

LEANDRO HENRIQUE

ADEQUAÇÃO À NR-12 EM UM ARMAZÉM VERTICAL
AUTOMATIZADO

São Paulo

2018

LEANDRO HENRIQUE

ADEQUAÇÃO À NR-12 EM UM ARMAZÉM VERTICAL
AUTOMATIZADO

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título
de Especialista em Engenharia de
Segurança do Trabalho

São Paulo
2018

Para minha esposa Gabriela, pelo apoio na
decisão de continuar estudando e aos meus
pais Osmar e Marlene, que desde a minha
infância sempre me incentivaram a estudar.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que me ensinaram desde o princípio a seguir com os estudos, não me deixando desanimar nem desistir, nem mesmo nos momentos mais difíceis da vida acadêmica.

A minha esposa Gabriela, que sempre me apoiou nos estudos e por vezes me ajudou a estudar.

A empresa Pilz do Brasil que me deu a oportunidade de participar ativamente do projeto o qual é objeto desta monografia, e que me deu todo o aporte necessário para conclusão deste curso.

Aos colegas da empresa Pilz do Brasil, que muito me ensinaram sobre a teoria e a prática da aplicação de segurança em máquinas e equipamentos.

A Escola Politécnica da USP e seus colaboradores que muito bem me receberam durante os encontros presenciais semestrais.

RESUMO

A automação de máquinas traz grandes benefícios aos diversos segmentos da indústria, mas quando realizada de maneira negligente, pode trazer diversos perigos para seus operadores e para a empresa. Este estudo aborda o processo completo de adequação de transelevadores à Norma Regulamentadora n. 12 (NR-12), os quais são amplamente utilizados em armazéns verticais cujo manuseio de materiais se deseja automatizar. Este estudo apresenta os critérios utilizados para seleção das máquinas a serem adequadas (inventário de máquinas), das instalações e das medidas de redução de risco. O método HRN (*Hazard Rating Number*) foi utilizado para identificar os principais perigos, para avaliar os riscos associados e para categorizar as medidas de redução de risco a serem adotadas para o armazém vertical automatizado. Verificou-se que um planejamento adequado e um projeto de engenharia coerente e específico possibilitam a adequação da máquina sem causar transtornos ou inviabilidade na operação. Além disso, demonstrou-se que mesmo máquinas de grande porte podem ser adequadas, o que reduz consideravelmente os riscos envolvidos. Concluiu-se também que mesmo em máquinas no estado da técnica com as melhores práticas de engenharia não existe risco zero, mas que é possível atingir um nível de risco desprezível.

Palavras-Chave: Transelevador. Armazém vertical. Avaliação de risco. Segurança. Máquinas e equipamentos.

ABSTRACT

Machinery automation brings great benefits for several branches of the industry, but when it is carried out in a negligent way, it can bring a great deal of hazards for its operators and for the company. This study addresses the complete process of adequacy of stacker cranes to Regulatory Norm n. 12 (NR-12), which are extensively used in vertical warehouses where automation of material handling is desired. This study presents the criteria used for selecting the machinery to be adapted (machines inventory), the installations, and the risk reduction measures. The HRN (Hazard Rating Number) method was used to identify the major hazards, to evaluate the associated risks and to categorize the risk reduction measures to be adopted for the automated vertical warehouse. It was found that an adequate planning and a coherent specific engineering design enable the machine to be adapted without causing inconveniences or operation infeasibility. In addition, it was shown that even large machinery can be adapted, which considerably reduce the risks involved. It was also concluded that even in state-of-the-art machinery with best engineering practices there is no zero risk, but it is possible to reach a negligible risk level.

Keywords: Stacker Crane. Warehouse. Risk assessment. Safety. Machinery and equipment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma para apreciação e redução de riscos	15
Figura 2 – Vista superior reduzida do Armazém Vertical Automatizado	20
Figura 3 – Gráfico de riscos	21
Figura 4 – Arquitetura da categoria B	22
Figura 5 – Modelo Categoria B	22
Figura 6 – Arquitetura da categoria 1	23
Figura 7 – Modelo Categoria 1	24
Figura 8 – Arquitetura da categoria 2	25
Figura 9 – Modelo Categoria 2	25
Figura 10 – Arquitetura da categoria 3	26
Figura 11 – Modelo Categoria 3	27
Figura 12 – Arquitetura da categoria 4	28
Figura 13 – Modelo Categoria 4	28
Figura 14 – Vista superior reduzida do Armazém Vertical Automatizado	31
Figura 15 – Entrada de carga da Rua 1	34
Figura 16 – Sistemas de segurança instalados	35
Figura 17 – Indicação do trajeto inseguro possível	36
Figura 18 – Cortinas de luz entre ruas	37
Figura 19 – Indicação do trajeto entre ruas	38
Figura 20 – Barreiras fixas entre ruas	39
Figura 21 – Portas de emergência e detalhe do sensor antigo	40
Figura 22 – Sensores de segurança instalados	41
Figura 23 – Parte móvel exposta	42
Figura 24 – Parte móvel exposta	43
Figura 25 – Parte móvel exposta	43
Figura 26 – Proteções mecânicas fixas instaladas	44
Figura 27 – Proteções mecânicas fixas instaladas	45
Figura 28 – Proteções mecânicas fixas instaladas	45
Figura 29 – Fechamento da cabine insuficiente	46
Figura 30 – Novo fechamento da cabine	47
Figura 31 – Botão <i>jog</i> para comando (antigo)	48

Figura 32 – Painel de comando da cabine	49
Figura 33 – Botão de <i>jog</i> bimanual	51
Figura 34 – Sensor da porta da cabine	52
Figura 35 – Comando bimanual da cabine	52
Figura 36 – Painel de seleção de modo operacional	53
Figura 37 – Botão de rearme na parte interna	54
Figura 38 – Botão de rearme na parte externa	55
Figura 39 – Botão de emergência	57
Figura 40 – Cortina de luz	57
Figura 41 – Sensores de segurança.....	58
Figura 42 – Comando bimanual	58
Figura 43 – Chaves de seleção	59
Figura 44 – CLP de segurança principal / semelhante aos CLPs localizados.....	60
Figura 45 – Dispositivo de comunicação segura a laser	60
Figura 46 – Duplos contadores de segurança	61
Figura 47 – Servo drives com STO	61
Figura 48 – Relés de segurança	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros de PO	17
Quadro 2 – Parâmetros de FE	17
Quadro 3 – Parâmetros de GPL	18
Quadro 4 – Parâmetros de NP	18
Quadro 5 – Classificação HRN	19
Quadro 6 – Critérios de avaliação para definição de prioridade	30
Quadro 7 – HRN Inicial	34
Quadro 8 – HRN Atingido	35
Quadro 9 – HRN Inicial	36
Quadro 10 – HRN Atingido	37
Quadro 11 – HRN Inicial	38
Quadro 12 – HRN Atingido	39
Quadro 13 – HRN Inicial	41
Quadro 14 – HRN Atingido	42
Quadro 15 – HRN Inicial	44
Quadro 16 – HRN Atingido	46
Quadro 17 – HRN Inicial	47
Quadro 18 – HRN Atingido	48
Quadro 19 – HRN Inicial	50
Quadro 20 – HRN Atingido	53
Quadro 21 – HRN Inicial	54
Quadro 22 – HRN Atingido	55
Quadro 23 – HRN Inicial	56
Quadro 24 – HRN Atingido	62
Quadro 25 – Comparativo Antes e Depois	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DOU	Diário Oficial da União
NR	Norma Regulamentadora
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
HRN	<i>Hazard Rating Number</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
STO	<i>Safe Torque Off</i>
LOTO	<i>Lock Out Tag Out</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVO	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 NORMA REGULAMENTADORA PARA SEGURANÇA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS - NR-12	13
2.1.1 Medidas de proteção coletiva	13
2.1.2 Medidas administrativas ou de organização do trabalho	14
2.1.3 Medidas de proteção individual	14
2.2 NORMA ABNT NBR ISO 12100 – SEGURANÇA DE MÁQUINAS – PRINCÍPIOS GERAIS DE PROJETO – APRECIÇÃO E REDUÇÃO DO RISCO	14
2.2.1 Avaliação de Riscos e Redução de Riscos.....	14
2.2.1.1 Determinação dos limites da máquina	16
2.2.1.2 Identificação do perigo	16
2.2.1.3 Estimativa do risco	16
2.2.1.4 Avaliação do risco	18
2.2.1.5 Redução do risco	19
2.3 DEFINIÇÃO DE CATEGORIAS DE SEGURANÇA	21
2.3.1 Categoria B	21
2.3.2 Categoria 1	23
2.3.3 Categoria 2	24
2.3.4 Categoria 3	25
2.3.5 Categoria 4	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PLANTA	29

3.2 INVENTÁRIO DE MÁQUINAS	29
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 APRECIAÇÃO DE RISCO DO EQUIPAMENTO	33
4.1.1 Principais Perigos	33
4.1.1.1 Acesso às ruas através da entrada e saída de carga.....	33
4.1.1.2 Passagem entre ruas nas cabeceiras	35
4.1.1.3 Passagem entre ruas nas prateleiras	38
4.1.1.4 Acesso pela porta de fuga de emergência	40
4.1.1.5 Acesso às diversas partes móveis da máquina	42
4.1.1.6 Queda de pessoas da cabine de comando	46
4.1.1.7 Modo de operação manual.....	48
4.1.1.8 Botão rearme na parte interna das ruas	54
4.1.1.9 Categorização do circuito de segurança	56
4.1.2 Demais medidas de adequação de segurança	62
4.2 RESUMO DOS RESULTADOS	63
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
5 CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS.....	67
GLOSSÁRIO	69
TERMOS E DEFINIÇÕES – NORMA ABNT ISO 12100, 2013.....	69

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a última atualização da Base de Dados Históricos da Previdência Social, no período de 2014 a 2016 foram registrados aproximadamente 2 milhões de acidentes do trabalho no Brasil (1.913.616). Da mesma Base de Dados é possível extrair que aproximadamente 61% desses acidentes estavam relacionados com máquinas e equipamentos (CNAE, 2016).

