão divididos em tópicos de interesse conforme elaboração do *check-list* proposto. Desta maneira é possível avaliar qual seguimento do sistema de segurança está sendo atendido pela norma e qual necessita de adequações. O tópico de Categoria de segurança e responsabilidade técnica são os que apresentam itens não conforme.

A não conformidade do tópico relacionado à categoria de segurança trata do item 12.39 a) que determina que os sistemas de segurança devem ser selecionados e instalados de modo a atender a categoria de segurança conforme prévia análise de riscos prevista nas normas técnicas oficiais vigentes. No projeto de segurança analisado não foi constatado dispositivos de segurança com categoria de segurança 4, conforme apresentado na análise de risco.

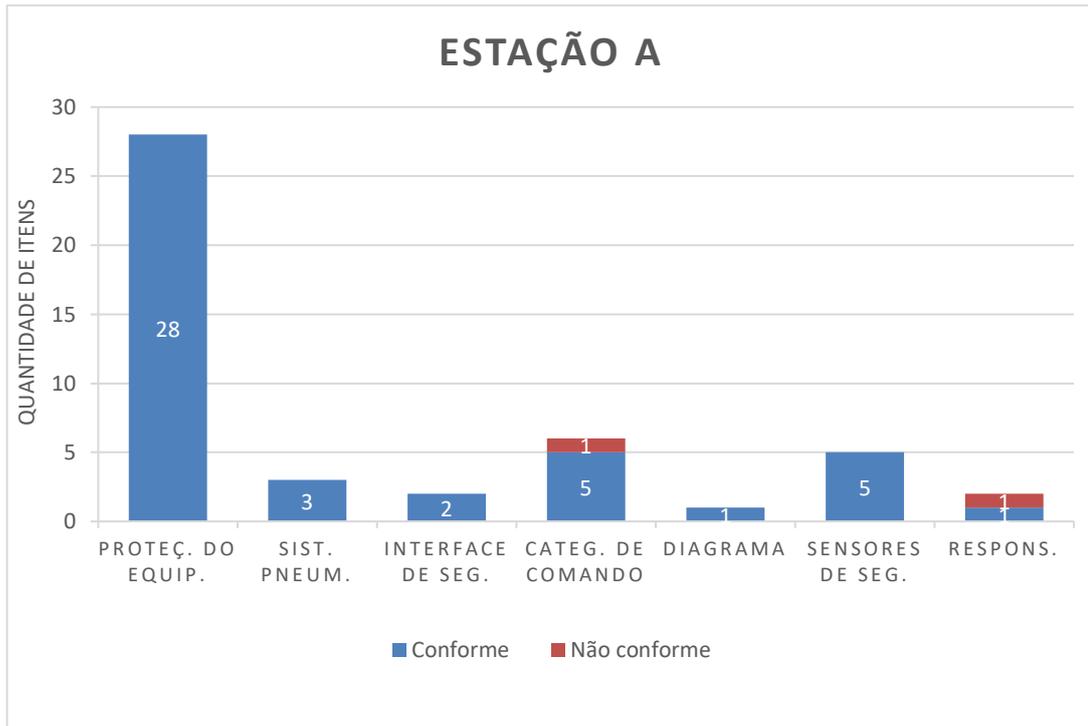


Figura 20 – Tópicos avaliados na estação A de acordo com a NR-12.
Fonte: Autor (2018).

Já a não conformidade apresentada no tópico de responsabilidade técnica faz referência ao item 12.55.1 em que é exigido que o proprietário construa a máquina sob responsabilidade de um profissional legalmente habilitado e com respectiva anotação de responsabilidade técnica ART. No entanto, o projeto avaliado não apresenta tal documentação disponível.

5.2.2 Medidas corretivas

A fim de adequar as não conformidades apresentadas pelo *check-list*, foram feitas observações sobre as pendências apontadas.

Item não conforme: 12.39:

As inconformidades encontradas tratam da necessidade da correta instalação de um dispositivo de segurança que possua categoria de segurança 4 conforme definida na análise de risco. A fim de adequar o item, deve-se ser instalado um equipamento de segurança que atinja a categoria 4 de segurança. Sugere-se a instalação de uma cortina de luz na entrada da estação

de carregamento, conforme distância de segurança apresentada no Anexo A.1 e calculada no apêndice B.

Item não conforme: 12.55:

Também deve-se observar quanto à responsabilidade técnica do projeto de segurança, uma vez que o projeto foi executado, mas não apresenta a Anotação de responsabilidade técnica (ART) de acordo com a necessidade do caso.

5.2.3 Composição do Sistema de Segurança

O sistema de segurança é composto por dois *lasers scanners* de presença, que são localizados nas posições apresentadas na figura 21.

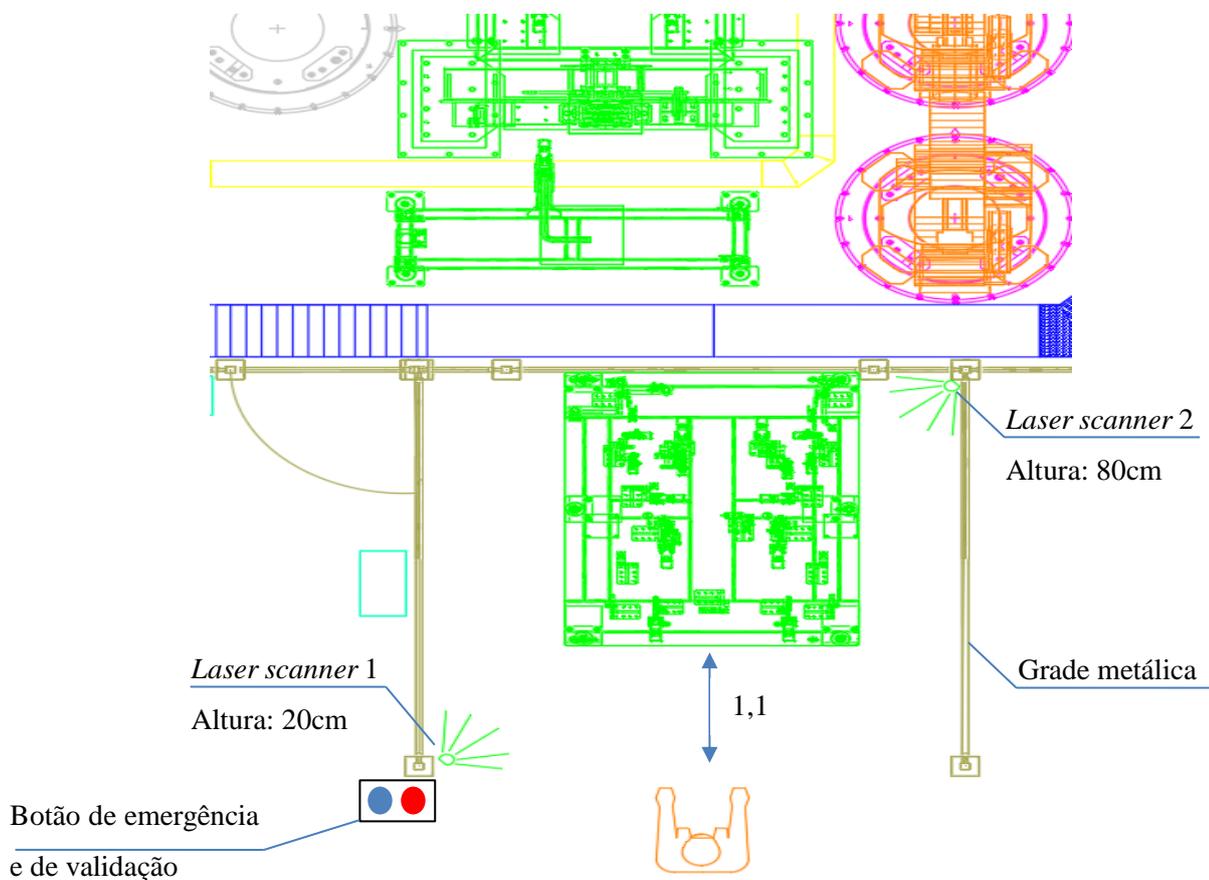


Figura 21 - Posicionamento dos dispositivos de segurança da estação A.
Fonte: Montadora A (2016).

O *laser scanner* 1 está posicionado a uma altura de 20cm do chão e a uma distância de 1,1 metros da estação de carregamento, ele cobre a área demarcada em amarelo, de maneira que quando o operador invade a área demarcada a segurança da célula é derrubada e a zona onde se encontra a estação de carregamento A é parada. Já o scanner 2 está posicionado a 80cm do chão, logo acima da mesa de depósito do operador. O scanner 2 foi instalado desta maneira com o objetivo de evitar que o operador possa permanecer em cima da mesa de carregamento se outro operador liberar a área para que o robô retire a peça da estação. Com o intertravamento dos dois scanners fica garantida a não existência de operador na área de risco.

A estação também é composta por botão de emergência corretamente sinalizada e interligada ao circuito de segurança do CPL e coluna luminosa que sinaliza a ocorrência de uma invasão inadvertida na área de segurança.

