

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM
ENGENHARIA DE SEGURANÇA NO TRABALHO**

RAFAEL MICHEL

**NORMA REGULAMENTADORA 12:
Aplicação em célula robotizada de paletização**

**Porto Alegre
2020**

RAFAEL MICHEL

**NORMA REGULAMENTADORA 12:
Aplicação em célula robotizada de paletização**

Artigo apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Segurança no Trabalho, pelo Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Me. Ricardo Lecke

Porto Alegre
2020

NORMA REGULAMENTADORA 12: Aplicação em célula robotizada de paletização

Rafael Michel*

Ricardo Lecke**

Resumo: Indústrias com riscos potenciais em seus processos produtivos requerem atenção e foco no trabalho por parte dos operadores quanto à prevenção e ao combate de acidentes de trabalho. O empregador, por um lado, é responsável pela segurança de seus empregados. Por outro lado, normas técnicas estabelecem as diretrizes mínimas e essenciais de segurança e saúde para uso de máquinas e equipamentos. Nesse contexto, este trabalho apresenta um estudo de caso de aplicação da Norma Regulamentadora nº 12 e demais normas aplicáveis a uma célula robotizada projetada para realizar, de forma automática, o empilhamento de caixas de produtos sobre palete. Neste estudo de caso, após a identificação dos perigos, foram estabelecidos os requisitos para o nível de segurança necessário às funções de segurança, bem como a especificação das principais medidas de segurança aplicáveis. O projeto do sistema de segurança leva em consideração o uso de dispositivos de proteção mecânica e de equipamentos de proteção eletrossensíveis dimensionados e instalados de acordo com as principais normas técnicas aplicáveis.

Palavras-chave: Norma Regulamentadora 12. Sistemas robóticos. Funções de segurança.

Abstract: Industries with potential risks in their production processes generally require attention and focus on work by operators when preventing and fighting occupational accidents. Meanwhile, the employer is responsible for the safety of its employees. On the other hand, technical standards establish the minimum and essential safety and health guidelines for the use of machinery and equipment. In this context, this work presents a case study of the application of Regulatory Standard 12 and other standards applicable to a robotic cell designed to automatically stack product boxes above a pallet. In this case study after the identification of hazards, the requirements for the level of security necessary for the safety functions were established, as well as the specification of the main applicable safety measures. The design of the safety system takes into account the use of mechanical protection devices and electro-sensitive protective equipment dimensioned and installed in accordance with the main applicable technical standards.

Keywords: Regulatory Standard 12. Robotic systems. Security functions.

* Graduado em Engenharia Elétrica, Engenharia da Computação, Especialização em Gerenciamento de Projetos e aluno do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade do Vale do Rio dos Sinos – rafaelmichel@gmail.com.

** Professor do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – leckericardo@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os diversos tipos de máquinas presentes na indústria, a utilização de sistemas automatizados com uso de robôs industriais é crescente. Verifica-se que é possível automatizar grande parte das tarefas, muitas das quais realizadas manualmente por operadores, por meio da implementação dessa tecnologia, obtendo redução de custos, aumento de produtividade e, algumas vezes, ainda resolvendo certos problemas de ergonomia associados aos trabalhos manuais.

Na medida em que aumenta o número de tarefas executadas por sistemas automatizados, aumentam também os investimentos necessários para garantir a segurança e a proteção dos trabalhadores que tenham alguma interface operacional com esses sistemas.

De acordo com a Sick (2015), os requisitos para a proteção de máquinas vêm sendo alterados de forma cada vez mais significativa e rápida devido ao avanço da tecnologia de automação. Sendo assim, no presente trabalho, serão apresentadas propostas de medidas de segurança, utilizando os princípios descritos na Norma Regulamentadora nº 12 (NR12) e aplicáveis a uma célula robotizada desenvolvida com o propósito de automatizar a atividade de montagem de caixas de produtos sobre paletes, denominada, neste trabalho, como célula robotizada de paletização.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Hierarquia e diferentes tipos de normas

No Brasil, atualmente existem 37 normas regulamentadoras para a área de segurança de máquinas e equipamentos (ENIT, 2020?); e podemos considerar a NR12 como uma das mais importantes fontes de referência. Essa norma define referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos.

Além das referências técnicas e princípios citados na NR12 (BRASIL, 1978), também existem diversas normas brasileiras, como as da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e internacionais, como, por exemplo, as normas da

Organização Internacional de Normalização (ISO) e da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), dentre outras.

Segundo a NBR ISO 12100 (ABNT, 2013a), as normas de segurança no domínio das máquinas são estruturadas por classificação em três tipos distintos:

a) as normas do tipo A (normas fundamentais de segurança), que definem com rigor conceitos fundamentais, princípios de concepção e aspectos gerais válidos para todos os tipos de máquinas;

b) as normas do tipo B (normas de segurança relativas a um grupo), que tratam de um aspecto ou de um tipo de dispositivo condicionador de segurança, aplicáveis a uma gama extensa de máquinas, sendo:

- as normas do tipo B1 sobre aspectos particulares de segurança (por exemplo, distâncias de segurança, temperatura de superfície, ruído); e
- as normas do tipo B2 sobre dispositivos condicionadores de segurança (por exemplo, comandos bimanuais, dispositivos de intertravamento, dispositivos sensíveis à pressão, proteções);

c) as normas do tipo C (normas de segurança por categoria de máquinas), que dão prescrições detalhadas de segurança aplicáveis a uma máquina em particular ou a um grupo de máquinas.

Também observamos que, segundo a NBR ISO 12100 (ABNT, 2013, p. 1), quando uma norma do tipo C deriva em uma ou mais disposições tratadas por esta norma ou por uma norma do tipo B, a norma do tipo C tem precedência.

2.2 Avaliação de riscos

Para a determinação de perigos de uma máquina ou equipamento para posterior desenvolvimento das medidas de proteção adequadas, a NR12 faz menção ao uso da metodologia descrita na NBR ISO 12100, “Segurança de máquinas – princípios gerais de projeto – avaliação e redução de riscos” (ABNT, 2013a).

De acordo com a NBR ISO 12100 (ABNT, 2013a), a avaliação de riscos é um processo composto por uma série de etapas que permite, de forma sistemática, analisar e avaliar os riscos associados à máquina. Essas etapas descritas compreendem a determinação dos limites da máquina, a identificação dos perigos, a estimativa de riscos e a avaliação dos riscos.

2.2.1 Determinação dos limites da máquina

O processo de determinação dos limites da máquina consiste em identificar funcionalidades da máquina. De acordo com a NBR ISO 12100 (ABNT, 2013a), neste processo, será necessário o levantamento de dados, a exemplo, mas não limitados a estes, dos citados abaixo:

- identificação dos limites espaciais da máquina;
- tipo de produto e materiais que serão fabricados;
- funcionalidade operacionais pretendidos;
- identificação do número de pessoas que vão participar do processo;
- vida útil planejada para a máquina.