No dia 17 de dezembro de 2010 foi publicada a portaria n. 197, que modificou e tornou mais rigorosa a Norma Regulamentadora n. 12 (NR-12) – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos, aprovada inicialmente em 1978. Dentre outras atualizações, a NR-12 teve sua última atualização publicada pela portaria n. 1.111 no dia 21 de setembro de 2016 (BRASIL, 2016).

O objetivo principal da norma é garantir que as novas gerações de máquinas sejam providas de segurança inerente, contendo dados completos sobre transporte, utilização, manutenção e eliminação. Ao mesmo tempo, a norma prevê medidas para a adequação de máquinas existentes. A norma também estabelece exigências para a manutenção preventiva programada. Exigências para o sucateamento de máquinas antigas também estão inclusas, visando evitar a venda de máquina obsoletas que não tenham sido equipadas de modo suficiente com relação às disposições de segurança. Agora as disposições preveem que, antes da revenda, uma máquina deve ser equipada de modo a corresponder aos padrões de segurança. (PILZ, 2016).

Dentre as máquinas e equipamentos do processo produtivo, nos estoques de matéria prima e produto acabado existem os chamados transelevadores, que segundo um dos fabricantes desse tipo de equipamento é definido como uma máquina criada para o armazenamento automático de paletes, que se deslocam nos corredores e realizam as funções de entrada, posicionamento e saída de mercadorias. Os transelevadores são guiados por *softwares* de gestão que coordena todos os movimentos (MECALUX, 2018).

A utilização de equipamentos em centros de distribuição de alto fluxo de materiais garante maior controle de estoque e agilidade na operação. Quando os centros de distribuição têm alto volume de entrada e saída de paletes, a movimentação é constante e o fluxo de materiais elevado, demandam sistemas de intralogística mais eficazes e ágeis (REVISTA LOGÍSTICA & *SUPPLY CHAIN*, 2011).

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar a adequação realizada no armazém vertical automatizado para atender a Norma Regulamentadora NR-12, em funcionamento em uma planta para produção de produtos de higiene pessoal.

1.2 JUSTIFICATIVA

A motivação para elaboração desse trabalho veio da experiência e oportunidade da participação no processo de adequação da máquina objeto do estudo. Por se tratar de um equipamento automatizado, intervenções humanas são necessárias no dia a dia da fábrica. Tornar segura uma máquina de grandes dimensões e com constante interação do homem foi um desafio na implantação das medidas de segurança e de redução dos riscos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 NORMA REGULAMENTADORA PARA SEGURANÇA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS - NR-12

A Norma Regulamentadora NR-12 foi publicada no Diário Oficial da União em 06 de julho de 1978. Após a publicação inicial, a norma passou por diversas atualizações, cuja atualização utilizada neste trabalho foi publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 22 de setembro de 2016 (BRASIL, 2016).

A NR-12 define as referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e integridade física dos trabalhadores. Ela estabelece os requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doença do trabalho nas fases de projeto e utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos (BRASIL, 2016).

São consideradas medidas de proteção os itens abaixo, que devem ser adotados nessa mesma ordem de prioridade:

- a) medidas de proteção coletiva;
- b) medidas administrativas ou de organização de trabalho;
- c) medidas de proteção individual (BRASIL, 2016).

2.1.1 Medidas de proteção coletiva

São consideradas medidas de proteção coletiva aquelas que protegem toda a equipe de funcionários que possuem contato direto ou indireto com o equipamento. Pode-se citar como medida de proteção coletiva mais eficiente a eliminação ou substituição do elemento perigoso. No entanto, nem sempre é tecnicamente viável adotar essa medida. Em seguida, como a segunda forma mais eficiente de redução de riscos estão as medidas de projeto de engenharia, que visam projetar ou adequar máquinas para que sejam o mais segura quanto tecnicamente praticável. Essas medidas foram amplamente exploradas na adequação da máquina objeto desse trabalho (PILZ, 2016).

2.1.2 Medidas administrativas ou de organização do trabalho

Após terem sido aplicadas as medidas de proteção coletiva, os riscos residuais devem ser tratados por medidas administrativas. Dessa medida fazem parte os treinamentos de funcionários (iniciais e periódicos), estabelecimentos de procedimentos operacionais e de manutenção, dentre outras. Essa medida foi adotada de forma secundária na adequação do equipamento, pois ela já vinha sendo fortemente praticada pela empresa em questão, que possui uma forte cultura organizacional e de segurança (PILZ, 2016).

2.1.3 Medidas de proteção individual

A implantação das duas medidas citadas anteriormente não garante um ambiente 100% seguro, ou seja, de risco zero. Riscos residuais em máquinas e equipamentos sempre existirão, e para isso não aplicadas as medidas de proteção individual. Dentre essas medidas, pode-se destacar como a mais adotada nas empresas o uso de EPI pelos colaboradores. O fornecimento dos EPIs é de responsabilidade legal do empregador, assim como é de responsabilidade do funcionário a correta utilização e manutenção desses EPIs. Os EPIs necessários para os funcionários variam conforme a tarefa a ser realizada, mas os principais são: óculos de proteção, sapatos de segurança, protetor auricular, capacetes, vestimentas apropriadas, luvas, etc (PILZ, 2016).

2.2 NORMA ABNT NBR ISO 12100 – SEGURANÇA DE MÁQUINAS – PRINCÍPIOS GERAIS DE PROJETO – APRECIÇÃO E REDUÇÃO DO RISCO

A norma ABNT NBR ISO 12100 é uma versão traduzida da norma internacional ISO 12100, que é uma norma do Tipo A, e visa esclarecer e interpretar os requisitos essenciais de segurança para atingir a conformidade com a legislação europeia de segurança em máquinas. Essa norma define as terminologias básicas e especifica os métodos para se atingir o nível de segurança (ABNT NBR ISO 12100, 2013).

2.2.1 Avaliação de Riscos e Redução de Riscos

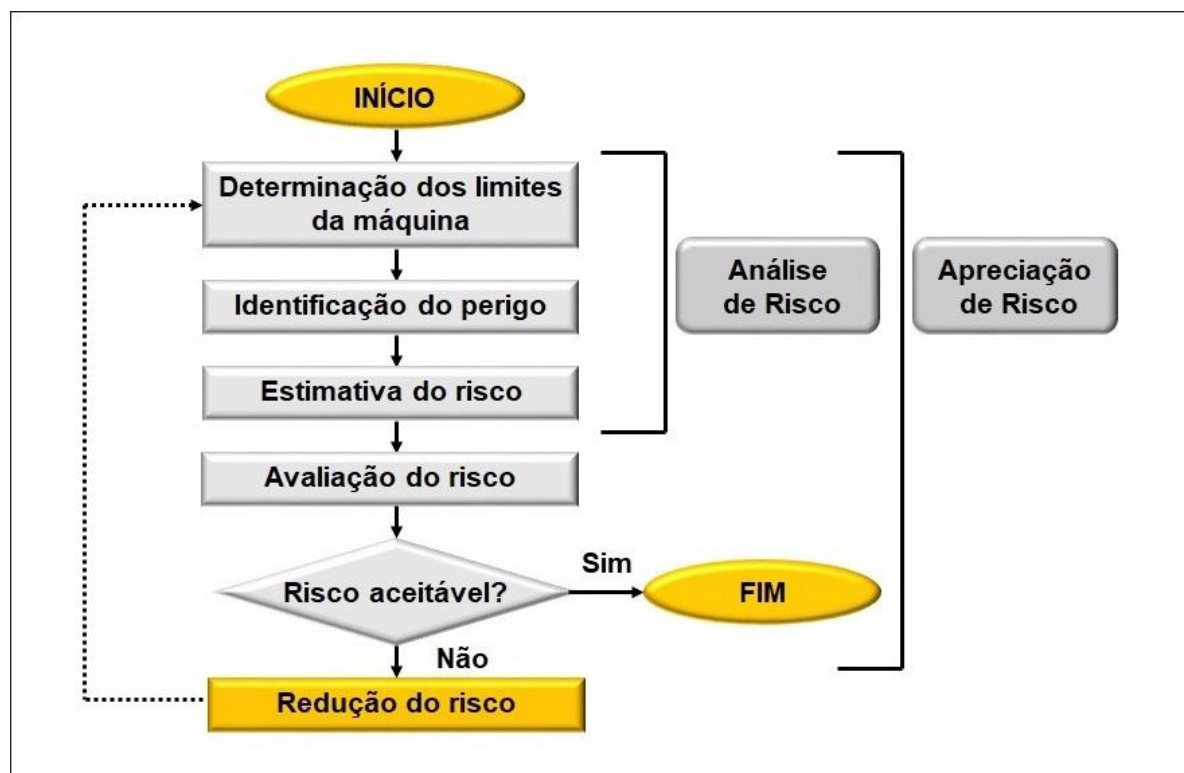
Para executar a apreciação de riscos e consequentemente, a redução dos mesmos, o projetista deve levar em consideração as seguintes etapas para apreciação e redução dos riscos:

- determinação dos limites da máquina, considerando seu uso devido, bem como, quaisquer formas de mau uso razoavelmente previsíveis;
- identificação dos perigos e situações perigosas associadas;
- estimativa do risco para cada perigo ou situação perigosa;
- avaliação do risco e tomada de decisão quanto à necessidade de redução de riscos;
- eliminação do perigo ou redução de risco associado ao perigo por meio de medidas de proteção.