A rede industrial utilizada para a arquitetura de rede da estação A é a Rede Profinet que atende a categoria de segurança 4.

5.3 ANÁLISE DA ESTAÇÃO B

5.3.1 Resultado do *Check-list*

Após a aplicação do *check-list* baseado em 47 itens da NR-12 que abordam sobre os sistemas de segurança, os dados obtidos foram 45 itens conformes e 2 itens não conformes. O *check-list* completo encontram-se nos Apêndices de A à G. A figura 22 apresenta o resultado da análise em valores estatísticos, sendo que 96% do sistema de segurança está em conformidade com a norma vigente e 4% necessitam adequação.

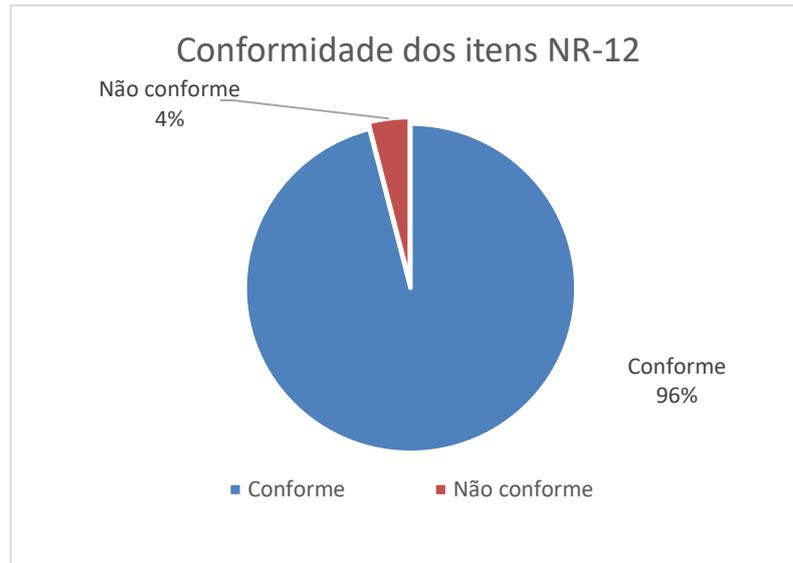


Figura 22 – Status de conformidade da estação B de acordo com a NR-12.
Fonte: Autor (2018).

Para avaliar quais seguimentos da NR-12 foram apontadas como não conforme de acordo com o *check-list*, foi elaborado a figura 23, onde os itens avaliados estão divididos em tópicos de interesse conforme elaboração do *check-list* proposto. O tópico de Diagrama de segurança e responsabilidade técnica são os que apresentam itens não conforme e serão tratados especificamente no item 4.2.2 deste trabalho.

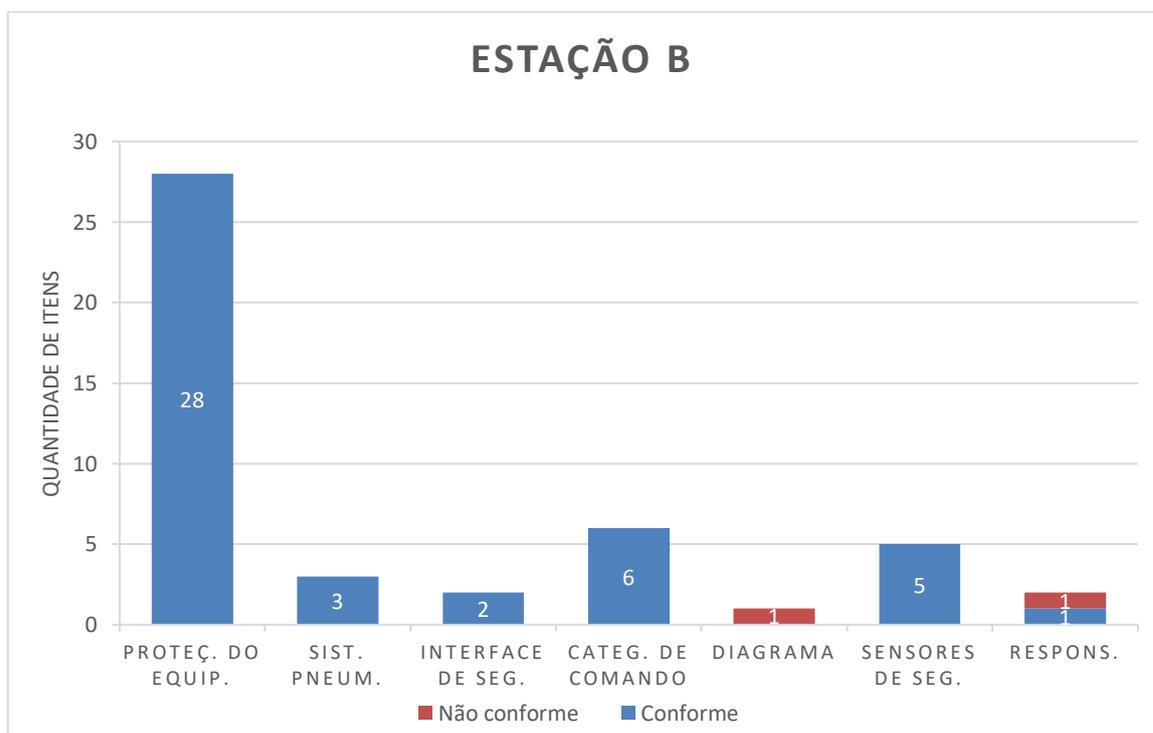


Figura 23 – Tópicos avaliados na estação B de acordo com a NR-12.
Fonte: Autor (2018).

5.3.2 Medidas Corretivas

A fim de adequar as não conformidades apresentadas pelo *check-list*, foram sugeridas medidas corretivas para sanar as pendências apontadas.

Item não conforme: 12.55:

Em decorrência das diferentes nacionalidades das montadoras que se encontram no país, é comum projetos mecânicos e elétricos estarem escritos no idioma de origem das montadoras. No entanto, o item não conforme de acordo com o *check-list* faz referência a necessidade dos projetos e diagramas estarem na língua portuguesa, uma vez que o risco da estação em estudo foi caracterizado como alto. Para remover a pendência, deve-se fazer a tradução da documentação elétrica, mecânica e esquemáticos de segurança que refere-se a estação de carregamento B.

Item não conforme: 12.55.1:

Também deve-se observar quanto à responsabilidade técnica do projeto de segurança, uma vez que o projeto foi executado, mas não apresenta a Anotação de responsabilidade técnica (ART) de acordo com a necessidade do caso.

5.3.3 Composição do Sistema de Segurança

O sistema de segurança é composto por uma barreira de luz posicionada a uma distância de segurança correta de acordo com o cálculo da distância mínima aborda pelo anexo A b) da NR-12. A barreira de luz está posicionada há 1,5 metros da mesa de carregamento e sendo esta distância maior do que 0,86m, que é a distância mínima calculada no apêndice C.

Também compõe o sistema de segurança dois scanners conforme posicionados na figura 24.

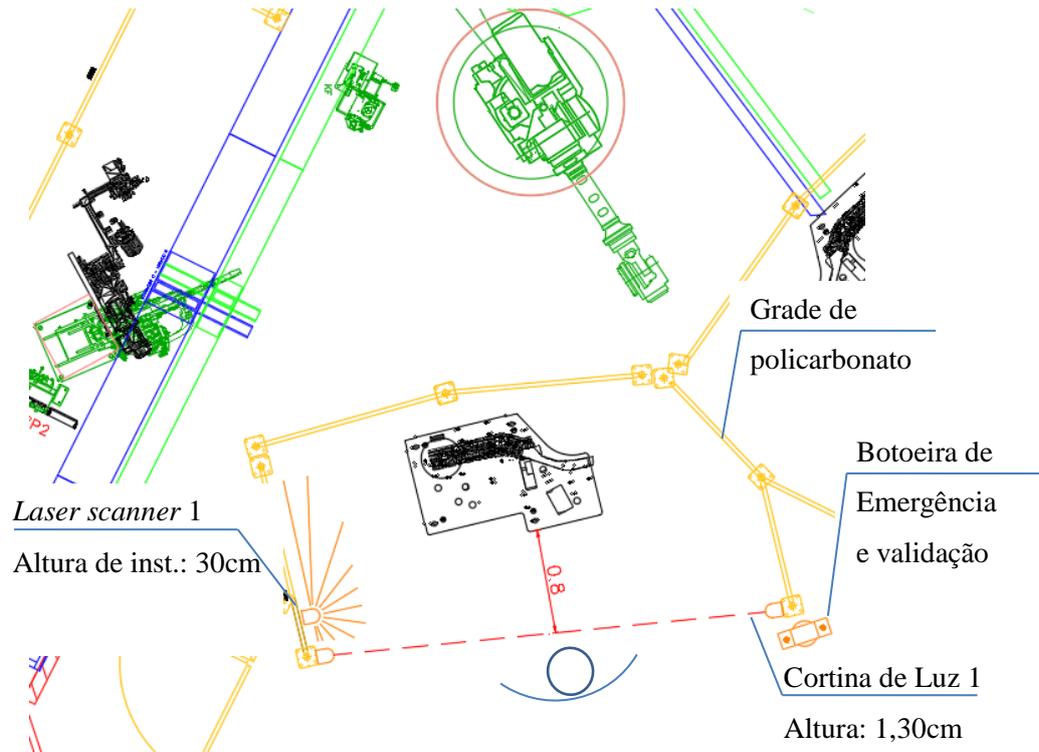


Figura 24 - Posicionamento dos dispositivos de segurança da estação B.
Fonte: Montadora B (2016).