2.2.2 Identificação dos perigos

A etapa de identificação dos perigos consiste na identificação das situações de perigo e/ou de eventos potencialmente perigosos. Para facilitar o desenvolvimento das apreciações de risco, na NBR ISO 12100 (ABNT, 2013a) estão descritos alguns exemplos de perigos e situações perigosas para auxiliarem na conceitualização desses termos e na identificação dos mesmos.

2.2.3 Estimativa e avaliação dos riscos

A etapa de estimativa de riscos deve ser feita para cada situação de perigo identificada na etapa anterior e, de acordo com a NBR ISO 12100 (ABNT, 2013a, p. 18), deve ser realizada por meio da determinação dos seguintes elementos de riscos:

- a) a gravidade do dano;
- b) a probabilidade de ocorrência desse dano, que pode se dar em função
 - 1) da exposição de pessoa(s) ao perigo,
 - 2) da ocorrência de eventos perigosos, e
 - 3) das possibilidades técnicas de se evitarem ou limitarem os danos.

De acordo com a NBR ISO TR 14121-2 (ABNT, 2018b), existem muitos métodos e ferramentas acessíveis para esse objetivo, e a escolha da ferramenta ou do método será em grande parte uma questão de preferência da indústria, da empresa ou de preferências pessoais. A escolha do método ou ferramenta específica é menos importante do que o processo em si.

Uma metodologia muito utilizada atualmente é o *Hazard Rating Number* (HRN). Essa metodologia veio a público pela primeira vez no Reino Unido, em 1990, publicada na revista *Safety and Health Practitioner*.

Esse método quantifica valores para riscos específicos, numa escala de maior para menor, sendo eles de risco inaceitável a insignificante. Este valor é obtido através da multiplicação de quatro variáveis:

- Pr – probabilidade de ocorrência do dano;
- Fr – frequência de exposição ao risco;
- Se – severidade do dano;
- Np – número de pessoas expostas ao risco.

Segundo essa metodologia, para cada variável se atribuem valores específicos; e, de acordo com cada situação, a estimativa de risco vem da multiplicação dos valores definidos para cada uma das variáveis, conforme a equação (1), de estimativa de risco, a seguir:

$$\text{HRN} = \text{Pr} \times \text{Fr} \times \text{Se} \times \text{Np} \quad (1)$$

Em relação à severidade do dano, a metodologia utiliza as variáveis do Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 – Valores relacionados à severidade do dano

GRAU DA POSSÍVEL LESÃO	Se
Morte	15
Perda de 2 membros/olhos ou doença grave (irreversível)	8
Perda de 1 membro/olho ou doença grave (temporária)	4
Fratura – ossos importantes ou doença leve (permanente)	2
Fratura – ossos menores ou doença leve (temporária)	1
Laceração/Efeito leve de saúde	0,5
Arranhão/Contusão	0,1

Fonte: Brasil (2015).

Em relação à frequência de exposição ao risco, a metodologia utiliza as variáveis do Quadro 2:

Quadro 2 – Valores relacionados à frequência de exposição

FREQUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO	Fr
Constantemente	5
Horário	4
Diariamente	2,5
Semanal	1,5
Mensal	1
Anual	0,2
Raramente	0,1

Fonte: Brasil (2015).

Em relação à probabilidade de ocorrência do dano, as variáveis estão descritas no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores relacionados à probabilidade de ocorrência do dano

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA	Pr
Certamente	15
Esperado	10
Provável	8
Alguma chance	5
Possível	2
Não esperado	1
Impossível	0,03

Fonte: Brasil (2015).

E, em relação ao número de pessoas expostas, as variáveis estão descritas no Quadro 4.

Quadro 4 – Valores relacionados ao número de pessoas expostas ao risco.

NÚMERO DE PESSOAS EXPOSTAS	Np
Mais de 50 pessoas	12
16 a 50 pessoas	8
8 a 15 pessoas	4
3 a 7 pessoas	2
1 a 2 pessoas	1

Fonte: Brasil (2015).

De posse de todas essas variáveis e feita a multiplicação das mesmas, é possível se obter o valor de HRN para o risco em questão, assim como a ação requerida, conforme segue o Quadro 5 a seguir.

Quadro 5 – Valores de HRN com classificação de risco, descrição e ação prevista

HRN	Risco	Descrição	Ação
0 a 5	Insignificante	Oferece um risco muito baixo para a segurança e saúde.	Nenhuma ação requerida
5 a 50	Baixo, porém significativo	Contém riscos necessários para a implementação de medidas de controle e segurança.	Melhoria recomendada
50 a 500	Alto	Oferece possíveis riscos, necessitam que sejam utilizadas medidas de controle de segurança urgentemente.	Necessária ação de melhoria
500 ou mais	Inaceitável	É inaceitável manter a operação do equipamento na situação que se encontra.	Necessária ação de melhoria

Fonte: Brasil (2015).

Para cada risco, é sugerida uma interpretação de ação requerida:

- Risco Baixo: são recomendados treinamento, utilização de EPI (Equipamento de Proteção Individual) e procedimentos de trabalho.
- Risco Alto: é necessário instalar medidas de controle adicionais ao sistema da máquina, preferencialmente em até 6 meses.
- Risco Inaceitável: a operação da máquina deve ser interrompida, e medidas de controle devem ser adotadas imediatamente.

2.3 Medidas de proteção técnica

As zonas de perigo, de acordo com a NR12 (BRASIL, 1978), devem possuir mecanismos para garantir a segurança dos trabalhadores, podendo ser dispositivos de proteção mecânica fixos ou móveis, equipamentos de proteção eletrossensitivos (ESPE), dispositivos de comando bimanual, monitoramento seguro da posição, rotação, velocidade, tapetes de segurança, pedais de comando dentre outros e medidas de proteções adicionais tais quais dispositivos de parada de emergência.

O projeto do sistema de segurança deve atender o nível de segurança indicado na apreciação de risco da máquina, o que exige a correta seleção e instalação de cada um dos dispositivos de segurança.

2.3.1 Dispositivos de proteção mecânica fixos ou móveis

Os dispositivos de proteção mecânica impedem ou evitam o acesso de partes do corpo a zonas de perigo e/ou reter também emissões e ejeções de materiais. Além da NR12, as normas ISO 13857 (2019) e ISO 14120 (2015b) determinam em conjunto vários conceitos que devem ser levados em consideração no projeto destes

dispositivos, tais como altura das proteções, tipo de malha das proteções *versus* distância em relação ao ponto de perigo, robustez e forma de fixação das proteções a fim de evitar a bula etc.

Figura 1 – Proteção mecânica física fixa



Fonte: Satech [2020?].

Figura 2 – Proteção mecânica física móvel



Fonte: Satech [2020?].