As etapas de a) a d) compõem o processo de apreciação de riscos, enquanto que a etapa e), o processo de redução de riscos (ABNT NBR ISO 12100, 2013).

O processo de apreciação e redução de riscos em máquinas e equipamentos segue o fluxograma ilustrado na Figura 1:

Figura 1 – Fluxograma para apreciação e redução de riscos



Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 12100

2.2.1.1 Determinação dos limites da máquina

Nessa etapa são identificadas as fases do ciclo de vida da máquina (construção, transporte, montagem, instalação, comissionamento, uso, desmontagem, inutilização e sucateamento), a interação humana durante todo o ciclo de vida da máquina e a identificação das tarefas realizadas (ajustes, programação, operação, limpeza, etc) e o uso previsto da máquina, levando-se em conta o mau uso razoavelmente previsível. O nível de experiência, capacitação e habilidade dos operadores também são identificados nessa etapa (ABNT NBR ISO 12100, 2013).

2.2.1.2 Identificação do perigo

Nessa etapa são identificados os perigos existentes na máquina. Para identificar os perigos inspeciona-se visualmente a máquina, em seus diversos momentos de atividades, como operação, manutenção, ajuste ou limpeza. Deve-se inspecionar também os sistemas de segurança instalados, além de considerar as influências externas ao equipamento. Todas as fontes de energia devem ser consideradas (elétrica, mecânica, pneumática, hidráulica, térmica, dentre outras (ABNT NBR ISO 12100, 2013).

2.2.1.3 Estimativa do risco

Para estimar os riscos existem métodos dedutivos e indutivos para realização de apreciação de riscos. Como método dedutivo pode-se destacar o Método de Árvore de Falhas, que começa com uma lista de verificação das potenciais consequências e estabelece quais perigos podem causa-las.

Já no método indutivo destacam-se 3 deles como sendo Matriz de Risco, Gráfico de Risco e Valor de Classificação de Perigo. O método utilizado para a realização do trabalho objeto desta monografia foi o de Valor de Classificação de Perigo .

O método de Valor de Classificação de Perigo, ou *Hazard Rating Number* (HRN) atribui valores numéricos para aos seguintes parâmetros para avaliar o perigo: Probabilidade de Ocorrência (PO), Frequência de Exposição (FE), Grau da Possível

Lesão (GPL) e Número de Pessoas Expostas ao Risco (NP). O valor de HRN é o resultado da multiplicação desses fatores.

Para o parâmetro de Probabilidade de Ocorrência (PO) tem-se as seguintes definições:

Quadro 1 – Parâmetros de PO

PO - Probabilidade de Ocorrência	
0,03	Quase impossível
1	Muito improvável
1,5	Improvável
2	Possível
5	Eventual
8	Provável
10	Muito provável
15	Certamente

Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 12100

Para o parâmetro de Frequência de Exposição (FE) tem-se as seguintes definições:

Quadro 2 – Parâmetros de FE

FE - Frequência de Exposição	
0,5	Anualmente
1	Mensalmente
1,5	Semanalmente
2,5	Diariamente
4	Em termos de hora
5	Constantemente

Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 12100

Para o parâmetro de Grau da Possível Lesão (GPL) tem-se as seguintes definições:

Quadro 3 – Parâmetros de GPL

GPL - Grau da Possível Lesão	
0,1	Arranhão
0,5	Laceração / Dano leve
1	Pequenas fraturas
2	Grandes Fraturas
4	Perda de 1 membro
8	Perda de 2 membros
15	Fatalidade

Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 12100

Para o parâmetro de Número de Pessoas Expostas ao Risco NP) tem-se as seguintes definições:

Quadro 4 – Parâmetros de NP

NP - Número de Pessoas Expostas	
1	1 a 2 pessoas
2	3 a 7 pessoas
4	8 a 15 pessoas
8	16 a 50 pessoas
12	Mais de 50 pessoas

Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 12100

2.2.1.4 Avaliação do risco

Para avaliar cada risco, a multiplicação dos fatores listados anteriormente resulta em um valor numérico, chamado de HRN (*Hazard Rating Number*). Este número é o que classifica o nível do risco, com base na classificação do Quadro 5, podendo variar de “Desprezível” a “Inaceitável”. O nível desprezível não requer medidas de redução de risco, mas pode ser feita alguma recomendação de melhoria. Já o inaceitável requer medidas de controle urgentemente. As medidas de adequação possíveis serão detalhadas na seção seguinte.

Quadro 5 – Classificação HRN

Classificação do Risco	
0 a 1	Desprezível
2 a 5	Muito Baixo
6 a 10	Baixo
11 a 50	Significante
51 a 100	Alto
101 a 500	Muito Alto
501 a 1000	Extremo
> 1000	Inaceitável

Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 12100

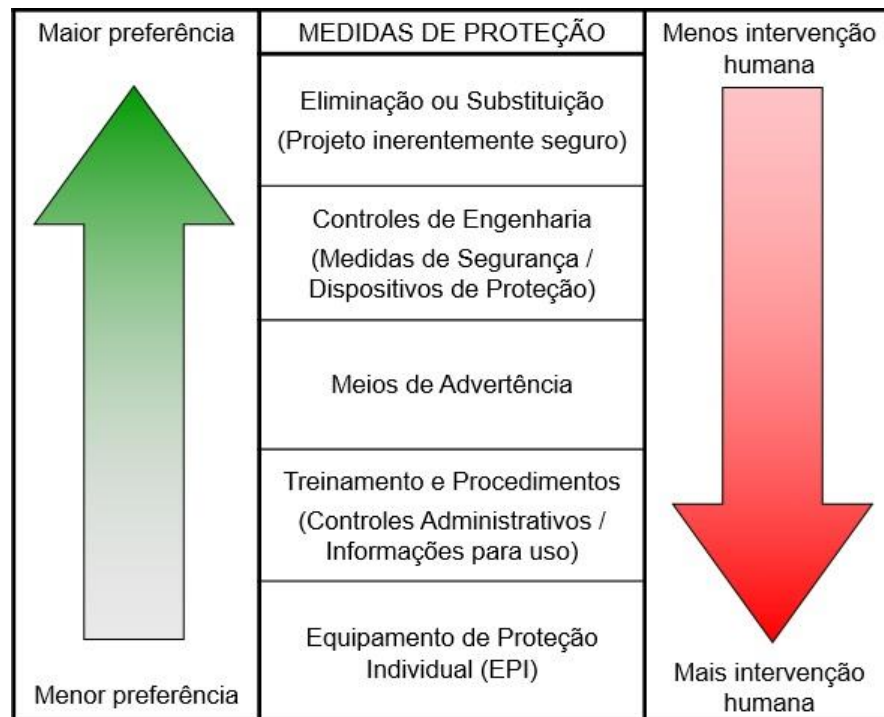
O risco deve ser avaliado antes e depois da adequação, e o nível da redução em porcentagem (%) pode ser obtido através da equação (1):

$$\text{Redução do Risco (\%)} = \frac{\text{HRN inicial} - \text{HRN Atingido}}{\text{HRN Inicial}} * 100 \quad (1)$$

2.2.1.5 Redução do risco

Para reduzir o risco, a Figura 2 ilustra a priorização das medidas que devem ser adotadas, tendo como referência a preferência e a intervenção humana.

Figura 2 – Vista superior reduzida do Armazém Vertical Automatizado



Fonte: Arquivo pessoal

A redução de risco leva em consideração alguns critérios como eficácia, viabilidade e custo. Com base nesses critérios será avaliado qual das medidas acima deve ser adotada, podendo ser adotado desde a atualização completa da máquina como o descarte e aquisição de novo equipamento.

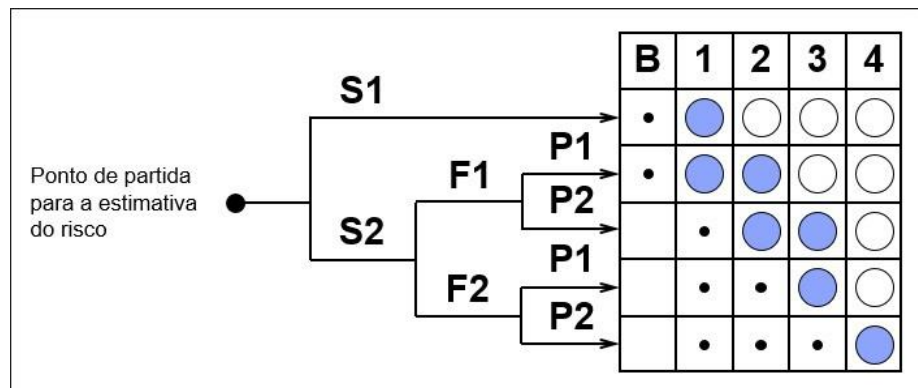
Detalhando-se as medidas de redução de risco da Figura 2, tem-se como exemplos:

- eliminação ou substituição: alteração do processo para eliminar a interação humana, eliminação de pontos de aprisionamento (aumentar distâncias) e manipulação automatizada de materiais;
- controle de engenharia: instalação de batentes mecânicos, barreiras, intertravamento, dispositivos de detecção de presença e comando bimanuais;
- meios de advertência: instalação de sinalização (luminosa, sonora, escrita) e demarcação de piso;
- treinamentos e procedimentos: procedimentos de segurança do trabalho, inspeção dos equipamentos de segurança, treinamento e bloqueio de energias perigosas;
- equipamento de proteção individual: óculos de segurança, protetor auricular, luvas, capacete, dentre outros.