O *laser scanner 1* encontra-se no nível do chão, há 20 cm de altura e detecta a invasão por operador ou terceiros na área demarcada em amarelo. O *laser scanner 2* é posicionado na logo após a proteção fixa para detectar intrusão dentro da célula robotizada.

Além dos detectores optoeletrônicos foram projetadas barreiras físicas fabricadas em policarbonato transparente que separam a área de carregamento da célula robotizada conforme apresentada na imagem 2.

A estação também é projetada para possuir botão de emergência próximo à estação e coluna luminosa que sinaliza a invasão da área segura, indicando a parada da célula.

A rede industrial utilizada para a arquitetura de rede da estação A é a Rede Profinet e tem o cabeamento por fibra ótica e provê um protocolo de segurança denominado PROFIsafe, podem ser utilizadas em sistemas de segurança de automação até a Categoria de segurança 4. O protocolo torna a comunicação de segurança do sistema intrínseca à rede industrial, tornando desnecessária a implementação separadamente de módulos e relés de segurança, o que impossibilita falhas na instalação e diminui a taxa de transmissão, tornando a velocidade de resposta do sistema superior às outras redes.

5.4 ANÁLISE ESTAÇÃO C

5.4.1 Resultado do *Check-list*

Após a aplicação do *check-list* baseado em 47 itens da NR-12 que abordam sobre os sistemas de segurança, os dados obtidos foram 43 itens conformes e 4 itens não conformes. O *check-list* completo encontram-se nos Apêndices de A. A figura 25 apresenta o resultado da análise em valores estatísticos, sendo que 91% do sistema de segurança está em conformidade com a norma vigente e 9% necessitam adequação.

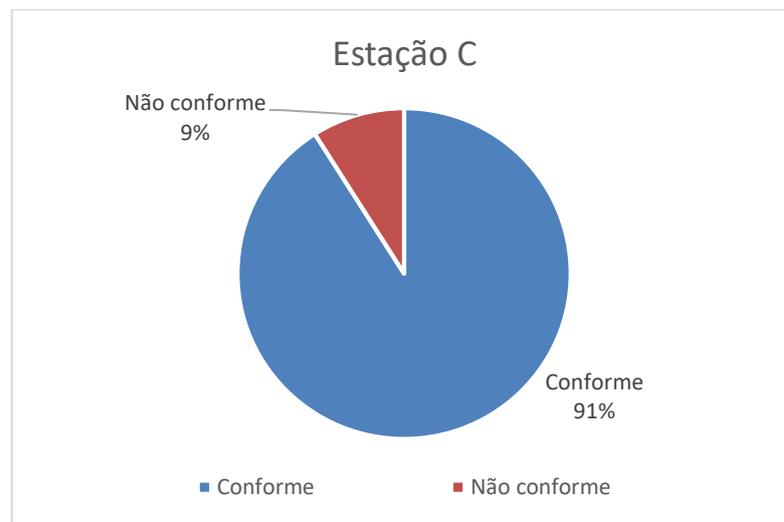


Figura 25– Status de conformidade da estação C de acordo com a NR-12.
Fonte: Autor (2018).

A figura 26 apresenta uma visão geral dos itens não conforme e indica à qual tópico da do sistema de segurança de acordo com a NR-12 a pendência está relacionada conforme a proposta de *check-list* apresentada. O tópico de proteção do equipamento, categoria de segurança e responsabilidade técnica possuem itens não conforme e serão tratados especificamente no item 4.3.2 deste trabalho.

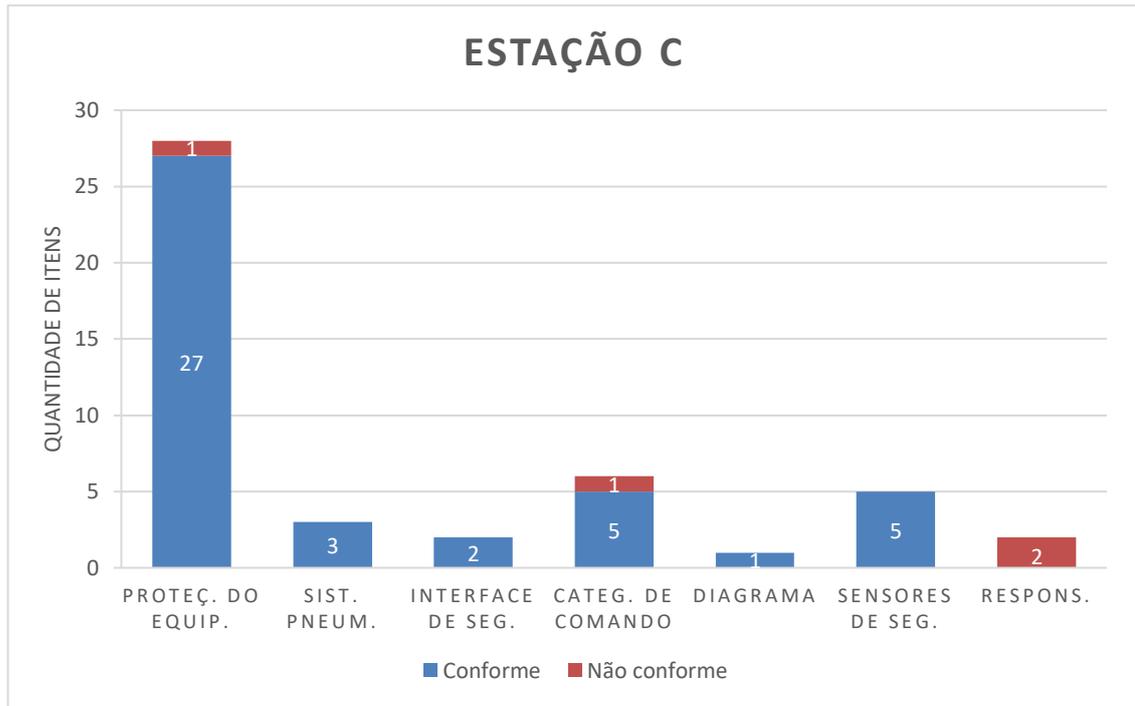


Figura 26 – Tópicos avaliados na estação C de acordo com a NR-12.
Fonte: Autor (2018).

5.4.2 Medidas Corretivas

Item não conforme: 12.49 g)

O item referente ao tópico de proteção do equipamento estabelece que as proteções devem ser projetadas e construídas e de modo a impedir que possam ser burladas, entretanto o operador, ao realizar o carregamento pode estar posicionado em cima da mesa enquanto outro operador, com acesso ao botão de liberação, terá a possibilidade de iniciar o processo e por consequência iniciar o processo da célula robotizada.

A previsão de instalação de um dispositivo *laser scanner* logo acima da mesa de depósito, a 1 metro de altura, que tenha sua ativação intertravada com as duas barreiras e os dois scanners existentes.

Item não conforme: 12.39 a)

O item 12.39 a) encontra-se no tópico que aborda a categoria de segurança e estabelece que os sistemas de segurança devem ser selecionados e instalados de modo a ter categoria de

segurança conforme prévia análise de riscos prevista nas normas técnicas oficiais vigentes. No caso analisado, apesar de haver duas cortinas de luz projetadas em conjunto com a *laser scanners*, o equipamento de segurança com categoria de segurança 4 não está programada para efetuar a resposta solicitada para equipamentos com esta categoria, em outras palavras, a detecção feita pela barreira de luz não executa a parada completa da célula robotizada, apenas interrompe o processo da mesa. A parada completa da célula fica sob responsabilidade do *laser scanner* que possui categoria de segurança 3. Esta manobra foi idealizada para que o tempo de produção não fosse afetado por uma invasão na estação de carregamento C. Desta forma, a categoria de segurança 4 não é atestada.

Para realizar a adequação deve ser instalado uma cortina de luz, que seja certificada como categoria 4 e tenha a função de parar emergencialmente a célula robotizada completa.

Item não conforme: 12.39 b)

O item 12.39 a) encontra-se no tópico que aborda a responsabilidade técnica e estabelece que o sistema de segurança deve estar sob responsabilidade de um profissional legalmente habilitado. No entanto, não foram apresentados registros de ART dos projetos de segurança elaborados. Para realizar a adequação, os projetos relacionados ao sistema de segurança devem possuir ART emitida por profissional legalmente habilitado e este documento deve ser anexado ao projeto.

Item não conforme: 12.55.1

O item 12.55.1 também aborda sobre o tópico responsabilidade técnica, entretanto estabelece que máquina ou equipamentos devem ser construídas sob a responsabilidade de um profissional legalmente habilitado e com respectiva anotação de Responsabilidade Técnica. Este documento não foi apresentado junto ao projeto, para adequar este item a NR-12, deve-se solicitar ao fornecedor do projeto a ART.