2.3.2 Equipamentos de proteção eletrossensitivos (ESPE)

Os equipamentos de proteção eletrossensitivos são capazes de identificar a presença de pessoas através de princípios ópticos, em que os equipamentos mais comuns em aplicações de segurança de máquinas são a cortina de luz e os *scanners* de segurança. Além da NR12, a NBR 13855 (ABNT, 2013b) determina alguns conceitos para a correta seleção e a instalação desses dispositivos. Características como altura da cortina de luz, distância mínima para instalação em relação ao ponto de risco, altura da instalação do feixe do *scanner*, tamanho da área

de monitoramento do *scanner* são algumas das variáveis que devem ser levadas em consideração na hora de projetar sistemas utilizando esses dispositivos.

Figura 3 – Cortina de luz de segurança



Fonte: Weg [2020?].

Figura 4 – Scanner de segurança



Fonte: Allen-Bradley [2020?].

2.3.3 Monitoramento seguro da posição, rotação, velocidade

Em alguns casos, a apreciação de riscos pode levar à conclusão de que determinados parâmetros da máquina devem ser monitorados. Para monitoramento seguro de posição, sensores de segurança ou chaves de posição podem ser utilizados para evitar que partes móveis de uma máquina ultrapassem ou saiam de determinada posição.

Já para o monitoramento seguro de rotação e de velocidade uma recomendação é o uso de *encoders* de segurança.

Figura 5 – *Encoder* de segurança

Fonte: Sick [2020a?].

Figura 6 – Sensores de segurança



Fonte: Sensor [2020?].

2.3.4 Dispositivos de parada de emergência

De acordo com NR12 (BRASIL, 1987), as máquinas devem ser equipadas com um ou mais dispositivos de parada de emergência. O dispositivo de parada de emergência é considerado uma medida de proteção complementar a medidas de redução de risco necessárias para a aplicação.

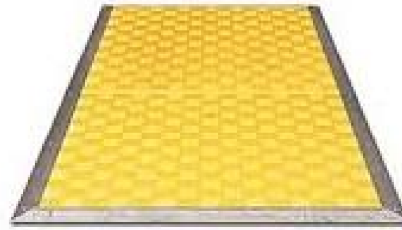
De acordo com a ISO 13850 (2015a), os dispositivos de parada de emergência podem ser botões de apertar, cordas de emergência entre outros. Essa mesma norma especifica vários princípios de construção e funcionamento para os dispositivos de parada de emergência.

2.3.6 Equipamentos de proteção sensíveis à pressão

De acordo com a SICK (2015), em algumas aplicações os dispositivos de proteção sensíveis à pressão podem ser úteis. Esse tipo de dispositivo é projetado para detectar a presença de pessoas na sua superfície de detecção.

Na norma ISO 13856 (2013), é possível encontrar requisitos para a correta especificação deste tipo de dispositivo de proteção.

Figura 7 – Dispositivo de proteção sensível à pressão



Fonte: Jav [2020?].

2.3.7 Dispositivos de comando bimanual

Os dispositivos de comando bimanual são dispositivos de proteção que visam a manter as mãos do operador fora da zona de perigo durante o acionamento. Assim como os demais dispositivos de proteção, a correta aplicação dos mesmos deve atender a alguns requisitos mínimos. Os requisitos aplicáveis aos dispositivos de comando bimanual podem ser encontrados na norma ISO 13851 (2019).

Figura 8 – Dispositivo de comando bimanual



Fonte: Schmersal [2020?].

2.3.8 Distâncias de segurança

De acordo com a ABNT 13855 (2013b), quando são utilizados proteções de segurança que usam equipamento de proteção eletrossensitivo, equipamentos de proteção sensíveis à pressão, dispositivos de comando bimanual e/ou proteções físicas intertravadas sem bloqueio, um cálculo da distância mínima deve ser feito, levando em consideração cada tipo de proteção e possíveis contornos. A distância mínima para a zona de perigo deve ser calculada usando a equação (2).

$$S = (K \times T) + C \quad (2)$$

Onde:

S é a distância mínima, em milímetros (mm);

K é um parâmetro, em milímetros por segundo (mm/s), derivado a partir de dados sobre a velocidade de aproximação do corpo ou partes do corpo;

T é o tempo total de parada do sistema, em segundos (s);

C é a distância de invasão, em milímetros (mm), que depende do tipo de dispositivo de segurança utilizado e da forma como o mesmo é instalado.

Ainda, de acordo com ABNT 13855 (2013b), o tempo total de parada do sistema (T) é oriundo da equação (3).

$$T = t_1 + t_2 \quad (3)$$

Onde:

t1 é o tempo máximo entre a atuação da proteção de segurança e a comutação do sinal de saída do dispositivo de proteção para o estado desligado;

t2 é o tempo de resposta máximo da máquina, ou seja, o tempo requerido para parar a máquina ou remover os riscos após receber o sinal de saída do dispositivo de proteção.

Cabe ressaltar que t1 e t2 são influenciados por vários fatores, por exemplo, temperatura, tempo de comutação de válvulas, contadores, relés, desgaste de componentes. Na norma ABNT 13855 (2013b), também é possível encontrar diversos exemplos práticos para auxiliar na especificação da distância mínima de segurança requerida para os mais variados tipos de aplicação.

2.3.8 Controlador lógico programável ou relé de segurança

Dependendo do nível de segurança requerido para a aplicação, os sinais dos dispositivos de proteção não podem ser processados por comandos convencionais e nestes casos é necessária a utilização de controladores lógicos programáveis ou relés de segurança que atendam os níveis de confiabilidade necessária.

Figura 9 – Controlador lógico programável de segurança



Fonte: Sick [2020b?].

2.3.9 Elementos de comutação da potência

A função de segurança inicializada pelos dispositivos de proteção e processada pelo controlador lógico deve parar os movimentos perigosos. Para isso, geralmente os elementos de acionamento ou de trabalho são desligados através de elementos que controlam a potência.

Esses dispositivos que controlam a potência normalmente são realizados através de contadores, *drivers* de acionamento, blocos e válvulas pneumáticas e/ou válvulas e blocos hidráulicos. Assim como os demais dispositivos do sistema de segurança, os elementos de comutação de potência também possuem requisitos mínimos para a correta especificação desse tipo de dispositivo de proteção. A NBR 13849-1 (ABNT, 2019) estabelece os princípios gerais para o projeto de sistemas de segurança fazendo uso desses elementos de comutação de potência.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Estudo de caso

O presente estudo foi realizado em uma célula robotizada de movimentação de caixas de produtos com o intuito de formar paletes de caixas para posterior transporte e distribuição. Esse tipo de aplicação é comum em diversos tipos de indústria, seja de bebidas, cosméticos, ramo alimentício etc.