2.3 DEFINIÇÃO DE CATEGORIAS DE SEGURANÇA

Para se projetar um sistema de segurança de máquinas baseado em categorias, o primeiro passo é a utilização do gráfico de riscos da norma NBR 14153, ilustrado na Figura 3:

Figura 3 – Gráfico de riscos



Fonte: Adaptado da NBR 14153:2013

Onde S é a severidade da lesão (S1 = leve / S2 = grave), F é a frequência de exposição (F1 = raro ou curta / F2 = frequente ou longa) e P é a possibilidade de evitar (P1 = possível sob certas condições / P2 = quase impossível). Os círculos na cor azul representam a categoria mínima exigida para o perigo em questão.

A categoria B é a mais comum e barata de ser implementada, mas pouco eficiente e confiável. Já a categoria 4 é a mais cara de ser implementada, mas é muito eficiente e bastante confiável. A diferença de custo da implementação entre a categoria 3 e 4 podem variar conforme o tamanho do projeto.

2.3.1 Categoria B

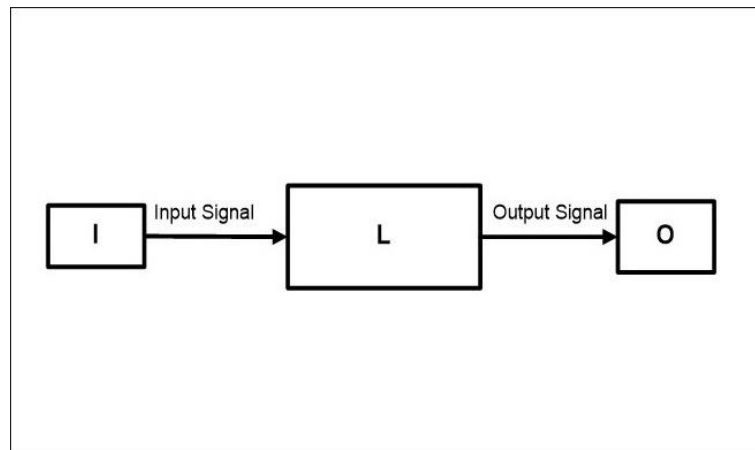
As partes de sistemas de comando relacionadas à segurança, como mínimo, devem ser projetadas, construídas, selecionadas, montadas e combinadas, de acordo com as normas relevantes, usando os princípios básicos de segurança para a aplicação específica, de tal forma que resistam a:

- a) fadiga operacional prevista, como, por exemplo, a confiabilidade com respeito à capacidade e frequência de comutação;

- b) influência do material processado ou utilizado no processo, como, por exemplo, detergentes em máquinas de lavar;
- c) outras influências externas relevantes, como, por exemplo, vibrações mecânicas, campos externos, distúrbios ou interrupção do fornecimento de energia (NBR 14153:2013).

Na categoria B uma única falha pode levar a perda da função de segurança. A Figura 4 ilustra a arquitetura simbólica da categoria B, onde I é o sinal de entrada, L é a lógica e O é a saída ou atuador.

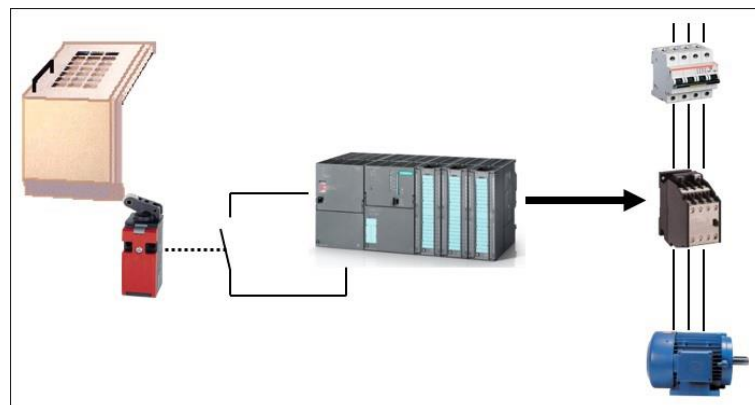
Figura 4 – Arquitetura da categoria B



Fonte: Acervo pessoal

A figura 5 ilustra um modelo prático dessa arquitetura.

Figura 5 – Modelo Categoria B



Fonte: Acervo pessoal

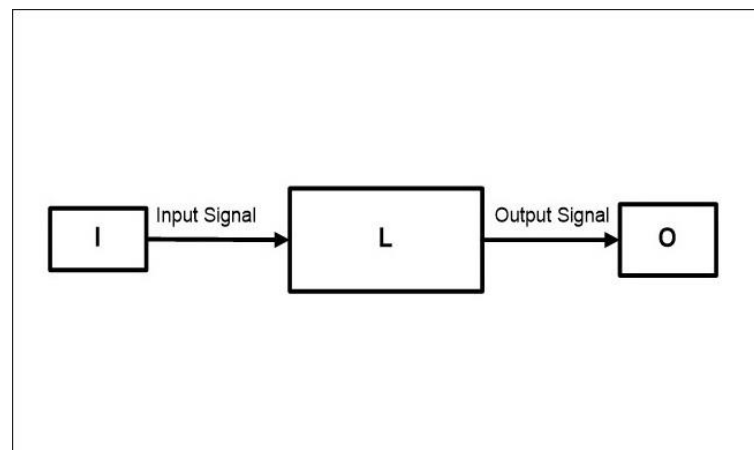
2.3.2 Categoria 1

Devem ser aplicados os requisitos da categoria B e os desta subseção. As partes de sistemas de comando relacionadas à segurança, de categoria 1, devem ser projetadas e construídas utilizando-se componentes bem ensaiados e princípios de segurança comprovados. Um componente bem ensaiado para uma aplicação relacionada à segurança é aquele que tem sido:

- a) largamente empregado no passado, com resultados satisfatórios em aplicações similares, ou
- b) construído e verificado utilizando-se princípios que demonstrem sua adequação e confiabilidade para aplicações relacionadas à segurança. (NBR 14153:2013).

Na categoria 1 uma única falha pode levar a perda da função de segurança, porém a probabilidade de isso ocorrer é menor do que na Categoria B. A Figura 6 ilustra a arquitetura simbólica da categoria 1, onde I é o sinal de entrada, L é a lógica e O é a saída ou atuador.

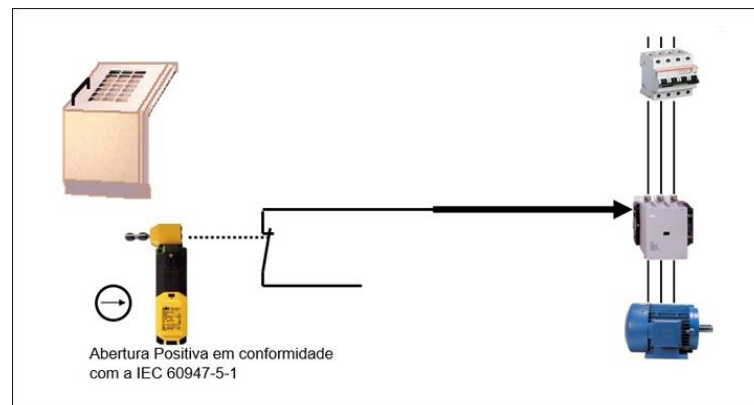
Figura 6 – Arquitetura da categoria 1



Fonte: Acervo pessoal

A figura 7 ilustra um modelo prático dessa arquitetura.

Figura 7 – Modelo Categoria 1



Fonte: Acervo pessoal

2.3.3 Categoria 2

Devem ser aplicados os requisitos da categoria B, o uso de princípios de segurança comprovados e os requisitos desta subseção. As partes de sistemas de comando relacionadas à segurança, de categoria 2, devem ser projetadas de tal forma que sejam verificadas em intervalos adequados pelo sistema de comando da máquina. A verificação das funções de segurança deve ser efetuada:

- a) na partida da máquina e antes do início de qualquer situação de perigo, e
- b) periodicamente durante a operação, se a avaliação do risco e o tipo de operação mostrarem que isso é necessário.

O início dessa verificação pode ser automático ou manual. Qualquer verificação da(s) função(ões) de segurança deve:

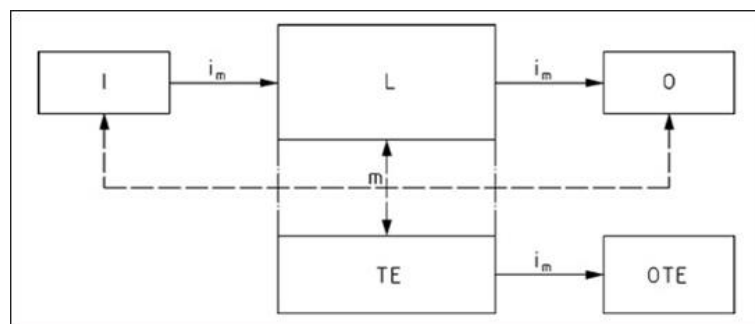
- a) permitir a operação se nenhum defeito foi constatado, ou
- b) gerar um sinal de saída, que inicia uma ação apropriada do comando, se um defeito foi constatado.

Sempre que possível, esse sinal deve comandar um estado seguro. Quando não for possível comandar um estado seguro, como, por exemplo, fusão de contatos no dispositivo final de comutação, a saída deve gerar um aviso do perigo. A verificação por si só não deve levar a uma situação de perigo. O equipamento de verificação pode ser parte integrante, ou não, da parte(s) relacionada(s) à segurança, que processa(m) a função de segurança. Após a detecção de um

defeito, o estado seguro deve ser mantido até que o defeito tenha sido sanado. (NBR 14153:2013).

Na categoria 2 uma falha entre as verificações pode levar a perda da função de segurança. A perda da função de segurança é detectada pela verificação. A Figura 8 ilustra a arquitetura simbólica da categoria 2, onde I é o sinal de entrada, L é a lógica e O é a saída ou atuador.