5.4.3 Composição do Sistema de Segurança

O Sistema de segurança é composto por duas barreiras de luz 1 e 2, em formato de “L” conforme apresentado na norma ISO 13855, norma que determina o posicionamento de proteções referentes a velocidade de aproximação do operador e representado pela figura 27.

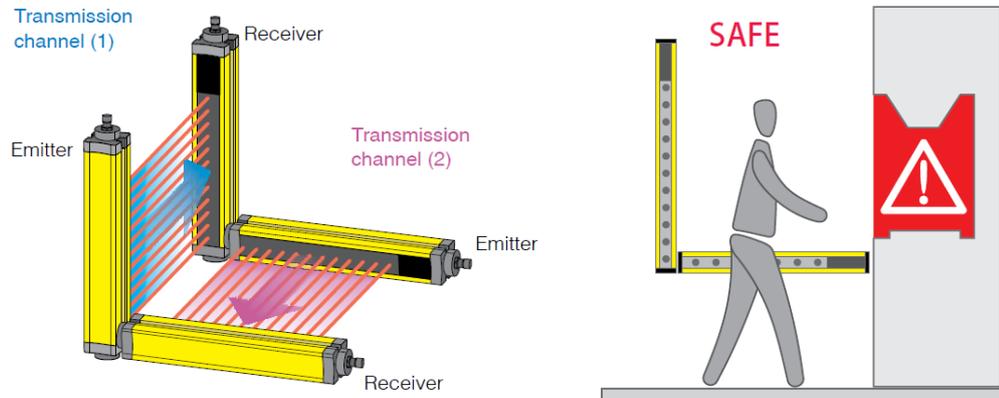


Figura 27 - Instalação de barreiras em formato “L”
Fonte: ISO (2010).

De acordo com a norma ISO 13855, a estação das barreiras de luz em formato de “L” garante ao operador segurança durante o percurso de carregamento.

Adicionalmente às duas cortinas de luz instaladas em formato de “L”, a configuração da estação também apresenta um *laser scanner* conforme representado na figura 28. A primeira cortina de luz está posicionada a 1300mm de distância da mesa, e a distância mínima requerida é de 1090mm conforme calculado no anexo C, logo, a cortina de luz impedirá que a estação esteja operante enquanto o trabalhador carrega o dispositivo. O *laser scanner* 1 está instalado na altura do chão e é responsável pela parada do funcionamento da ilha. Enquanto as barreiras impedem o funcionamento da estação.

Além das proteções optoeletrônicas, a área de carregamento é fechada por cercas metálicas que não isola a área da célula robotizada da área de carregamento é transitório.

A estação também é projetada para possuir botão de emergência próximo à estação e coluna luminosa que sinaliza a invasão da área segura, indicando a parada da célula. Este dispositivo é integrado e padronizado por normativas internas que atendem a categoria de segurança.

A rede industrial utilizada para a arquitetura de rede da estação C é a Rede Devicenet que tem se mostrado obsoleta no que diz respeito as funções de segurança.

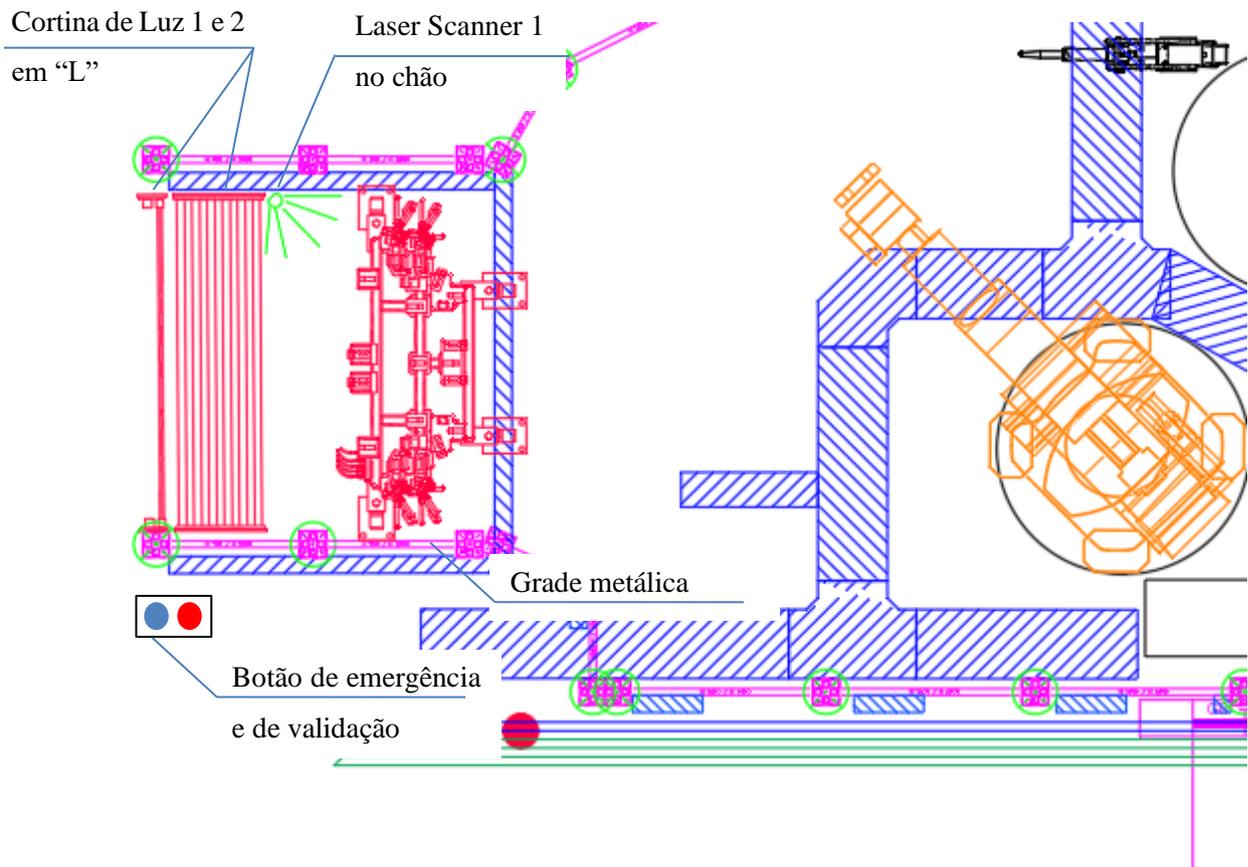


Figura 28 - Posicionamento dos dispositivos de segurança da estação C.
Fonte: ABNT (2013).

5.5 COMPARAÇÃO DAS ANÁLISES DO SISTEMA DE SEGURANÇA DAS ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO

A partir da comparação dos casos estudados foi possível verificar a recorrência comum de pendências relacionadas à categoria de segurança e responsabilidade técnica nos projetos analisados.

Como verificado no estudo realizado, a estação de carregamento B é a única que faz uso de uma normativa interna previamente atestada por um profissional legalmente habilitado com apresentação de ART condizente com a instalação para a elaboração do projeto de segurança da estação, nos casos A e C os projetos de segurança são elaborados por profissionais não legalmente habilitados.

Também é observado que as montadoras que encontram-se no país são predominantemente estrangeiras, o que possibilita a elaboração dos projetos elétricos, mecânicos e de segurança serem redigidos em outro idioma ou traduzidos para o português de maneira equivocada e confusa.

Outro ponto relevante são as pendências relacionadas à categoria de segurança que estão presentes em dois dos três casos analisados o que indica a falta de compreensão da NR-12 para a aplicação em estações de carregamento.

Em se tratando de interface de segurança e sensores de segurança e do sistema pneumático, os três casos analisados apresentaram resultados satisfatórios. O atendimento da norma para esses tópicos está intimamente relacionado com os materiais e equipamentos utilizados para o projeto de segurança que possuem certificados de testes para o atendimento da categoria de segurança. Outro fator que contribui para a conformidade dos tópicos relacionados à interface de segurança se dá pela arquitetura de rede industrial amplamente utilizada no setor automobilístico. Dentre os casos estudados, o caso A e B utilizam a Profinet como rede industrial para fazer a comunicação com os equipamentos da célula robotizada e no caso C é utilizada a rede Devicenet. Apesar da diferença de tecnologia, ambas as redes industriais podem atender as necessidades estabelecidas pela NR-12.

Com base nas análises realizadas nos três casos estudados foram levantados o modo de funcionamento e os dispositivos de segurança. Para resumir as informações, foi elaborado o quadro 8, onde apresentam os tipos de proteções e sua aplicação nos casos.

		Caso A	Caso B	Caso C
Proteções Fixas	Cercas em material metálico ou policarbonato	X	X	X
	<i>Laser scanners</i>	X	X	X
Dispositivos de segurança	Cortina de luz		X	X
	Dispositivo de validação	X	X	X

Quadro 8 – Resumo dos tipos de proteções utilizados nos casos estudados.
Fonte: Autor (2018).