Este sistema automatizado encontra-se em uma indústria tipicamente brasileira, fabricante de máquinas e situada no estado do Rio Grande do Sul. A empresa fabrica esse tipo de equipamentos e comercializa para grandes indústrias

no Brasil e também para o exterior, customizando o equipamento para cada tipo de aplicação. Não foi possível a obtenção de autorização para a divulgação do nome da empresa e de outros detalhes específicos da empresa.

3.2 Identificação e apresentação da célula robotizada

Abaixo são apresentadas as características da célula robotizada, focando especificamente no sistema automatizado de formação de paletes e na proposta com a qual o sistema foi concebido.

Resumidamente, o sistema consiste de uma esteira onde caixas de papelão cheias de matéria-prima são transportadas em direção a um robô industrial. Quando a caixa chega na extremidade da esteira, o robô tem a função de movimentar o seu braço articulado até a caixa e deslocar a mesma até o ponto de formação do palete.

Nesse sistema existem duas áreas de formação de palete, uma à direita e outra à esquerda do robô, aqui denominadas área 1 e área 2, cujo leiaute pode ser visualizado na Figura 12.

O sistema automatizado inicia a formação de paletes na primeira área, onde o palete está vazio, e o robô industrial retira as caixas de produtos da esteira e as posiciona sobre o palete. E, assim, vai posicionando as caixas, uma a uma, e automaticamente até completar o objetivo na formação do palete. Uma vez o palete montado, o robô inicia a montagem de paletes na segunda área que estará com um palete vazio aguardando a montagem.

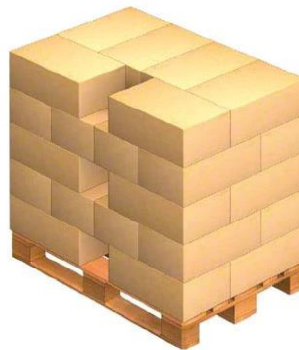
A interface do sistema automatizado com os operadores acontece, basicamente, quando a formação do palete está concluída. Conforme citado anteriormente, quando o palete de uma das áreas é concluído, o robô inicia a montagem na outra área. Neste momento o operador, manualmente e com o auxílio de uma paleteira, acessa a área de paletização para retirada do palete cheio. Enquanto isso o robô industrial executa atividades de formação de paletes na outra área. E assim o ciclo segue sucessivamente.

Figura 10 – Exemplo de palete vazio



Fonte: Mecalux [2020a?].

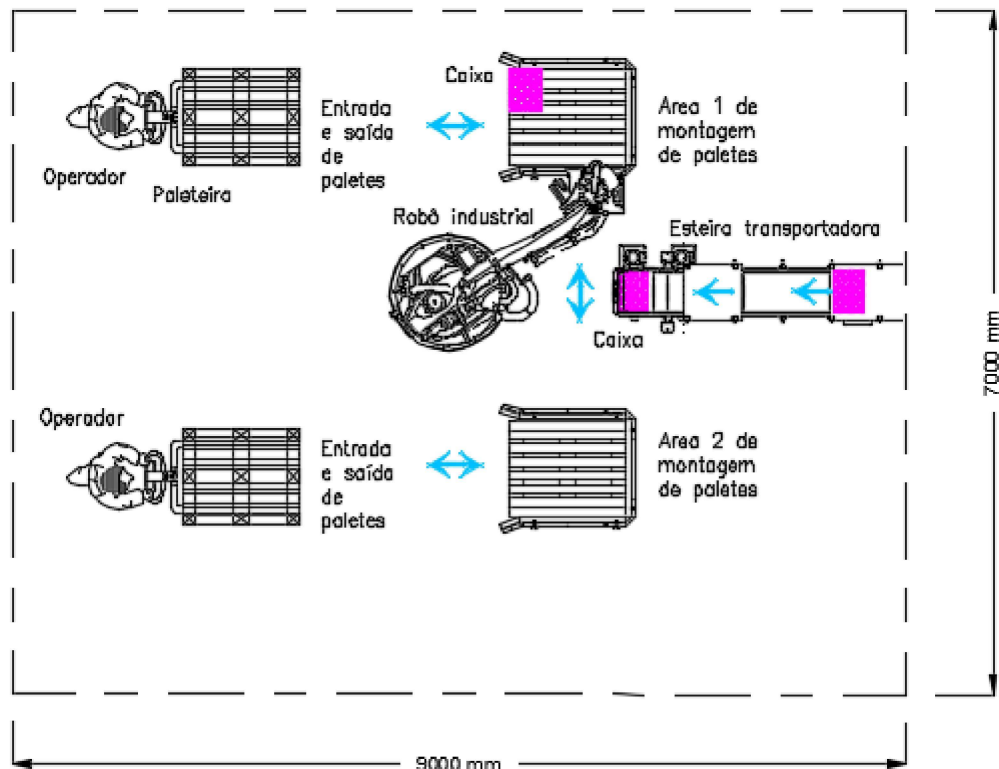
Figura 11 – Exemplo de palete com caixas posicionadas sobre ele



Fonte: Mecalux [2020b?].

Na Figura 12, é apresentado o leiaute da célula robotizada, sendo possível visualizar a posição do robô industrial, as áreas 1 e 2 de montagem de paletes, da esteira transportadora, o ponto onde o operador acessa a área do sistema para realizar a troca de paletes e também os limites físicos de espaço disponível para o sistema. O limite de espaço físico disponível para o estudo de caso está representado pela linha tracejada.

Figura 12 – Leiaute geral da aplicação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Identificação e descrição dos perigos

Ao levarmos em consideração o modo de trabalho do sistema e a forma como o operador e/ou manutentores fazem a interface com o mesmo, foi realizada uma apreciação de riscos, de acordo com os princípios definidos na NBR ISO 12100 (ABNT, 2013a), identificando os perigos existentes, assim como suas origens e fases de utilização.

4.2 Estimativa, avaliação dos riscos e determinação das funções de segurança

Para cada perigo identificado na etapa de identificação dos perigos, também foram realizadas a estimativa e a avaliação dos riscos.

No estudo de caso, para a estimativa de risco inicial e estimativa de risco final, foi utilizada a metodologia *Hazard Rating Number* (HRN). Na apreciação de riscos também são sugeridas as funções de segurança necessárias para alcançar a redução de riscos.

4.3 Determinação do nível de segurança necessário para as funções de segurança

Para a determinação do nível de segurança necessário nesta aplicação, foi inicialmente utilizada a premissa da NR12 que cita que, para sistemas robóticos, normas do tipo C são existentes e aplicáveis. A norma do tipo C para sistemas robóticos, ISO 10218-1 (ABNT, 2018a), estabelece que os requisitos do nível de segurança para esse tipo de aplicação é, de mínimo, categoria 3.

Sendo assim, independentemente da informação contida nessa norma, foi realizada uma apreciação de riscos à parte para identificar as necessidades específicas do estudo de caso em questão e as possíveis necessidades de incremento do nível de segurança adequado. Porém, de acordo com os dados levantados na apreciação de riscos, a conclusão foi a de que o nível mínimo de segurança em categoria 3 atende à aplicação. Essa conclusão converge com a informação extraída inicialmente da norma ISO 10218-1 (ABNT, 2018a); logo, o nível de segurança necessário para as funções de segurança dessa aplicação foi definido como sendo em arquitetura de categoria 3.