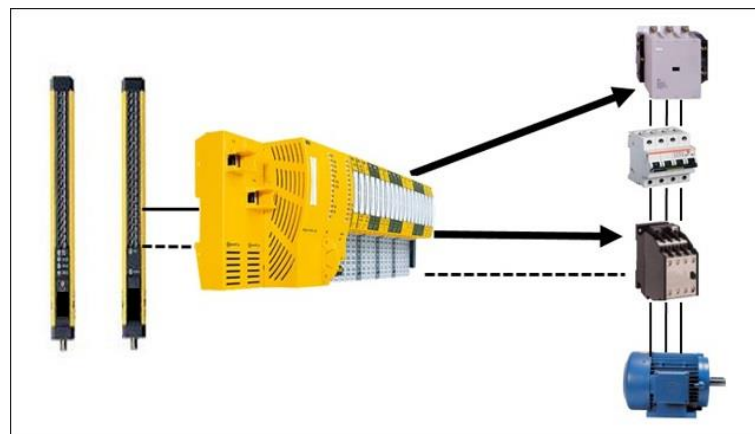
Figura 8 – Arquitetura da categoria 2



Fonte: Acervo pessoal

A figura 9 ilustra um modelo prático dessa arquitetura.

Figura 9 – Modelo Categoria 2



Fonte: Acervo pessoal

2.3.4 Categoria 3

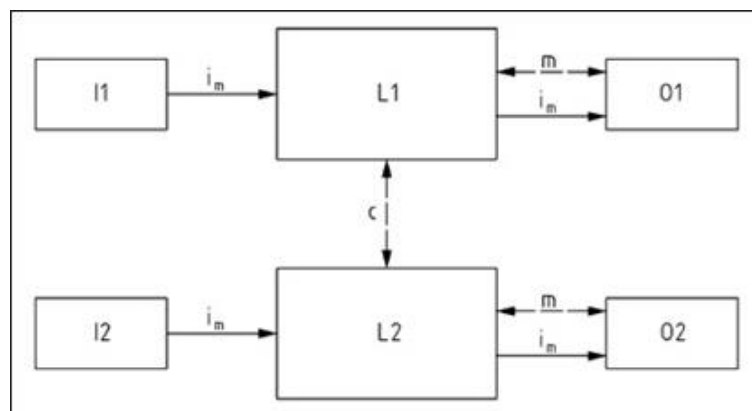
Devem ser aplicados os requisitos da categoria B, o uso de princípios comprovados de segurança e os requisitos desta subseção. Partes relacionadas à segurança de

sistemas de comando de categoria 3 devem ser projetadas de tal forma que um defeito isolado, em qualquer dessas partes, não leve à perda das funções de segurança. Defeitos de modos comuns devem ser considerados, quando a probabilidade da ocorrência de tal defeito for significativa. Sempre que, razoavelmente praticável, o defeito isolado deve ser detectado durante ou antes da próxima solicitação da função de segurança. O comportamento de sistema de categoria 3 permite que:

- a) quando o defeito isolado ocorre, a função de segurança sempre é cumprida;
 - b) alguns, mas não todos, defeitos sejam detectados;
 - c) o acúmulo de defeitos não detectados leve à perda da função de segurança.
- (NBR 14153:2013).

A Figura 10 ilustra a arquitetura simbólica da categoria 3, onde I é o sinal de entrada, L é a lógica e O é a saída ou atuador.

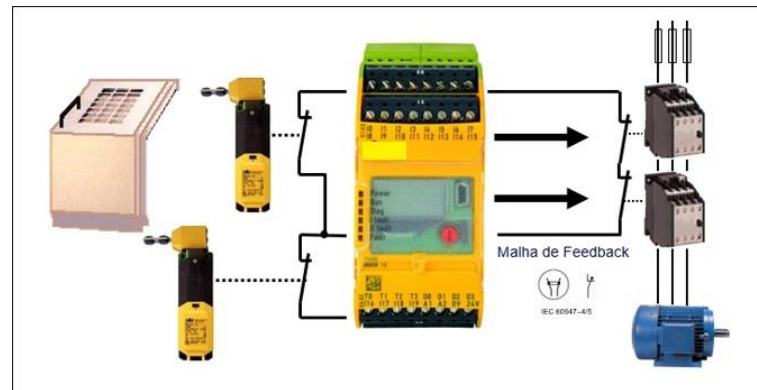
Figura 10 – Arquitetura da categoria 3



Fonte: Acervo pessoal

A figura 11 ilustra um modelo prático dessa arquitetura.

Figura 11 – Modelo Categoria 3



Fonte: Acervo pessoal

2.3.5 Categoria 4

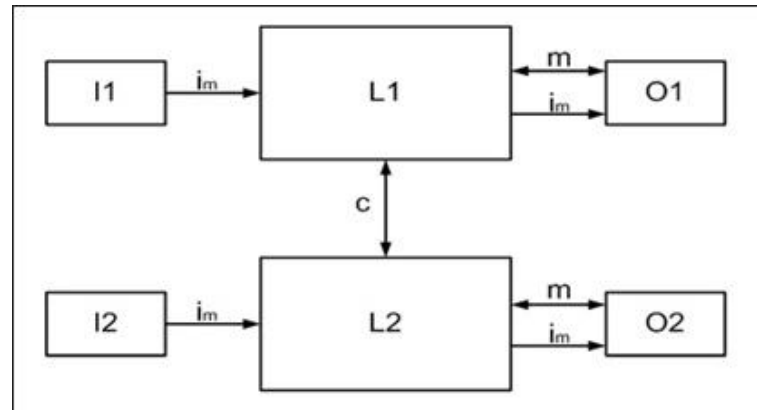
Devem ser aplicados os requisitos da categoria B, o uso de princípios comprovados de segurança e os requisitos desta subseção. Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança, de categoria 4, devem ser projetadas de tal forma que:

- a) uma falha isolada em qualquer dessas partes relacionadas à segurança não leve à perda das funções de segurança, e
- b) a falha isolada é 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 deve levar à perda das funções de segurança.

Se a detecção de certos defeitos não for possível ao menos durante a verificação seguinte à ocorrência do defeito, por razões de tecnologia ou engenharia de circuitos, a ocorrência de defeitos posteriores deve ser admitida. Nessa situação, o acúmulo de defeitos não deve levar à perda das funções de segurança. A revisão de defeitos pode ser suspensa, quando a probabilidade de ocorrência de defeitos posteriores, for considerada como sendo 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. (NBR 14153:2013).

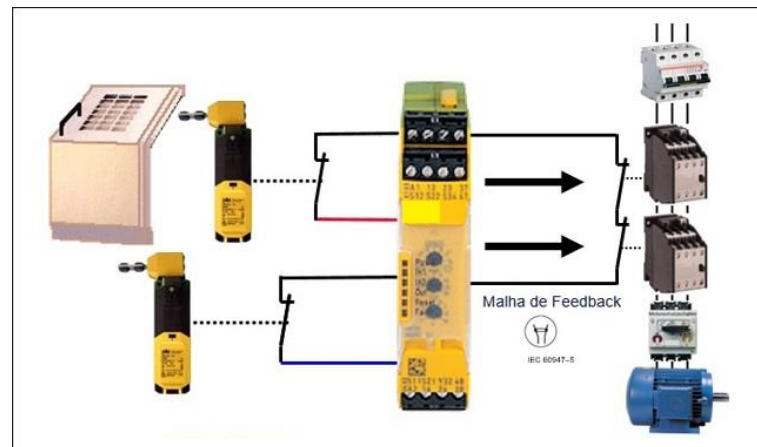
A Figura 12 ilustra a arquitetura simbólica da categoria 4, onde I é o sinal de entrada, L é a lógica e O é a saída ou atuador. A figura 13 ilustra um modelo prático dessa arquitetura.

Figura 12 – Arquitetura da categoria 4



Fonte: Acervo pessoal

Figura 13 – Modelo Categoria 4



Fonte: Acervo pessoal

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Após a realização de um inventário de segurança de todas as máquinas da planta de uma indústria de produtos de higiene pessoal, localizada na cidade do Rio de Janeiro, foi elaborado um *ranking* onde listaram-se as máquinas mais perigosas, de forma que no topo da lista estava a máquina que mais representava perigo aos colaboradores daquela indústria. Esta máquina é um armazém automatizado, composto por 6 (seis) transelevadores verticais. Com base nesta lista, a máquina em questão foi escolhida para ser completamente adequada, onde os trabalhos foram iniciados com a realização de uma Avaliação de Riscos completa do equipamento. Após essa fase seguiram-se as fases de Conceituação de Segurança, Projetos Elétricos e Mecânicos e a adequação completa do equipamento, onde tudo o que foi apontado como necessidade e projetado foi instalado. Por fim realizou-se a Validação de Segurança, que teve como objetivo atestar e garantir que tudo o que foi instalado e modificado durante a fase de execução estava em conformidade com as normas consideradas no projeto. O projeto total (desde o inventário de segurança até a validação) teve uma duração aproximada de 3 anos, e foi realizada em 3 (três) fases, sendo esta última finalizada no início do ano de 2016.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PLANTA

A planta onde a adequação foi realizada é dedicada a produção de bens de consumo e higiene pessoal, e está localizada na cidade do Rio de Janeiro, RJ e é dividida basicamente em 5 setores produtivos, denominados Depósito, Central de Pesagem, *Making*, *Packing* e Utilidades. A máquina objeto deste trabalho está instalada no setor Depósito, que tem uma área aproximada de 2366 metros quadrados.