É percebida a utilização de determinadas proteções em todos os casos como cercas e *laser scanner*. No entanto, o caso estudado que atende os tópicos referente ao tipo de proteção do equipamento e a categoria de segurança simultaneamente, é o caso B. Por esse motivo, este será usado como referência para determinar a composição mínima do sistema de segurança para a elaboração do projeto de segurança.

5.6 COMPOSIÇÃO DO MODELO DE SISTEMA DE SEGURANÇA PROPOSTO

Os requisitos mínimos para a elaboração do projeto do sistema de segurança de uma estação de carregamento foram sintetizados no *check-list* e encontram-se no apêndice A. Com base no *check-list* e informações analisadas foram levantados os dispositivos de segurança comuns utilizados nos casos e o seu status de conformidade de acordo com a NR-12. A partir dos resultados obtidos, foi possível elaborar uma relação de dispositivos de proteção mínimos para a elaboração de um projeto de sistema de segurança para uma estação de carregamento conforme apresentado no quadro 9.

Dispositivos de proteção	Quantidade
Cercas em material metálico ou policarbonato	Variável dependendo das dimensões da instalação
<i>Laser scanners</i>	2
Cortina de luz	1
Dispositivo de validação	1

Quadro 9 – Dispositivos de proteção para composição de uma estação de carregamento segura.
Fonte: Autor (2018).

Apenas a implantação dos elementos relacionados no quadro 9 não é suficiente para garantir a categoria de segurança 4 requerida para este tipo de estação. Os dispositivos de proteção devem ser projetados de forma que a maneira e posição de instalação e os intertravamentos devem ser programados para estar em conformidade com a NR-12. No caso dos dispositivos optoeletrônicos, qualquer invasão deverá parar a célula robotizada completamente.

5.6.1 Proposta de *layout* para instalação dos dispositivos de proteção.

A figura 29 apresenta uma proposta de *layout* que garante a segurança do operador na estação de carregamento manual. A estação é composta por 2 *laser scanners*, um que varre a área inferior do dispositivo, a 15 cm do chão e outro que verifica a área acima do dispositivo, impedindo de que o operador ou outro objeto se posicione erroneamente em cima da mesa de carregamento. Também integra a proposta de *layout* de instalação do sistema de segurança uma cortina de luz com categoria de segurança 4 e deve ser posicionada aplicando as informações sobre distâncias mínimas contidas no Anexo A item b) da NR-12, além dos dados do sistema como as informações do fabricante do equipamento de segurança e da arquitetura de segurança que será utilizada. A fim de exemplificação, foi considerado os valores de distância mínima calculados no apêndice C para o pior caso estudado, o caso C. A distância mínima de instalação é de 1090mm, esta distância será arredondada para cima para facilitar a instalação, logo, a distância de instalação da cortina de luz até o dispositivo de carregamento será de 1100mm.

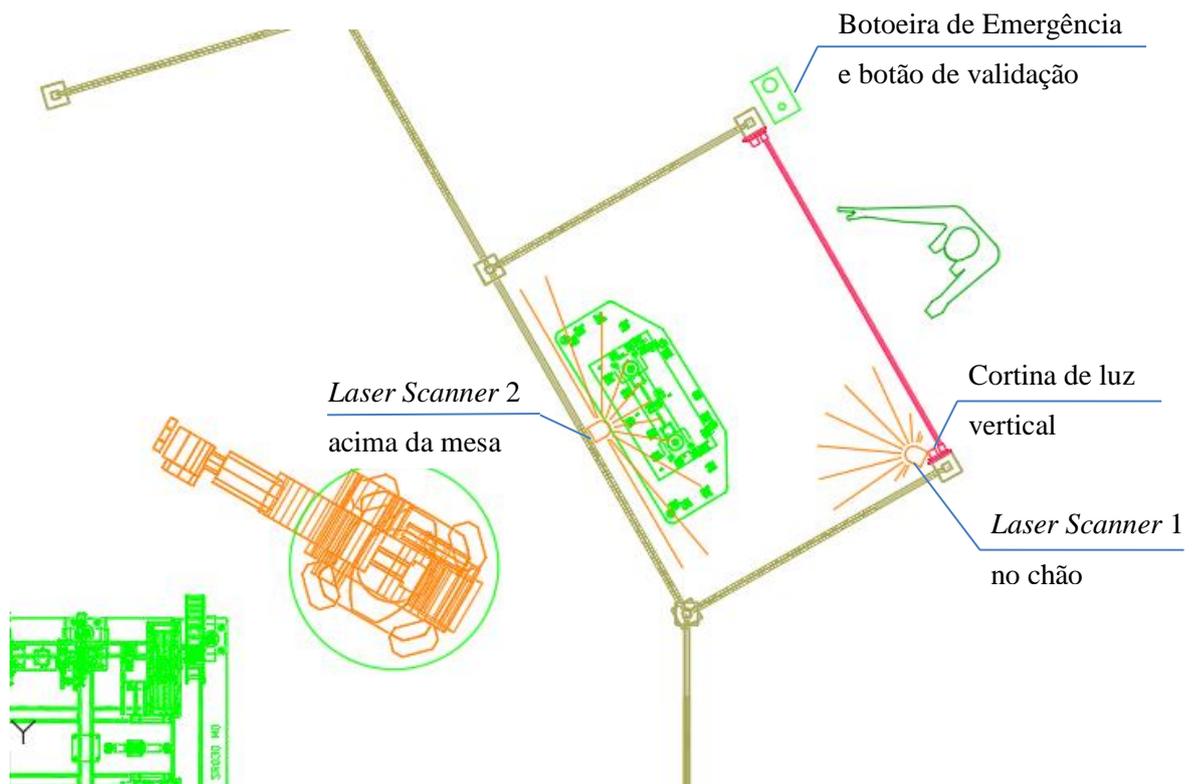


Figura 29 - *Layout* proposto para instalação dos dispositivos de proteção
Fonte: Autor (2013)

Ao invadir a área protegida pela cortina de luz, a célula é bloqueada e o estado seguro é estabelecido. O controle da estação apenas liberará a entrada do robô na estação quando o operador acionar o comando bimanual e as áreas de proteção da cortina de luz dos dois lasers scanners estiverem acusando ausência de pessoas.

O modelo proposto apresenta um pedestal posicionado ao lado da estação e composto por uma botoeira de emergência e um botão de validação, este deve ser preferencialmente acionado por um comando bimanual conforme previsto na NR-12.

5.6.2 Etapas do processo da estação de carregamento

As etapas do processo sugeridas são:

Passo 1: Operador invade a área de proteção da cortina de luz 1 e scanner 1, desarmando a segurança da ilha para carregar as peças;

Passo 2: Operador carrega peças e invade a área de proteção do scanner 2;

Passo 3: Operador fecha grampo manual;

Passo 4: Ao fim do carregamento, operador aperta botoeira de validação e rearma a segurança da célula;

Passo 5: Grampos manuais são pressurizados e os grampos automáticos são fechados;

Passo 6: Robô recebe a liberação para retirar peça do dispositivo.

5.6.3 Soluções complementares

Análise dos casos estudados tornou possível vislumbrar opções para aumentar a segurança das estações de carregamento. Como a instalação da mesa giratória faz com que o robô não ocupe o mesmo espaço físico do operador, tornando assim, a instalação mais segura. Também foi observado no caso C a instalação de cortinas de luz em formato de “L” conforme figura 28, o que fará com que o sistema utilize dois dispositivos de segurança com categoria 4, garantindo mais segurança ao operador que trabalhará na estação.

Conforme apontado pelo sistema de segurança utilizado no caso A, a instalação de um *laser scanner* na altura da mesa de carregamento impede que o operador fique posicionado em cima da mesa quando a estação for validada e liberada para entrada do robô.

Também apresentado pelo caso A o sistema de segurança integrado ao robô que utiliza o sistema de dupla checagem de segurança (DCS) onde o robô é programado para trabalhar em uma área definida e para que seja determinada a posição em que o robô está, é realizada duas checagens uma de ponto de referência e outro de posição no plano cartesiano. Caso um desses dois métodos de checagem acusar que o robô encontra-se fora da área programada, o motor é desligado e o processo é interrompido. Este sistema, quando bem utilizado pode complementar o sistema de segurança da estação de carregamento.

5.6.4 Abrangência do modelo sugerido

A sugestão de modelo apresentada contempla o capítulo referente aos sistemas de segurança somente, devendo ser levado em consideração a totalidade dos capítulos que compõe a NR-12 para a estação esteja completamente adequada às normas vigentes. O atendimento à todos os tópicos da NR-12 garantem a segurança do trabalhador de maneira que, se considerado apenas o sistema de segurança conforme apresentado no trabalho, itens igualmente essenciais não serão atendidos e por consequência deixarão o operador expostos a outros riscos presentes na atividade de carregamento.

6 CONCLUSÃO

A medida em que a tecnologia avança, os riscos enfrentados pelos operadores tornam-se diferentes dos riscos antes considerados para estações de operação manual. Da mesma maneira, cria-se a necessidade de adaptação da norma para que atenda também as necessidades atuais da indústria de manufatura. Como este propósito a norma NR-12 passou por uma reformulação em 2010, abrangendo e detalhando inúmeras atividades que não eram contempladas na versão anterior da NR-12.