4.4 Projeto das funções de segurança

Diante das informações levantadas na apreciação de riscos, relacionadas à necessidade de implementação de medidas de segurança para redução do risco e dos requisitos do nível de segurança definidos para a aplicação, foi proposto um sistema de segurança selecionando a tecnologia disponível e adequada.

Para a necessidade de monitoramento de aproximação ou presença de pessoas no interior da célula robotizada, a solução encontrada é o uso de *scanner* de segurança combinado com o uso de cortina de luz e também proteções físicas fixas em alguns pontos, monitoramento de velocidade e posição dos braços articulados do robô, dispositivo de comando para o rearme do sistema de segurança e também dispositivos de proteção complementar, tal qual botão de emergência.

Para que o sistema de segurança atenda aos requisitos de categoria 3, também é necessário o uso de unidades lógicas de segurança, elementos de comando de potência e elementos de acionamento.

O sistema robotizado deste estudo leva em consideração o modo de trabalho com espaço compartilhado entre robô industrial e operador, porém o

compartilhamento de espaço não pode ocorrer ao mesmo tempo. Em outras palavras, em determinado período do ciclo produtivo o robô executa as atividades previamente definidas em uma das áreas, e em outro momento apenas o operador acessa a área para executar as suas atividades.

O uso de *scanner* de segurança foi utilizado para monitorar toda a área no entorno do robô. Para dimensionar o tamanho da área de monitoramento requerida para essa aplicação é preciso calcular a distância mínima de segurança necessária para impedir uma pessoa, ou parte do corpo de uma pessoa, de alcançar a zona de perigo antes do término da função perigosa da máquina.

Para a aplicação da equação da distância mínima, definida na equação (2), foi necessário conhecer o tempo de parada do robô. Foi, então, realizada uma medição, *in loco*, do tempo de parada, utilizando equipamento específico, da marca Safetyman, modelo DT2.

Figura 13 – Equipamento de medição do tempo de parada



Fonte: HHB [2020?].

A medição foi realizada através do acessório de *encoder* rotativo do respectivo equipamento de medição do tempo de parada, acoplado no eixo do robô. O equipamento de medição realiza automaticamente, e de acordo com os parâmetros pré-ajustados, o comando de parada do movimento do robô. Através dos sinais do *encoder* rotativo, o equipamento consegue monitorar o tempo que o braço do robô necessitou até a parada total do movimento.

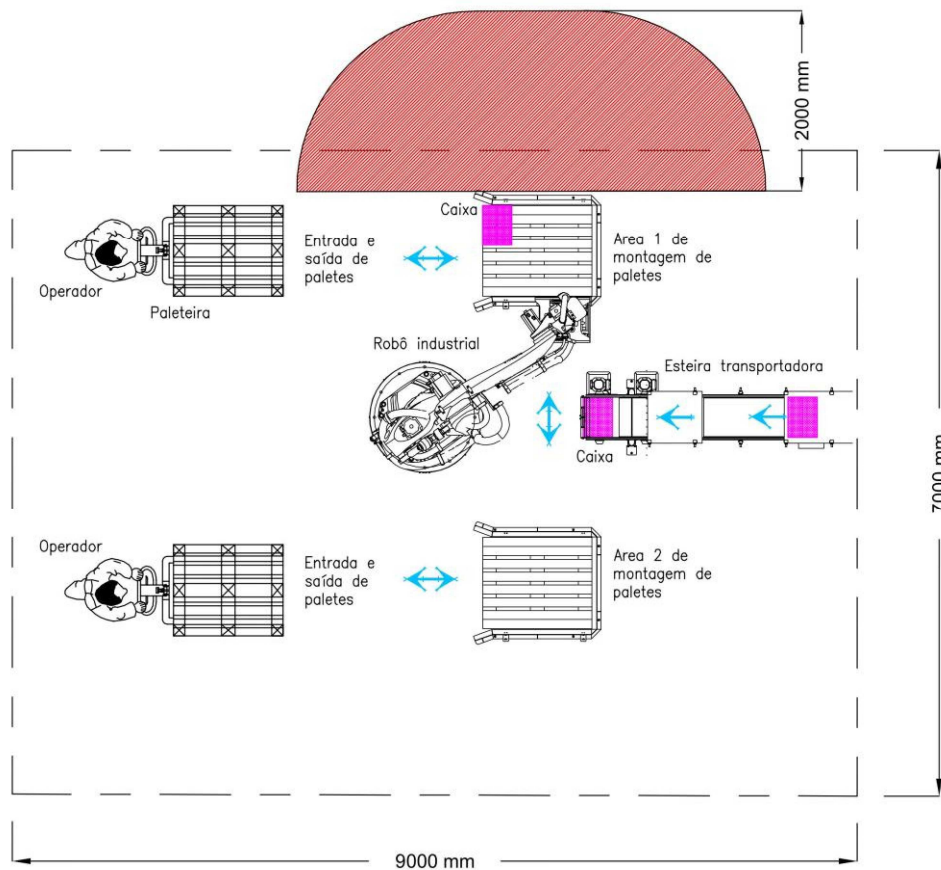
O robô foi configurado para a velocidade de 457 mm/s que foi considerado nessa aplicação como sendo o valor de velocidade máxima.

Ao aplicarmos a equação (2), para o dimensionamento da área do *scanner*, cujas informações detalhadas podem ser encontradas no APÊNDICE A – memorial de cálculos de distância mínima, a distância mínima de segurança foi estabelecida como sendo 2000 mm.

Ao considerarmos o leiaute da aplicação demonstrado na Figura 12 e o dimensionamento da área mínima do *scanner* encontrado, foi então realizada uma simulação para verificar possíveis conflitos. Na Figura 14, é possível visualizar um esboço da área do *scanner* de segurança mínima necessário em um dos lados do palete da área 1 de montagem.

Através da simulação, conclui-se que essa distância mínima ultrapassa os limites de espaço físico disponível para a célula robotizada e utiliza-se esse dado como premissa para o projeto do estudo de caso, anteriormente demonstrado na Figura 12.

Figura 14 – Simulação de área para dimensionamento do *scanner* de segurança



Fonte: Elaborada pelo autor.

Diante do conflito identificado, a solução para o caso foi aplicar uma combinação de medidas de segurança utilizando proteções físicas fixas em alguns pontos restringindo o acesso de pessoas através de algum dos lados da célula robotizada.

Também foi necessária a utilização de cortina de luz para conseguir segregar a área 1 de montagem de palete da área 2. Foram utilizados dois pares de cortinas, posicionados estrategicamente de forma que o robô possa trabalhar em uma das áreas enquanto o operador acessa a outra área, sem interferências no sistema de segurança. Caso o operador acesse a área onde o robô estiver trabalhando, o sistema de segurança vai detectar e realizar a parada do movimento do robô.