3.2 INVENTÁRIO DE MÁQUINAS

Para priorizar e estabelecer em qual equipamento seria iniciada a adequação de segurança, uma avaliação geral da planta (inventário de máquinas) foi realizada na unidade fabril em questão. Todas as máquinas passaram pelo mesmo critério de

avaliação, onde foi considerado valores numéricos para os parâmetros de número de pessoas envolvidas, severidade do dano, probabilidade de ocorrência, frequência de exposição e possibilidade de evitar, além de outras informações como custo de adequação, custo da máquina, entre outros e para o transelevador foram obtidos os seguintes resultados:

Quadro 6 – Critérios de avaliação para definição de prioridade

Perigo	Impacto
Nº de pessoas	Mais que 2 pessoas
Severidade	Fatal
Probabilidade de ocorrência	Média
Frequência de exposição	Contínua
Possibilidade de evitar	Não possível

Fonte: Elaborado pelo autor

Além dos fatores acima, para estimativa do nível de risco para estabelecer as prioridades, são levados em consideração também diversos outros aspectos como: idade da máquina, custo da máquina, custo estimado para atualização, avaliação dos dispositivos de segurança existentes, avaliação da cultura de segurança da empresa, dentre outros.

Como resultado, o equipamento atingiu pontuação 25,63%, e nível de prioridade 1, sendo considerada a instalação que mais oferecia risco em toda a planta. Esta pontuação e este nível de prioridade tem como significado: “Muito Alta Prioridade, intervenção requerida na primeira oportunidade”.

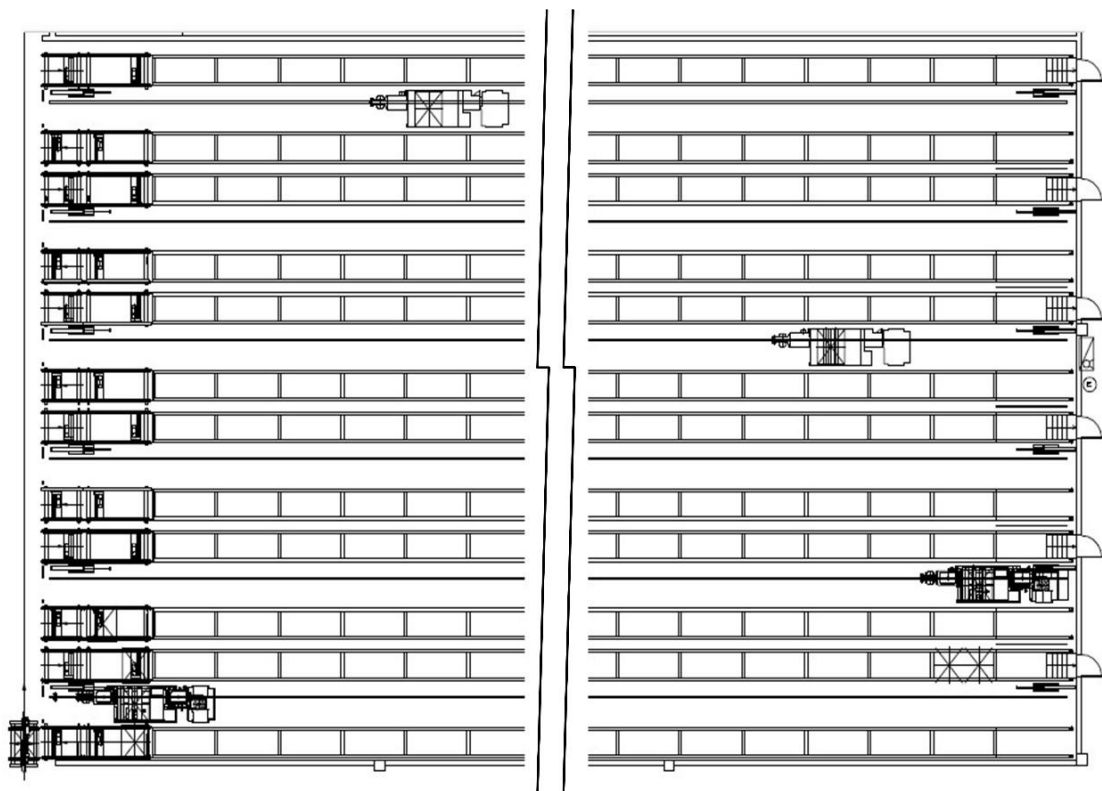
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

O Armazém Vertical Automatizado é composto de 6 transelevadores (*Stacker Cranes*), que percorrem horizontal e verticalmente 6 corredores formados por 12

racks de prateleiras, onde cada transelevador é responsável em colocar e retirar material de 2 prateleiras.

O equipamento foi fabricado no ano de 1999 pela empresa Thyssen Ingenieria y Sistemas S.A., no entanto não há registros da precisa data em que as instalações entraram em atividade nessa planta. O equipamento possui as seguintes dimensões aproximadas: 90 metros de comprimento, 26 metros de largura e 30 metros de altura. A Figura 14 ilustra o layout do equipamento.

Figura 14 – Vista superior reduzida do Armazém Vertical Automatizado



Fonte: Acervo pessoal

O equipamento possui uma área frontal ilustrada ao lado esquerdo da Figura 14 acima, que é utilizada para a circulação dos carros automáticos, que são responsáveis por transportar os paletes com produtos do Armazém para a área produtiva. Esta mesma área possui 6 portas que dão acesso aos corredores entre as prateleiras, também chamados de ruas. São nessas ruas que os 6 transelevadores fazem a movimentação das cargas.

As portas de acesso são utilizadas pelos operadores para intervenções manuais e ajustes no equipamento, além do acesso para realização de limpeza, manutenção e destravamento de cargas.

Ao final de cada rua há uma porta de saída de emergência, que são ilustradas no lado direito na Figura 14 acima. Essas portas são para uso restrito para fugas de emergência, e não são utilizadas para o acesso regular às ruas do equipamento.

O comando de todo o armazém é feito por um computador industrial central, localizado na sala de comando. Próximo às portas das ruas, existem comandos localizados para rearme da máquina após intervenção na operação. Os movimentos da máquina são realizados por servo drives que controlam os motores de movimento vertical e horizontal de cada transelevador. Basicamente, a fonte de energia para a máquina é elétrica, sendo uma alimentação de 380 volts (CA) para os circuitos de potência e 24 volts (CC) para os circuitos de controle.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 APRECIÇÃO DE RISCO DO EQUIPAMENTO

A Avaliação de Riscos realizada levantou 39 perigos, dentre eles mecânicos, elétricos, administrativos, *layout*, etc. Como base de informação para este trabalho, foram considerados apenas os principais perigos (mais graves).

4.1.1 Principais Perigos

4.1.1.1 Acesso às ruas através da entrada e saída de carga

As portas para acesso à parte interna das ruas possuíam dimensões adequadas para a aplicação, no entanto verificou-se que os dispositivos de monitoramento dessas portas não atendiam a categoria de segurança adequada. Além disso, era possível acessar a parte interna pelos vãos de entrada e saída dos paletes. Nas ruas 1 e 6 (extremidades) também era possível entrar na máquina pelos vãos laterais (entre parede e máquina). Também não era possível a abertura das portas pelo lado interno em caso de emergência. A Figura 15 destaca o acesso pela entrada de carga, além do acesso pelo vão lateral na parede.

Figura 15 – Entrada de carga da Rua 1



Fonte: Arquivo pessoal

Pelo método HRN, o perigo teve a seguinte classificação:

Quadro 7 – HRN Inicial

HRN Inicial	
PO	8
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	600
Nível do Risco	Extremo

Fonte: Elaborado pelo autor

Como medida de adequação, as chaves de segurança existentes foram substituídas por sensores de segurança, os quais foram ligados em malha de segurança em categoria 3. Além disso, nos vão de entrada e saída de paletes foram instaladas cortinas de luz com dispositivo de *muting*, que detecta e para a máquina imediatamente caso algo diferente de um pallet invada o espaço monitorado. Nas ruas 1 e 6 nas extremidades, proteções mecânicas fixas foram instaladas para

fechar os vãos. Também foi instalado dispositivo para permitir a abertura interna da porta em caso de emergência. A figura 16 demonstra o sistema de segurança instalado.

Figura 16 – Sistemas de segurança instalados



Fonte: Arquivo pessoal

Após implementadas as medidas de redução de risco, foi atingindo o grau de risco abaixo:

Quadro 8 – HRN Atingido

HRN Atingido	
PO	0,03
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	2,25
Nível HRN	Muito Baixo

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.2 Passagem entre ruas nas cabeceiras

Apesar da máquina possuir algum nível de proteção com portas e sensores convencionais, havia a possibilidade de um operador entrar em uma rua com o transelevador parado (via sensor de porta ou parada de emergência) e acessar passando por cima das esteiras da cabeceira da máquina as ruas ao lado com seus respectivos transelevadores em movimento. A figura 17 demonstra o ponto de acesso de uma rua para outra.

Figura 17 – Indicação do trajeto inseguro possível



Fonte: Arquivo pessoal

Pelo método HRN, o perigo teve a seguinte classificação:

Quadro 9 – HRN Inicial

HRN Inicial	
PO	5
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	375
Nível do Risco	Muito Alto

Fonte: Elaborado pelo autor

Como medida de adequação foram instaladas cortinas de luz na posição vertical, entre uma rua e outra. Caso o operador esteja em uma rua com máquina parada e tente invadir a rua ao lado por cima das esteiras, o transelevador da rua invadida indevidamente imediatamente para em modo de emergência. A figura 18 demonstra o sistema de segurança instalado.