Com o objetivo de sugerir um modelo para elaboração de projetos de sistemas de segurança para estações de carregamento manual, foram analisados 3 casos existentes em montadoras que tiveram como resultado a compreensão do produto carregado pelo operador, o processo de funcionamento e o levantamento dos dispositivos de segurança aplicados. Após realizada a análise dos casos, a estação de carregamento foi categorizada com base na NBR 14153 e obteve como determinação a necessidade da instalação de um sistema de segurança que atinja a categoria de segurança 4.

A partir da definição da categoria de segurança, foram avaliados os itens da NR-12 aplicáveis às estações de carregamento que resultou em um *check-list* adaptado ao posto de trabalho estudado. Ao aplicar o *check-list* nos 3 casos analisados anteriormente, foram levantados dados quanto à conformidade do atendimento à NR-12 no quesito de sistemas de segurança e com base nos resultados, foram sugeridas medidas corretivas para a adequação dos sistemas que apresentaram não conformidades de acordo com a NR-12. As medidas corretivas recomendadas juntamente com o comparativo dos dispositivos de segurança empregados nos casos analisados serviram como fator para a elaboração da relação de dispositivos de segurança que resultaram no modelo para elaboração de projeto de sistemas de segurança em estações de carregamento manual.

Com a realização dos estudos comparativos dos casos, percebeu-se que variadas maneiras e arquiteturas de proteção podem ser aplicadas às estações de carregamento manual em células automatizadas. Também foi possível observar que a correta especificação dos dispositivos e instalação podem potencializar a proteção ou torna-la ineficaz.

Para facilitar a especificação do projeto de sistema de segurança, foi desenvolvido o presente estudo como sugestão de dimensionamento dos dispositivos de proteção para estações de carregamento. No entanto é importante reforçar que apenas o projeto do sistema de segurança por si só não é suficiente para atender os requisitos do sistema de segurança, o mesmo

deve ser complementado com a avaliação dos demais capítulos da NR-12 como manual de operação, procedimentos técnicos e organizacionais e capacitação.

REFERÊNCIAS

ABB GROUP. **ABB Review Special Report Robotics**. Zurich: ABB, 2005.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Catálogo de Normas**: Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/>>. Acesso em 10/02/2018

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5419:2015** - Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2015

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

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14152** - Segurança de máquinas – Dispositivos de comando bimanuais – Aspectos funcionais e princípios para projeto. Rio de Janeiro, 2013

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14153** - Segurança de Máquinas - Partes de sistemas de comando relacionados à segurança. Rio de Janeiro, 2013

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM – ISSO 13852**: Segurança de máquinas - distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores. Rio de Janeiro, 2013.

ALMEIDA, Carlos Alberto José de. Santos, Fábio Lobue dos. **Redes Industriais**. São Paulo: Editora Escola SENAI “Antônio Souza Noschese”, 2006.

BIANCHI, Henrique. **Riscos Existentes nos Ambientes de Soldagem em uma Indústria Metalúrgica**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba – PR, 2014.

BRASIL. NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 1:** Disposições gerais, 1978. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR1.pdf> >. Acesso em: 01 dez. 2014.

BRASIL. NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 10:** Segurança em instalações e serviços em eletricidade, 2004. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR-10-atualizada-2016.pdf>>. Acesso em 12/01/2018.

BRASIL. NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 12:** Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, 2016. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR-10-atualizada-2016.pdf>>. Acesso em 12/01/2018.

CAMPOS, Armando. Tavares, José da Cunha. Lima, Valter. **Prevenção e Controle de Riscos em Máquinas, Equipamentos e Instalações.** São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

CRAIG. John J.. **Robótica**, México: Editora: Pearson Educación de México, 2006

IRF. **Executive Summary World Robotics 2017 Industrial Robots.** Germany: IRF, 2017.

JUNIOR, Joubert Rodrigues dos Santos. **NR-12. Segurança em Máquinas e Equipamentos. Conceitos e Aplicações.** São Paulo: Editora Érica, 2015.

LUGLI, Alexandre Baratella. **Redes Industriais para Automação Industrial – AS-I, PROFIBUS e PROFINET.** São Paulo: Editora Érica, 2010.

LOPES, Ricardo Aldabó. **Sistemas de Redes Para Controle e Automação.** São Paulo: Editora Book Express, 2000.

MORAES, Juliano Renato. **Sugestão de Sistema de Segurança Conforme NR-12 em estação de trabalho robotizada.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba – PR, 2015.

NERIS, Manoel Messias. **Soldagem**. São Paulo: Editora CETEC Capacitações, 2012.

NIKU, Saeed B.. **Introdução à Robótica – Análise, Controle e Aplicação**. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos, 2011.

PETRUZELLA, Frank. **Controladores Lógicos Programáveis**. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 2014.

SALIBA, Tuffi Messias. **Curso Básico de Segurança e Higiene Ocupacional**. São Paulo: LTR Editora, 2015.

SCHMERSAL. **Indústria de material elétrico**. 2017. Disponível em: <<http://www.schmersal.net/>>. Acesso em: 13/01/2017.

SICK, Soluções em Sensores. **Chaves Eletromecânicas**. 2017. Disponível em: < https://sick-saopaulo.data.continuum.net/media/docs/6/16/516/Product_overview_Safety_Switches_en_IM0075516.PDF>. Acesso em 28/02/2018.

STEPHAN, Richard M.. **Acionamento Comando e Controle de Máquinas Elétricas**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2013.

APÊNDICE A – CHECK-LIST

	Item NR-12	Requisitos NR-12	Estação A	Estação B	Estação C
Proteção do Equipamento	12.38	As zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistema de segurança, caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados, que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores.	C	C	C
	12.38.1	A adoção de sistemas de segurança, em especial nas zonas de operação que apresentem perigo, deve considerar as características técnicas da máquina e do processo de trabalho e as medidas alternativas técnicas existentes, de modo a atingir o nível necessário de segurança previsto nesta Norma.	C	C	C
	12.39 d)	Instalação de modo que não possam ser neutralizados ou burlados;	C	C	C
	12.41	Para fins de aplicação desta Norma, considera-se proteção o elemento especificamente utilizado para prover segurança por meio de barreira física, podendo ser:			
	12.41 a)	Proteção fixa, deve ser mantida em sua posição de maneira permanente ou por meio de elementos de fixação que só permitam sua remoção ou abertura com o uso de ferramentas específicas; e	C	C	C
	12.41 b)	Proteção móvel, que pode ser aberta sem o uso de ferramentas, geralmente ligada por elementos mecânicos à estrutura da máquina ou a um elemento fixo próximo, e deve ser associar a dispositivos de intertravamento.	C	C	C
	12.42 b)	Dispositivos de intertravamento: chaves de segurança eletromecânicas, magnéticas e eletrônicas	C	C	C

		codificadas, optoeletrônicas, sensores indutivos de segurança e outros dispositivos de segurança que possuem a finalidade de impedir o funcionamento de elementos da máquina sob condições específicas;			
Proteção do Equipamento	12.44	A proteção deve ser móvel quando o acesso à uma zona de perigo for requerido uma ou mais vezes por turno e trabalho, observando-se que:			
	12.44 a)	A proteção deve ser associada a um dispositivo de intertravamento quando sua abertura não possibilitar o acesso à zona de perigo antes da eliminação do risco; e	C	C	C
	12.44 b)	A proteção deve ser associada a um dispositivo de intertravamento com bloqueio quando sua abertura possibilitar o acesso à zona de perigo antes da eliminação do risco.	C	C	C
	12.45	As máquinas e equipamentos dotados de proteções móveis associadas a dispositivos de intertravamento devem:			
	12.45 a)	Operar somente quando as proteções estiverem fechadas.	C	C	C
	12.45 b)	Paralisar suas funções perigosas quando as proteções forem abertas durante a operação; e	C	C	C
	12.45 c)	Garantir que o fechamento as proteções por si só não possam dar início às funções perigosas.	C	C	C
	12.46	Os dispositivos de intertravamento com bloqueio associado às proteções móveis das máquinas e equipamentos devem:			
	12.46 a)	Permitir a operação somente quando a proteção estiver fechada e bloqueada;	C	C	C
	12.46 b)	Manter a proteção fechada e bloqueada até que tenha sido eliminado o risco de lesão devido às funções perigosas da máquina ou do equipamento; e	C	C	C