O dimensionamento da distância mínima de segurança, para utilização de cortina de luz, foi encontrado através da equação (2). O valor encontrado, quando a velocidade do robô estiver em sua velocidade máxima de aplicação, ou seja, 457 mm/s, foi de distância mínima de 800 mm. Com esse valor novamente chegou-se à conclusão de que os limites de espaço físico disponível para a célula robotizada estariam conflitantes com os valores encontrados de distância mínima necessária para a instalação dos equipamentos de segurança.

Dadas as premissas e restrições deste projeto, e a busca de uma estratégia adequada de redução de riscos, a solução encontrada foi a de incrementar as funcionalidades do sistema, utilizando também a tecnologia de combinação de velocidade para os movimentos de robô. Ao utilizarmos a combinação de velocidade, para este projeto foi definido que, quando o sistema de segurança detectar a presença de operadores próximos da área de perigo, o mesmo fará com que os movimentos do robô sejam parametrizados automaticamente para a velocidade reduzida. Assim, o tempo de parada do movimento do robô normalmente é menor e, conseqüentemente, a distância de segurança mínima requerida para os equipamentos de segurança também tende a ser menor.

Em outras palavras, quando o operador se aproximar de áreas de risco, o sistema de segurança irá parametrizar o movimento do robô para a velocidade reduzida. Estando os movimentos do robô parametrizado em velocidade reduzida, se o operador se aproximar ainda mais, invadindo o espaço definido como sendo a distância mínima de segurança, o sistema irá realizar o comando de parada do movimento do robô.

Nesse contexto, foi necessário realizar nova medição de tempo de parada do robô, desta vez adquirindo os valores de tempo, quando o robô foi parametrizado para 224 mm/s.

No Quadro 6 são apresentados os valores de tempo de parada, medidos em velocidade reduzida e em velocidade rápida, bem como as distâncias mínimas de

segurança necessárias para a aplicação de cortina de luz e de *scanners* de segurança, considerando as diferentes velocidades do robô.

Quadro 6 – Especificações de projeto para distâncias mínimas de segurança







	Distância de segurança calculada		Distância de segurança sugerida para projeto	
	Scanner de segurança	Cortina de luz	Scanner de segurança	Cortina de luz
Velocidade "rápida" do robô (457 mm/s)	1971,2 mm	788,8 mm	2000 mm	800 mm
Velocidade "lenta" do robô (224 mm/s)	1668,8 mm	500 mm	1700 mm	500 mm

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao considerarmos as simulações e os estudos anteriores, e de posse dos dados apresentados no Quadro 6, conclui-se que, dessa forma, o projeto das funções de segurança atende às premissas normativas para o correto dimensionamento dos dispositivos de segurança em questão e também atende às premissas iniciais e específicas do estudo de caso.

No projeto conceitual de segurança, os principais dispositivos de segurança utilizados na solução estão listados na legenda representada na Figura 15 a seguir:

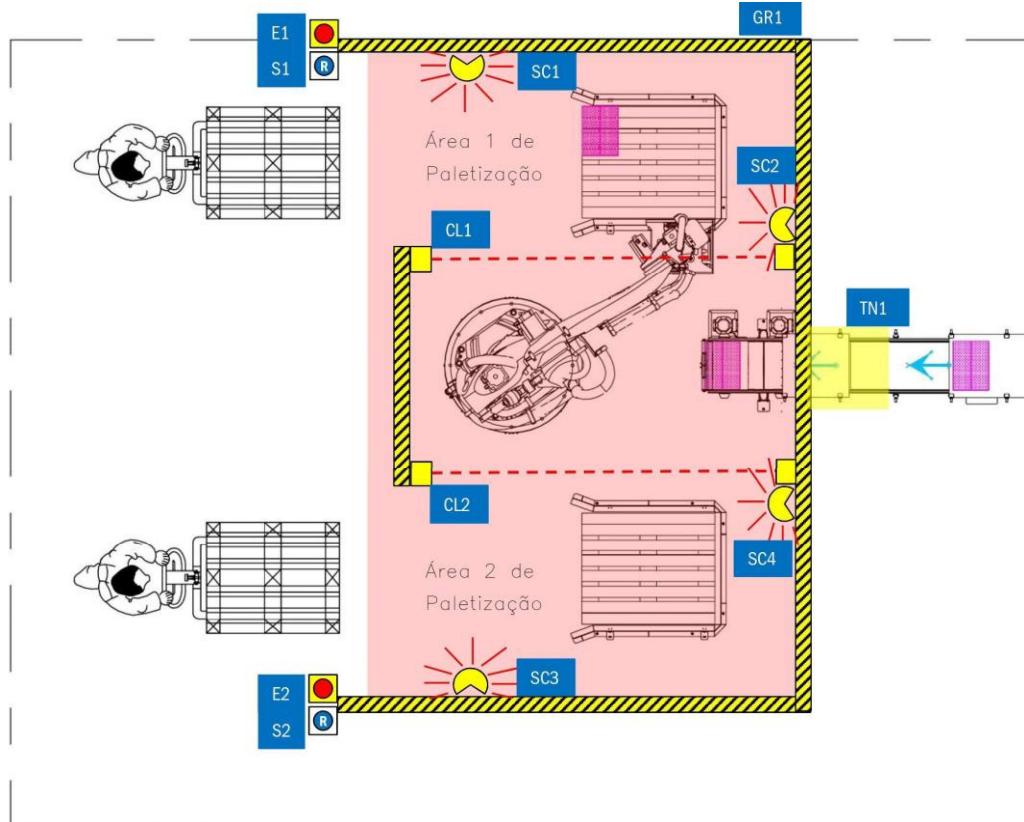
Figura 15 – Legenda de simbologia dos principais dispositivos de segurança

	GR - Proteção física fixa (grades)
	TN - Proteção física fixa (em forma de túnel)
	CL- Cortina de luz vertical
	E - Botão de emergência
	S - Botão de rearme
	SC - Scanner de segurança

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 16 é então apresentado o leiaute do projeto conceitual de segurança recomendado para a aplicação com detalhe para a posição onde cada um dos principais dispositivos de segurança serão posicionados.

Figura 16 – Projeto conceitual de segurança



Fonte: Elaborada pelo autor.

As proteções físicas fixas em forma de grades, representadas na Figura 16 por **GR1**, foram projetadas com abertura da malha de 40x40 mm, altura inferior em relação ao solo com 180 mm; e as grades com altura de 2.200 mm de altura evitando o acesso à zona de risco por cima, por baixo e através das grades.

Na parte onde há a esteira, foi projetada uma proteção física fixa em forma de túnel com comprimento de 850 mm de comprimento, a fim de permitir a passagem de produtos mas impedir o acesso de membros através dela e acessando o ponto de risco.