Figura 18 – Cortinas de luz entre ruas



Fonte: Arquivo pessoal

Após implementadas as medidas de redução de risco, foi atingindo o grau de risco abaixo:

Quadro 10 – HRN Atingido

HRN Atingido	
PO	0,03
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	2,25
Nível HRN	Muito Baixo

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.3 Passagem entre ruas nas prateleiras

Além da possibilidade de migração indevida do operador entre ruas citado no item anterior, havia a possibilidade de o operador acessar as ruas ao lado passando por baixo ou por cima das prateleiras ao longo do armazém. Quando as prateleiras estavam vazias, esse acesso era ainda mais facilitado. A figura 19 demonstra o ponto de acesso de uma rua para outra.

Figura 19 – Indicação do trajeto entre ruas



Fonte: Arquivo pessoal

Pelo método HRN, o perigo teve a seguinte classificação:

Quadro 11 – HRN Inicial

HRN Inicial	
PO	5
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	375
Nível do Risco	Muito Alto

Fonte: Elaborado pelo autor

Como medida de adequação foram instaladas proteções mecânicas (barreiras) fixas ao longo dos quase 100 metros de comprimento do corredor entre cada rua. A figura 20 demonstra o sistema de segurança instalado.

Figura 20 – Barreiras fixas entre ruas



Fonte: Arquivo pessoal

Após implementadas as medidas de redução de risco, foi atingindo o grau de risco abaixo:

Quadro 12 – HRN Atingido

HRN Atingido	
PO	0,03
FE	0,5
GPL	15
NP	2
HRN	0,45
Nível HRN	Desprezível

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.4 Acesso pela porta de fuga de emergência

Cada rua possui no final do corredor uma porta de fuga de emergência. A porta abre somente por dentro, impedindo pessoas de abrir por fora para acessar o interior da rua. No entanto, uma vez a porta aberta por dentro, caso houvesse o esquecimento da mesma aberta, a máquina podia funcionar normalmente, e o acesso por essas portas seria possível. As portas possuíam sensores instalados para detecção de portas abertas e parada da máquina, mas estes sensores não estavam ligados em categoria de segurança adequada. A figura 21 demonstra o ponto de acesso pelas portas de fuga de emergência e no detalhe o sensor antigo.

Figura 21 – Portas de emergência e detalhe do sensor antigo



Fonte: Arquivo pessoal

Pelo método HRN, o perigo teve a seguinte classificação:

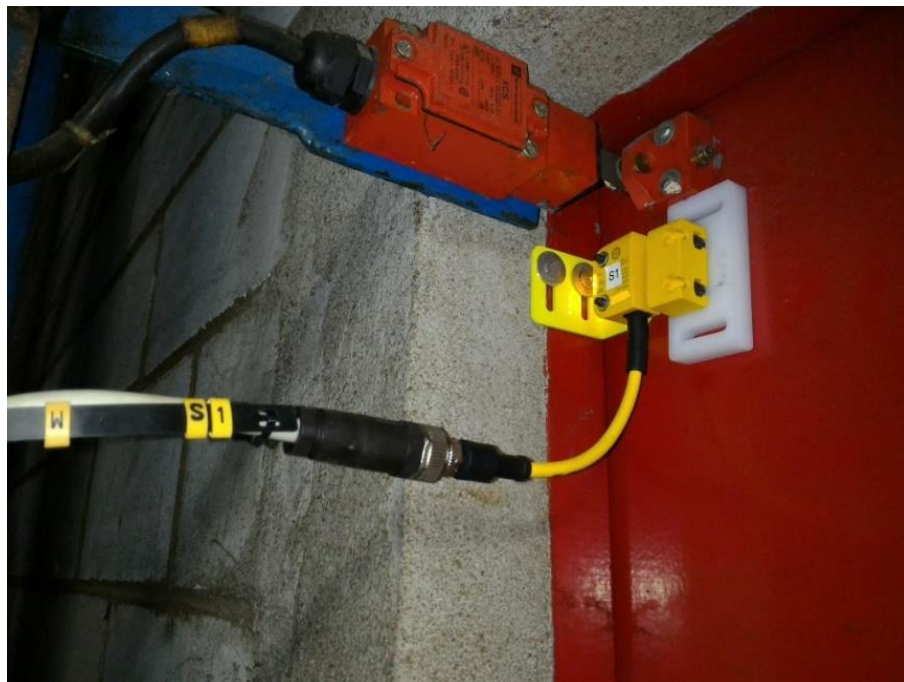
Quadro 13 – HRN Inicial

HRN Inicial	
PO	5
FE	1
GPL	15
NP	2
HRN	150
Nível do Risco	Muito Alto

Fonte: Elaborado pelo autor

Como medida de adequação foram instalados sensores magnéticos adicionais aos sensores existentes em cada porta. Os sensores foram ligados em malha de segurança, em categoria 3. A figura 22 demonstra o sistema de segurança instalado.

Figura 22 – Sensores de segurança instalados



Fonte: Arquivo pessoal

Após implementadas as medidas de redução de risco, foi atingindo o grau de risco abaixo:

Quadro 14 – HRN Atingido

HRN Atingido	
PO	0,03
FE	1
GPL	15
NP	2
HRN	0,9
Nível HRN	Desprezível

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.5 Acesso às diversas partes móveis da máquina

A máquina possui ao longo de seu perímetro diversas partes móveis de correntes, engrenagens, transportadores, etc. Esses pontos, se acessado com a máquina em movimento, poderia causar fraturas aos membros superiores dos operadores. As figuras 23, 24 e 25 demonstram alguns desses pontos de partes móveis expostas.

Figura 23 – Parte móvel exposta



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 24 – Parte móvel exposta



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 25 – Parte móvel exposta



Fonte: Arquivo pessoal

Pelo método HRN, os perigos tiveram a seguinte classificação:

Quadro 15 – HRN Inicial

HRN Inicial	
PO	5
FE	5
GPL	4
NP	2
HRN	200
Nível do Risco	Muito Alto

Fonte: Elaborado pelo autor

Como medida de adequação foram instaladas proteções mecânicas fixas em todos os pontos onde haviam partes móveis expostas. As figuras 26, 27 e 28 demonstram algumas das proteções mecânicas fixas instaladas.

Figura 26 – Proteções mecânicas fixas instaladas



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 27 – Proteções mecânicas fixas instaladas



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 28 – Proteções mecânicas fixas instaladas



Fonte: Arquivo pessoal

Após implementadas as medidas de redução de risco, foi atingindo o grau de risco abaixo:

Quadro 16 – HRN Atingido

HRN Atingido	
PO	0,03
FE	1
GPL	4
NP	2
HRN	0,24
Nível HRN	Desprezível

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.6 Queda de pessoas da cabine de comando

As cabines de comando possuíam fechamento parcial (Figura 29) do seu perímetro. Esse fechamento não era suficiente dimensionado para evitar a queda de pessoas durante deslocamentos.

Figura 29 – Fechamento da cabine insuficiente



Fonte: Arquivo pessoal

Pelo método HRN, os perigos tiveram a seguinte classificação:

Quadro 17 – HRN Inicial

HRN Inicial	
PO	5
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	375
Nível do Risco	Muito Alto

Fonte: Elaborado pelo autor

Como medida de adequação foram instaladas proteções mecânicas fixas no perímetro das cabines de controle de cada transelevador. As grades foram dimensionadas de forma a não interferir na visibilidade e na operação. A Figura 30 demonstra a cabine com as novas proteções mecânicas fixas.

Figura 30 – Novo fechamento da cabine



Fonte: Arquivo pessoal

Após implementadas as medidas de redução de risco, foi atingindo o grau de risco abaixo:

Quadro 18 – HRN Atingido

HRN Atingido	
PO	0,03
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	2,25
Nível HRN	Muito Baixo

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.7 Modo de operação manual

Cada transelevador pode ser pilotado em modo manual. Eles podem ser operados de duas formas: do chão ou da cabine interna do elevador. Do chão o operador aciona um botão de *jog* (Figura 31) para movimentá-lo até a posição desejada, caminhando junto com a máquina. O principal perigo que havia nesse modo de operação era poder utilizar apenas uma das mãos para operação, deixando a outra mão livre, podendo essa entrar em contato com partes móveis da máquina.

Figura 31 – Botão *jog* para comando (antigo)

Fonte: Arquivo pessoal

Já da cabine interna, o operador pilota o equipamento com um painel de controle e *joysticks* (Figura 32), de forma semelhante a se operar uma empilhadeira. Nesse caso, o operador move a máquina e a si próprio para qualquer posição do armazém, para alguma verificação de material ou ajuste da máquina. Os principais perigos que haviam nesse modo de operação eram poder movimentar o transelevador com as portas da cabine abertas e utilizar apenas uma das mãos para operação, deixando a outra mão livre, podendo essa se chocar com prateleiras durante o deslocamento.

Figura 32 – Painel de comando da cabine



Fonte: Arquivo pessoal

As tarefas em modo manual são realizadas em no mínimo duas pessoas, pois caso haja um mal súbito de um dos operadores, o outro consegue resgatá-lo.

Nesse modo de operação a máquina se movimenta em velocidade reduzida, tanto no modo de operação do chão como na operação pela cabine. Na operação pela cabine o operador utiliza ainda cinto de segurança de duplo talabarte preso a ponto específico no interior da cabine, pois o equipamento pode atingir aproximadamente 30 metros de altura na sua posição mais alta.

O sistema de controle dos modos Automático, Manual e Resgate estavam sendo gerenciados por CLP de convencional, onde uma falha desses controles poderia

ocasionar o movimento involuntário da máquina, podendo causar sérias lesões aos operadores ou até mesmo uma fatalidade.

Pelo método HRN, os perigos tiveram a seguinte classificação:

Quadro 19 – HRN Inicial

HRN Inicial	
PO	8
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	600
Nível do Risco	Extremo

Fonte: Elaborado pelo autor

Como medida de adequação foram adotadas diversas medidas, dentre elas a instalação de todo modo de operação (automático, manual e resgate) em malha de segurança em categoria 3.