Proteção do Equipamento	12.46 c)	Garantir que o fechamento e bloqueio da proteção por si só não possa dar início às funções perigosas da máquina ou do equipamento.	C	C	C
	12.49	As proteções devem ser projetadas e construídas e de modo a atender aos seguintes requisitos de segurança:			
	12.49 a)	Cumprir suas funções apropriadamente durante a vida útil da máquina ou possibilitar a reposição de partes deterioradas ou danificadas;	C	C	C
	12.49 b)	Cumprir suas funções apropriadamente durante a vida útil da máquina ou possibilitar a reposição de partes deterioradas ou danificadas;	C	C	C
	12.49 c)	Fixação firme e garantia de estabilidade resistência mecânica compatíveis com os esforços requeridos;	C	C	C
	12.39 d)	Não criar pontos de esmagamento ou agarramento com partes da máquina ou com outras proteções;	C	C	C
	12.49 e)	Não possuir extremidades ou arestas cortantes ou outras saliências perigosas;	C	C	C
	12.49 f)	Resistir às condições ambientais do local onde estão instaladas;	C	C	C
	12.49 g)	Impedir que possam ser burladas;	C	C	NC
	12.49 h)	Proporcionar condições de higiene e limpeza;	C	C	C
	12.49 i)	Impedir o acesso à zona de perigo;	C	C	C
	12.49 j)	Ter seus dispositivos de intertravamento protegidos adequadamente contra sujidade, poeiras e corrosão, se necessário;	C	C	C
	12.49 k)	Ter ação positiva, ou seja, atuação de modo positivo; e	C	C	C
	12.49 l)	Não acarretar riscos adicionais.	C	C	C
12.52	As proteções também utilizadas como meio de acesso por exigência das características ou do	C	C	C	

		equipamento devem atender aos requisitos de resistência e segurança adequados a ambas as finalidades.			
	12.54	As proteções, dispositivos e sistemas de segurança devem integrar as máquinas e equipamentos, e não podem ser considerados itens opcionais para qualquer fim.	C	C	C

	Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
Sensores de segurança	12.42 c)	Sensores de segurança: dispositivos detectores de presença mecânicos e não mecânicos, que atuam quando uma pessoa ou parte do seu corpo adentra a zona de detecção, enviando um sinal para interromper ou impedir o início de funções perigosas, como cortinas de luz, detectores de presença optoeletrônicos, laser de múltiplos feixes, barreiras ópticas, monitores de área, ou scanners, batentes, tapetes e sensores de posição;	C	C	C
	12.50	Quando a proteção for confeccionada com material descontínuo, deve ser observada as distâncias de segurança para impedir o acesso às zonas de perigo, conforme previsto no Anexo I, item A.	C	C	C
	12.51	Sempre que forem utilizados sistemas de segurança, inclusive proteções distantes, com possibilidade de alguma pessoa ficar na zona de perigo, deve ser adotada uma das seguintes medidas adicionais de proteção coletiva para impedir a partida da máquina enquanto houver pessoas nessa zona:			

Sensores de segurança	12.51 a)	Sensoriamento de presença de pessoas	C	C	C
	12.51 b)	Proteções móveis ou sensores de segurança na entrada ou acesso à zona de perigo, associadas a rearme (“reset”) manual.	C	C	C
	12.51.1	A localização dos atuadores de rearme (“reset”) manual deve permitir uma visão completa da zona protegida pelo sistema.	C	C	C

	Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
Categoria de Comando	12.39	Os sistemas de segurança devem ser selecionados e instalados de modo a atender aos seguintes requisitos:			
	12.39 a)	Ter categoria de segurança conforme prévia análise de riscos prevista nas normas técnicas oficiais vigentes;	NC	C	NC
	12.39 c)	Possuir conformidade técnica com o sistema de comando a que são integrados;	C	C	C
	12.39 e)	Manterem-se sob vigilância automática, ou seja, monitoramento de acordo com a categoria de segurança requerida, exceto para dispositivos exclusivamente mecânicos; e	C	C	C
	12.39 f)	Paralisação dos movimentos perigosos e demais riscos quando ocorrerem falhas ou situações anormais de trabalho.	C	C	C

Categoria de Comando	12.40	Os sistemas de segurança, se indicado pela apreciação de riscos, devem exigir rearme (“reset”) manual.	C	C	C
	12.40.1	Depois que um comando de parada tiver sido iniciado pelo sistema de segurança, a condição de parada deve ser mantida até que existam condições seguras para o rearme.	C	C	C

	Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
Sistema Pneumático	12.42	Para fins de aplicação desta Norma, consideram-se dispositivos de segurança os componentes que, por si só ou interligados ou associados às proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde, sendo classificados em:			
	12.42 d)	Válvulas e blocos de segurança ou sistemas pneumáticos e hidráulicos de mesma eficácia;	C	C	C
	12.42 e)	Dispositivos mecânicos, como: dispositivos de retenção, limitadores, separadores, empurradores, inibidores, defletores e retráteis; e	C	C	C
	12.43	Os componentes relacionados ao sistema de segurança e comandos de acionamentos e parada das máquinas, inclusive de emergência, devem garantir a manutenção do estado seguro da máquina ou equipamento quando ocorrem flutuações no nível de energia além dos limites considerados no projeto, incluindo o corte e reabastecimento do fornecimento de energia.	C	C	C

	Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
Interface de Segurança	12.42	Para fins de aplicação desta Norma, consideram-se dispositivos de segurança os componentes que, por si só ou interligados ou associados às proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde, sendo classificados em:			
	12.42 a)	Comandos elétricos ou interfaces de segurança: dispositivos responsáveis por realizar o monitoramento, que verificam a interligação, posição e funcionamento de outros dispositivos do sistema e impedem a ocorrência de falha que provoque a perda da função de segurança, como relés de segurança, como relés de segurança, controladores configuráveis de segurança e controlador lógico programável – CLP de segurança;	C	C	C
	12.42 f)	Dispositivos de validação: dispositivos suplementares de comando operados manualmente, que quando aplicados de modo permanente, habilitam o dispositivo de acionamento como chaves seletoras bloqueáveis e dispositivos bloqueáveis.	C	C	C

	Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
Diagrama de Seg.	12.55	Em função do risco, poderá ser exigido projeto, diagrama ou representações esquemáticas do sistema de segurança, com respectivas especificações técnicas em língua portuguesa.	C	NC	C

	Item NR-12	Requisitos NR-12	Caso A	Caso B	Caso C
Responsabilidade Técnica	12.39 b)	Estar sob a responsabilidade técnica de um profissional legalmente habilitado;	C	C	NC
	12.55.1	Quando a máquina não possuir a documentação técnica exigida, o proprietário deve construí-la sob a responsabilidade de um profissional legalmente habilitado e com respectiva anotação de Responsabilidade Técnica do Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura - ART/CREA.	NC	NC	NC

APÊNDICE B – Cálculo de Distância Mínima Aplicado à Estação de Carregamento A

O Anexo 1, B, da NR-12 estabelece o cálculo da distância de segurança para utilização de barreiras de luz conforme apresentada na fórmula 1. A partir dela é possível definir a distância em que a barreira deverá ser instalada.

$$S = (K \times T) + C \quad (1)$$

Onde:

S: é a mínima distância em milímetros, da zona de perigo até o ponto, linha ou plano de detecção;

K: é um parâmetro em milímetros por segundo, derivado dos dados de velocidade de aproximação do corpo ou partes do corpo;

T: é a performance de parada de todo o sistema - tempo de resposta total em segundos;

C: é a distância adicional em milímetros, baseada na intrusão contra a zona de perigo antes da atuação do dispositivo de proteção.

Conforme apresentado no Anexo, o valor de K é igual a 1600mm/s já que a barreira será instalada verticalmente. Para calcular a distância adicional C, utiliza-se o dado da capacidade de detecção do equipamento contida no manual do fabricante e define-se o valor de C igual a 130mm, uma vez que a capacidade de detecção é de 30mm.

Capacidade de Detecção (mm)	Distância Adicional C (mm)
< 14	0
> 14 20	80
> 20 30	130
> 30 40	240
> 40	850

Quadro 10 – Distância adicional C – Estação A
Fonte: ABNT (2015).

Para calcular o tempo total de resposta do sistema completo, deve-se utilizar a fórmula 2, onde:

Ts = Tempo de resposta de parada do equipamento: 250ms

Tc = Tempo de resposta do circuito de controle (processamento PLC): 150ms

Tr = Tempo de resposta do dispositivo de segurança (tempo detecção cortinas e scanners): 20ms

$$T = Ts + Tc + Tr \quad (2)$$

Resultando em um tempo de resposta total de 420ms

Ao inserir os dados na fórmula 1, temos que:

$$S=(1600 \text{ mm/s} *0,42)+130$$

$$S= 802\text{mm}$$

Logo, a distância mínima entre a mesa de carregamento e a cortina de luz é de 802mm.

APÊNDICE C – CÁLCULO DE DISTÂNCIA MÍNIMA APLICADO À ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO B

O Anexo 1, B, da NR-12 estabelece o cálculo da distância de segurança para utilização de barreiras de luz conforme apresentada na fórmula 1. A partir dela é possível definir a distância em que a barreira deverá ser instalada.

$$S = (K \times T) + C \quad (1)$$

Onde:

S: é a mínima distância em milímetros, da zona de perigo até o ponto, linha ou plano de detecção;

K: é um parâmetro em milímetros por segundo, derivado dos dados de velocidade de aproximação do corpo ou partes do corpo;

T: é a performance de parada de todo o sistema - tempo de resposta total em segundos;

C: é a distância adicional em milímetros, baseada na intrusão contra a zona de perigo antes da atuação do dispositivo de proteção.

Conforme apresentado no Anexo, o valor de K é igual a 1600mm/s já que a barreira será instalada verticalmente. Para calcular a distância adicional C, utiliza-se o dado da capacidade de detecção do equipamento contida no manual do fabricante e define-se o valor de C igual a 130mm, uma vez que a capacidade de detecção é de 30 mm.