Os botões de emergência, representados por **E1** e **E2**, assim como os botões de rearme do sistema de segurança, representados por **S1** e **S2**, foram posicionados nos pontos de operação e em local onde o operador tem a completa visão da zona de perigo.

As cortinas de luz foram posicionadas a 500 mm do ponto de risco, foi utilizado o modelo com resolução de 14 mm. O feixe mais alto da cortina de luz projetado foi de 2000 mm, e o feixe mais baixo a 300 mm em relação ao solo.

Os *scanners* de segurança foram instalados em posições estratégicas demonstradas na Figura 16, com altura do feixe a uma distância de 300 mm em relação ao solo, a resolução do equipamento configurada para 70 mm, e as áreas de segurança mínimas cobrindo toda a área interna do sistema e com 2.000 mm de distância mínima em relação ao ponto de perigo nos momentos em que o robô está executando as atividades em velocidade rápida. As posições definidas também levam em consideração a premissa de não deixar zonas sem monitoramento, tal qual na parte traseira dos paletes (entre o palete e a proteção mecânica física fixa).

A lógica do sistema de intertravamento dos movimentos do robô foi projetado conforme o quadro abaixo, cada componente presente no projeto conceitual de segurança deverá gerar um sinal de *input* para o controlador do sistema de segurança, e este por sua vez irá gerar o sinal para a parada dos movimentos de risco do sistema.

Quando o robô estiver operando na área 1, a cortina de luz **CL1** deve ser desabilitada, e o monitoramento de presença de pessoas na área se dará todo através dos *scanners* de segurança **SC1** e **SC2**. Caso algum destes detectem a presença de pessoas nesta área de risco, o sistema deverá interromper imediatamente o movimento do robô.

Se o robô estiver movimentando-se e operando na área 1, caso os *scanners* de segurança **SC3** ou **SC4** detectem a presença de pessoas na área, o sistema deverá parametrizar o sistema do robô para a velocidade lenta. Se o robô estiver movimentando-se em velocidade lenta e a cortina **CL2** detectar o acesso de pessoas, o sistema deverá realizar o comando para interromper imediatamente o movimento do robô.

De forma análoga ocorrerá quando o robô estiver operando na área 2. Nesse momento, a cortina de luz **CL2** deve ser desabilitada, e o monitoramento de presença de operador na área se dará todo através dos *scanners* de segurança **SC3** e **SC4**. Caso algum destes detectem a presença de pessoas nesta área de risco, o sistema deverá realizar a interrupção imediata do movimento do robô.

Se o robô estiver movimentando-se e operando na área 2, caso os *scanners* de segurança **SC1** ou **SC2** detectem a presença de pessoas na área, o sistema deverá parametrizar o sistema do robô para a velocidade lenta. Se o robô estiver movimentando-se em velocidade lenta e a cortina **CL1** detectar o acesso de pessoas, o sistema deverá realizar o comando de interromper imediatamente o

movimento do robô. Em qualquer modo de operação, quando os botões de emergência **E1** ou **E2** forem acionados, o sistema deverá realizar o comando para interromper imediatamente o movimento do robô.

Nos casos anteriormente citados, onde o operador invadir uma área restrita ao movimento do robô, no momento em que o robô estiver trabalhando naquela área, ou então quando for pressionado algum dos botões de emergência **E1** ou **E2**, será necessário o rearme manual do sistema de segurança através dos botões **S1** ou **S2**, combinado com um comando posterior de reinício de ciclo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo que as medidas de proteção técnica sejam dimensionadas de acordo com as principais normas técnicas aplicáveis e, como consequência, o risco seja reduzido a um nível aceitável, é possível que medidas de proteção técnicas possam falhar ou serem anuladas. Outros fatores relevantes a serem considerados num projeto de segurança de máquinas são a natureza subjetiva do processo de apreciação de riscos e a aplicação da metodologia. Esses muitas vezes dependem da experiência do executor na estimativa do risco, e em decorrência disso os níveis de riscos também serão subjetivos.

Logo, adicionalmente à adoção de medidas de proteção técnica, a NR12 também estabelece a necessidade de disponibilizar informações para seu uso, alertando o usuário sobre os riscos que permanecem mesmo após a implementação das medidas de proteção técnica, como a necessidade de criação de instruções de trabalho, manual de instruções, treinamento e reciclagem de treinamentos, manutenções periódicas, uso de equipamentos de proteção individual etc.

Por fim, para a adequação de uma máquina ou equipamento à NR12, existem várias etapas a serem executadas e, de modo geral, podem ser executadas por empresas e profissionais diferentes, cada qual executando e entregando essas etapas. A NR12 também estabelece que o projeto do sistema de segurança deve estar sobre a responsabilidade técnica de profissional legalmente habilitado. Caso o projeto seja executado por diferentes profissionais ou empresas, cada etapa do processo deve ter a garantia e a responsabilidade técnica do profissional que a executou.

REFERÊNCIAS

ALLEN-BRADLEY. **Scanners a laser de segurança**. [2020?] Disponível em: <https://ab.rockwellautomation.com/pt/Sensors-Switches/Operator-Safety/SafeZone-Mini-Laser-Scanners>. Acesso em: 19 mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13849-1**: Segurança de máquinas – Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 10218-1**: Robôs e dispositivos robóticos – Requisitos de segurança para robôs industriais. Parte 1: Robôs. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO TR 14121-2**: Segurança de máquinas – Apreciação de riscos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 12100**: Segurança de máquinas – Princípios gerais de projeto – Apreciação e redução de risco. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 13855**: Segurança de máquinas – Posicionamento dos equipamentos de proteção com referência à aproximação de partes do corpo humano. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR12**: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília, DF: Ministério do Trabalho, 1978. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-12.pdf. Acesso em: 10 jan. 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Métodos de avaliação de risco e ferramentas de estimativa de risco utilizados na Europa considerando normativas europeias e o caso brasileiro**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho, jun. 2015. Disponível em: http://www.sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/risco_mte.pdf. Acesso em: 19 mar. 2020.

ENIT. **Normas Regulamentadoras – Português**. [2020?] Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-menu/sst-normalizacao/sst-nr-portugues?view=default>. Acesso em: 16 mar. 2020.

HHB. **Safetyman Dt2**. [2020?] Disponível em: <https://hhb.eu/en/safetyman-dt2/>. Acesso em: 19 mar. 2020.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). **ISO 13851**: Safety of machinery — Two-hand control devices — Principles for design and selection. Brussels, 2019a.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). **ISO 13857**: Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs". Brussels, 2019b.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). **ISO 13850**: Safety of machinery - Emergency stop function - Principles for design. Brussels, 2015a.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). **ISO 14120**: Safety of machinery - Guards - General requirements for the design and construction of fixed and movable guards. Brussels, 2015b.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). **ISO 13856**: Safety of machinery - Pressure-sensitive protective devices - Part 1: General principles for design and testing of pressure-sensitive mats and pressure-sensitive floors. Brussels, 2013.

JAV. **Tapete de segurança.** [2020?] Disponível em: <http://www.jav.com.br/produto/tapetes-de-seguranca/>. Acesso em: 19 mar. 2020.

MECALUX. **Paletes de madeira.** [2020a?] Disponível em: <https://www.mecalux.com.br/manual-de-armazenagem/paletes/paletes-de-madeira>. Acesso em: 19 mar. 2020.

MECALUX. **Como carregar corretamente a mercadoria sobre um palete.** [2020b?] Disponível em: <https://www.mecalux.com.br/manual-de-armazenagem/paletes/carga-mercadoria>. Acesso em: 19 mar. 2020.

SATECH. **Sistema de proteção modulares.** [2020?] Disponível em: https://www.schmersal.com.br/fileadmin/download/global/br/catalogos_pt/grades_modulares.pdf. Acesso em: 19 mar. 2020.

SCHMERSAL. **Comando bimanual.** [2020?] Disponível em: <https://www.schmersal.com.br/produtos/seguranca/produto/comando-bimanual/>. Acesso em: 19 mar. 2020.

SENSOR. **Sensores indutivos industriais.** [2020?] disponível em: <http://www.sensordobrasil.com.br/sensores-indutivos-industriais>. Acesso em: 19 mar. 2020.

SAFETY & HEALTH PRACTITIONER. **Risk estimation.** Jun. 1990. Disponível em: <https://www.shponline.co.uk/wp-content/uploads/2015/06/Steel-article-1990.jpg>. Acesso em: 20 mar. 2020.

SICK. **Encoders de segurança.** [2020a?] Disponível em: <https://www.sick.com/br/pt/encoders/encoders-de-seguranca/dfs60s-pro/c/g309664>. Acesso em: 19 mar. 2020.

SICK. **Controladores de segurança.** [2020b?] Disponível em: <https://www.sick.com/br/pt/senscontrol-solucoes-de-controle-seguras/controladores-de-seguranca/flexi-soft/c/g186176>. Acesso em: 19 mar. 2020.

SICK. **Guia “máquinas seguras”:** máquina segura em seis passos. 2015. Disponível em: https://cdn.sick.com/media/docs/9/19/719/Special_information_Guide_for_Safe_Machinery_pt_IM0073719.PDF. Acesso em: 16 mar. 2020.

WEG. **Cortinas de luz de segurança.** [2020?] Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Seguran%C3%A7a-de-M%C3%A1quinas-e-Sensores-Industriais/Cortinas-de-Luz-de-Seguran%C3%A7a/c/BR_WDC_SFY_SAFETYLIGHTCURTAINS. Acesso em: 19 mar. 2020.

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULOS DE DISTÂNCIA MÍNIMA

A distância de segurança mínima calculada para o uso de cortinas de luz e de *scanners* de segurança, nas premissas do projeto em questão, que considera velocidades diferentes de movimento em diferentes momentos definidos para o sistema de segurança deste estudo de caso, é apresentada abaixo.

Cortina de luz de segurança e velocidade lenta do robô (224 mm/s)

Usando a equação (2) e considerando:

$C = 8 (d - 14 \text{ mm})$, para cortina de luz instalada na vertical onde **d** é a capacidade de detecção do dispositivo, em milímetros (mm).

$$d = 14 \text{ mm}$$

$$T = 0,304 \text{ s}$$

$$K = 2000 \text{ mm/s}$$

Então:

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

$$S = (2000 \times 0,304) + 8(14 - 14)$$

$$S = 608 \text{ mm}$$

Desde que $S > 500 \text{ mm}$, então é possível utilizar $K = 1600 \text{ mm/s}$. Neste caso o valor mínimo de **S** deve ser 500 mm.

Logo:

$$S = (1600 \times 0,304) + 8(14 - 14)$$

$$S = 486,4 \text{ mm}$$

Sendo assim, o valor final considerado é $S = 500 \text{ mm}$.

Cortina de luz de segurança e velocidade rápida do robô (457 mm/s)

Usando a equação (2) e considerando:

$C = 8 (d - 14 \text{ mm})$, para cortina de luz instalada na vertical onde **d** é a capacidade de detecção do dispositivo, em milímetros (mm).

$$d = 14 \text{ mm}$$

$$T = 0,493 \text{ s}$$

$$K = 2000 \text{ mm/s}$$

Então:

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

$$S = (2000 \times 0,493) + 8(14 - 14)$$

$$S = 986 \text{ mm}$$

Desde que $S > 500 \text{ mm}$, então é possível utilizar $K = 1600 \text{ mm/s}$. Neste caso o valor mínimo de S deve ser 500 mm .

Logo:

$$S = (1600 \times 0,493) + 8(14 - 14)$$

$$S = 788,8 \text{ mm}$$

O valor final calculado é $S = 788,8 \text{ mm}$. Porém, por definição própria e especificamente para este projeto, o valor de S foi arredondado para cima e considerado $S = 800 \text{ mm}$.

Scanner de segurança e velocidade lenta do robô (224 mm/s)

Usando a equação (2) e considerando:

$C = 1200 - 0,4 H$, para *scanner* de segurança onde o termo H é a altura de detecção e pode ser definido como $H = 15 (d - 50)$.

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$T = 0,368 \text{ s}$$

$$K = 1600 \text{ mm/s}$$

Então:

$$H = 15 (70 - 50)$$

$$H = 300 \text{ mm}$$

$$S = (K \times T) + 1200 - 0,4 (300)$$

$$S = (1600 \times 0,368) + 1080$$

$$S = 588,8 + 1080 \text{ mm}$$

$$S = 1668,8 \text{ mm}$$

O valor final calculado é $S = 1668,8 \text{ mm}$. Porém, por definição própria e especificamente para este projeto, o valor de S foi arredondado para cima e considerado $S = 1700 \text{ mm}$.

Scanner de segurança e velocidade rápida do robô (457 mm/s)

Usando a equação (2) e considerando:

$C = 1200 - 0,4 H$, para scanner de segurança onde o termo **H** é a altura de detecção e pode ser definido como $H = 15 (d - 50)$.

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$T = 0,557 \text{ s}$$

$$K = 1600 \text{ mm/s}$$

Então:

$$H = 15 (70 - 50)$$

$$H = 300 \text{ mm}$$

$$S = (K \times T) + 1200 - 0,4 (300)$$

$$S = (1600 \times 0,557) + 1080$$

$$S = 891,2 + 1080 \text{ mm}$$

$$S = 1971,2 \text{ mm}$$

O valor final calculado é $S = 1971,2 \text{ mm}$. Porém, por definição própria e especificamente para este projeto, o valor de **S** foi arredondado para cima e considerado $S = 2000 \text{ mm}$.