Capacidade de Detecção (mm)	Distância Adicional C (mm)
< 14	0
> 14 20	80
> 20 30	130
> 30 40	240
> 40	850

Quadro 11 – Distância adicional C – Estação B
Fonte: ABNT (2015).

Para calcular o tempo total de resposta do sistema completo, deve-se utilizar a fórmula 2, onde:

Ts = Tempo de resposta de parada do equipamento: 200ms

Tc = Tempo de resposta do circuito de controle (processamento PLC): 150ms

Tr = Tempo de resposta do dispositivo de segurança (tempo detecção cortinas e scanners): 40ms

$$T = T_s + T_c + T_r \quad (2)$$

Resultando em um tempo de resposta total de 390ms

Ao inserir os dados na fórmula 1, temos que:

$$S = (1600 \text{ mm/s} * 0,39) + 130$$

$$S = 754 \text{ mm}$$

Logo, a distância mínima entre a mesa de carregamento e a cortina de luz é de 754mm.

ANEXO I - Distâncias de Segurança e Requisitos para o Uso de Detectores de Presença Optoeletrônicos

A) Distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo quando utilizada barreira física.

QUADRO I

Distancias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores. (dimensões em milímetro - mm)

Parte do corpo	Ilustração	Abertura	Distância de segurança s_r		
			fenda	quadrado	circular
Ponta do dedo		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 5$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Dedo até articulação com a mão		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 60	≥ 25	≥ 20
		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 60	≥ 60
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^{11}$	≥ 120	≥ 120
Braço até junção com o ombro		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

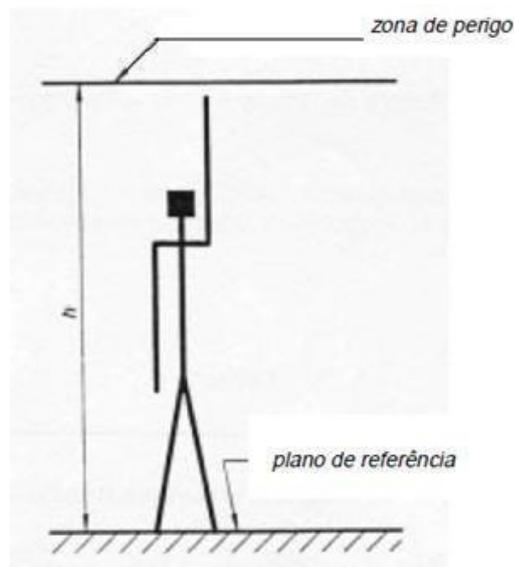
¹¹ Se o comprimento da abertura em forma de fenda, $e \leq 65$ mm, o polegar atuará como um limitador e a distância de segurança poderá ser reduzida para 200 mm.

Fonte: ABNT NBRNM-ISO 13852 – Segurança de Máquinas – Distancias de segurança para impedir o acesso a zona de perigo pelos membros superiores.

- 1) Estruturas de proteção com altura inferior que 1000mm (mil milímetros) não estão incluídas por não restringirem suficientemente o acesso do corpo.
 - 2) Estruturas de proteção com altura menor que 1400 mm (mil e quatrocentos milímetros), não devem ser usadas sem medidas adicionais de segurança.
 - 3) Para zonas de perigo com altura superior a 2700mm, (dois mil e setecentos milímetros) ver figura 2.
- Não devem ser feitas interpolações dos valores desse quadro; conseqüentemente, quando os valores conhecidos de “a”, “b” ou “c” estiverem entre dois valores do quadro, os valores a serem utilizados serão os que proporcionarem maior segurança.

Fonte: ABNT NBR NM-ISO 13852:2003 - Segurança de Máquinas - Distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores.

Figura 2 - Alcance das zonas de perigo superiores



Legenda:

h: a altura da zona de perigo.

Se a zona de perigo oferece baixo risco, deve-se situar a uma altura “h” igual ou superior a 2500 mm (dois mil e quinhentos milímetros) para que não necessite proteções.

Se existe um alto risco na zona de perigo:

- a altura “h” da zona de perigo deve ser no mínimo, de 2700mm (dois mil e setecentos milímetros), ou
- devem ser utilizadas outras medidas de segurança.

Fonte: ABNT NBR NM-ISO 12852:2003 – Segurança de Máquinas – Distancia de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores.

QUADRO III

Alcance ao redor - movimentos fundamentais (dimensões em mm)

<u>Limitação do movimento</u>	<u>Distância de segurança sr</u>	<u>Ilustração</u>
Limitação do movimento apenas no ombro e axila	≥ 850	
Braço apoiado até o cotovelo	≥ 550	
Braço apoiado até o punho	≥ 230	
Braço e mão apoiados até a articulação dos dedos	≥ 130	

A: faixa de movimento do braço
1) diâmetro de uma abertura circular, lado de uma abertura quadrada ou largura de uma abertura em forma de fenda.

Fonte: ABNT NBRNM-ISO 13852 – Segurança de Máquinas – Distância de segurança para impedir o acesso a zona de perigo pelos membros superiores.

B) Cálculo das distâncias mínimas de segurança para instalação de detectores de presença optoeletrônicos - ESPS usando cortina de luz - AOPD.

1. A distância mínima na qual ESPS usando cortina de luz – AOPD deve ser posicionado em relação à zona de perigo, observará o cálculo de acordo com a norma ISSO 13855. Para uma aproximação perpendicular a ser calculada de acordo com a fórmula geral apresentada na seção 5 da ISO 13855, a saber:

$S = (K \times T) + C$ Onde:

S: é a mínima distância em milímetros, da zona de perigo até o ponto, linha ou plano de detecção;

K: é um parâmetro em milímetros por segundo, derivado dos dados de velocidade de aproximação do corpo ou partes do corpo;

T: é a performance de parada de todo o sistema - tempo de resposta total em segundos;

C: é a distância adicional em milímetros, baseada na intrusão contra a zona de perigo antes da atuação do dispositivo de proteção.

1.1. A fim de determinar K, uma velocidade de aproximação de 1600mm/s (mil e seiscentos milímetro por segundo) deve ser usada para cortina de luz dispostas horizontalmente. Para cortinas dispostas verticalmente, deve ser usada uma velocidade de aproximação de 2000mm/s (dois mil milímetros por segundo) se a distância mínima for igual ou menor que 500mm (quinhentos milímetros). Uma velocidade de aproximação de 1600mm/s (mil e seiscentos milímetros por velocidade de aproximação de 1600 mm/s (mil e seiscentos milímetros por segundo) pode ser usada se a distância mínima for maior que 500mm (quinhentos milímetros).

1.2. As cortinas devem ser instaladas de forma que sua área de detecção cubra o acesso à zona de risco, com o cuidado de não oferecer espaços de zona morta, ou seja, espaço entre a cortina e o corpo da máquina onde pode permanecer um operador sem ser detectado.

1.3. Em respeito à capacidade de detecção da cortina de luz, deve ser usada pelo menos a distância adicional C no quadro IV quando se calcula a mínima distância S.

QUADRO IV - Distância adicional C

Capacidade de Detecção mm	Distância Adicional C Mm
14	0
> 14 20	80
> 20 30	130
> 30 40	240
> 40	850

1.4. Outras características de instalação de cortina de luz, tais como aproximação paralela, aproximação em ângulo e equipamentos de duas posições devem atender as condições específicas previstas na norma ISO 13855. A aplicação de cortina de luz em dobradeiras hidráulicas deve atender à norma EN 12622

Fonte: ISO 13855 - Safety of machinery - The positioning of protective equipment in respect of approach speeds of parts of the human body.

C) Requisitos para uso de sistemas de segurança de detecção multizona - AOPD multizona em dobradeiras hidráulicas. (Item "C" alterado pela [Portaria MTB 873/2017](#))

1. As dobradeiras hidráulicas podem possuir AOPD multizona desde que acompanhado de procedimento de trabalho detalhado que atenda à EN12622 e os testes previstos conforme as recomendações do fabricante.

1.1. Os testes devem ser realizados a cada troca de ferramenta ou qualquer manutenção, e ser realizados pelo operador a cada início de turno de trabalho ou afastamento prolongado da máquina.

2. Nas dobradeiras hidráulicas providas de AOPD multizona que utilizem pedal para acionamento de descida, este deve ser de segurança e possuir as seguintes posições:

a) 1ª (primeira) posição = parar;

b) 2ª (segunda) posição = operar; e

c) 3ª (terceira) posição = parar em caso de emergência.

2.1. A abertura da ferramenta pode ser ativada, desde que controlado o risco de queda do produto em processo, com o acionamento do pedal para a 3ª (terceira) posição ou liberando-o para a 1ª (primeira) posição.

2.2. Após o acionamento do pedal até a 3ª (terceira) posição, o reinício somente será possível com seu retorno para a 1ª (primeira) posição. A 3ª (terceira) posição só pode ser acionada passando por um ponto de pressão; a força requerida não deve exceder 350 N (trezentos e cinquenta Newtons).