Para a operação do piso, um botão de *jog* (Figura 33) foi instalado. Com esse tipo de botão, o operador precisa estar com as duas mãos acionando os botões para que a máquina se mova, eliminando o perigo de uma das mãos desocupadas ser atingida por alguma parte móvel.

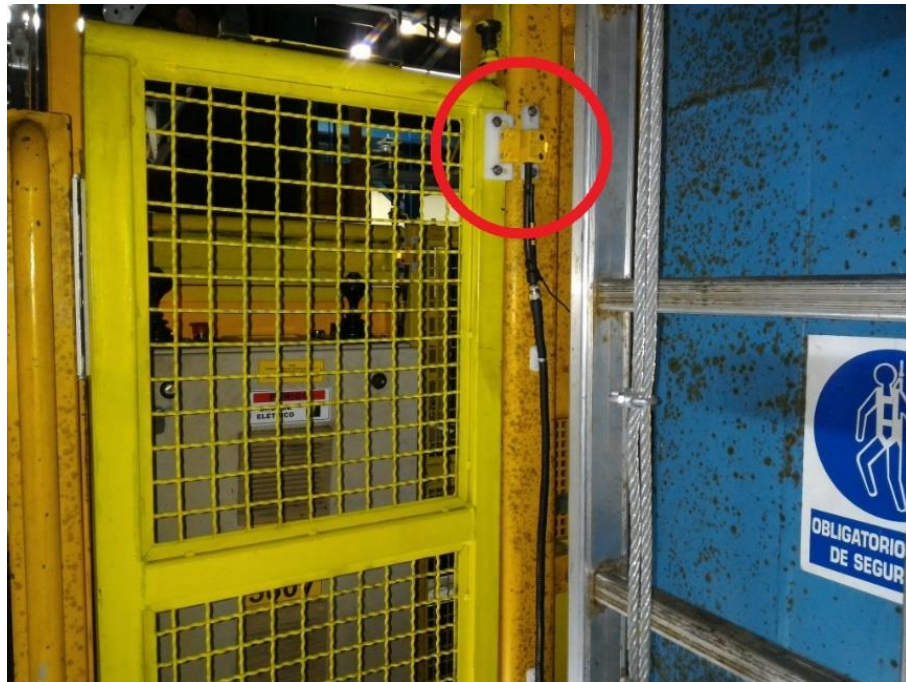
Figura 33 – Botão de jog bimanual



Fonte: Arquivo pessoal

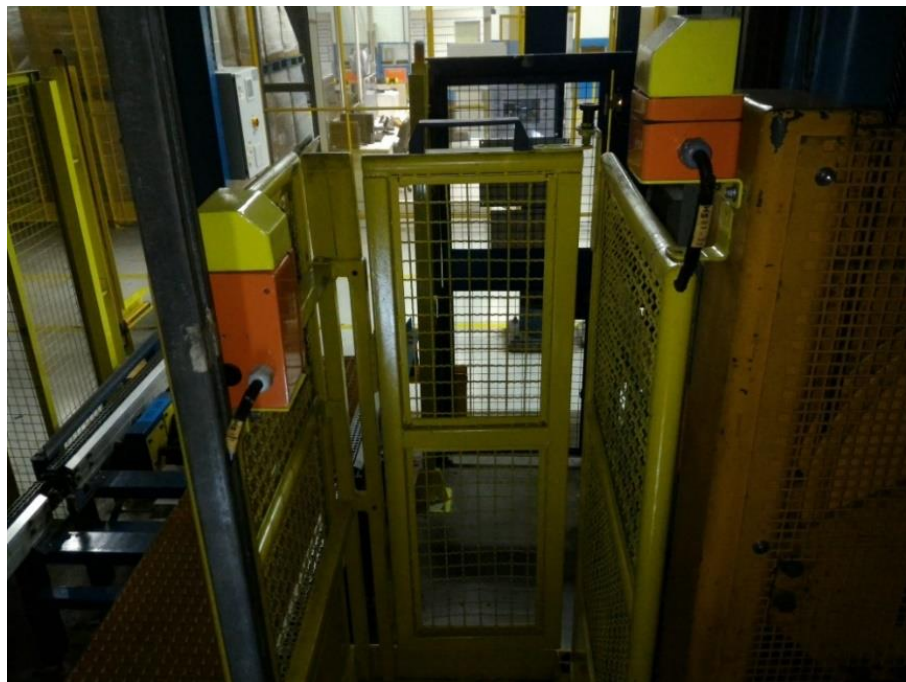
Para a operação da cabine, foram instalados sensores nas portas (Figura 34) e comando bimanual para a movimentação (Figura 35). A máquina somente se move com as portas de acesso a cabine fechadas e com o acionamento simultâneo dos dois botões do comando bimanual.

Figura 34 – Sensor da porta da cabine



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 35 – Comando bimanual da cabine



Fonte: Arquivo pessoal

O modo de operação de resgate tem preferência sobre qualquer comando (exceto parada de emergência) e pode ser utilizado por um segundo operador que visa resgatar alguma pessoa que está dentro da cabine em estado de mal súbito. O

acionamento é liberado mediante a utilização de uma chave específica no painel de modo de operação (Figura 36), por pessoas que foram treinadas para esse modo de operação.

Figura 36 – Painel de seleção de modo operacional



Fonte: Arquivo pessoal

Após implementadas as medidas de redução de risco, foi atingindo o grau de risco abaixo:

Quadro 20 – HRN Atingido

HRN Atingido	
PO	0,03
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	2,25
Nível HRN	Desprezível

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.8 Botão rearme na parte interna das ruas

Na parte interna das ruas havia um botão (Figura 37) para rearmar a o sistema da máquina e coloca-la em funcionamento. A partida da máquina com pessoas na parte interna das ruas poderia causar graves lesões aos operadores, podendo chegar a causar fatalidade.

Figura 37 – Botão de rearme na parte interna



Fonte: Arquivo pessoal

Pelo método HRN, os perigos tiveram a seguinte classificação:

Quadro 21 – HRN Inicial

HRN Inicial	
PO	8
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	600
Nível do Risco	Extremo

Fonte: Elaborado pelo autor

Como medida de adequação os botões na parte interna da máquina foram removidos, e a máquina só pode ser rearmada através dos botões de rearme localizados externamente (Figura 38).

Figura 38 – Botão de rearme na parte externa



Fonte: Arquivo pessoal

Após implementada a medida de redução de risco, foi atingindo o grau de risco abaixo:

Quadro 22 – HRN Atingido

HRN Atingido	
PO	0,03
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	2,25
Nível HRN	Desprezível

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.9 Categorização do circuito de segurança

A máquina possuía circuitos de segurança, tais como botões de emergência e sensores de porta em categoria B, onde grande parte dos componentes utilizados era de automação convencional. Os poucos componentes certificados de segurança que haviam não estavam ligados em categoria mínima de segurança exigida.

Pelo método HRN, os perigos tiveram a seguinte classificação:

Quadro 23 – HRN Inicial

HRN Inicial	
PO	8
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	600
Nível do Risco	Extremo

Fonte: Elaborado pelo autor

Como medida de adequação todos os componentes de entrada, saída e lógica são certificados para aplicação em segurança, e foram configurados em categoria 3.

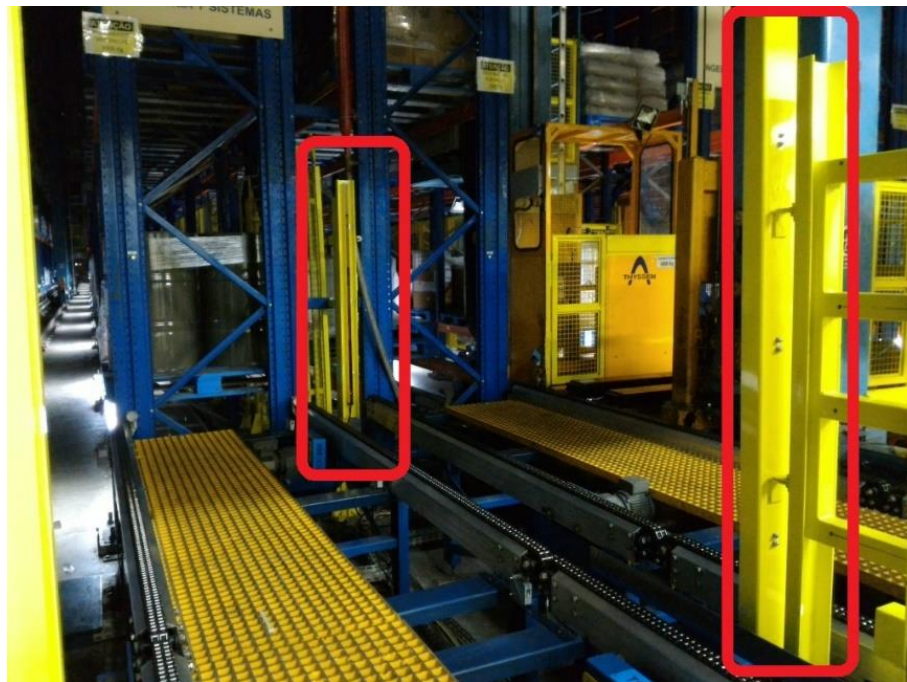
Nos componentes de entrada, foram instalados botões de emergência (Figura 39) em diversos pontos estratégicos da máquina, cortinas de luz (Figura 40) em cada entrada e saída de carga e entre as ruas. Foram ainda instalados sensores de segurança (Figura 41) nas portas de acesso às ruas, nas portas das cabines de cada transelevador, e nas portas de fuga de emergência. Para o sistema de acionamento manual foram instalados bimanuais (Figura 42) e chaves de seleção (Figura 43).

Figura 39 – Botão de emergência



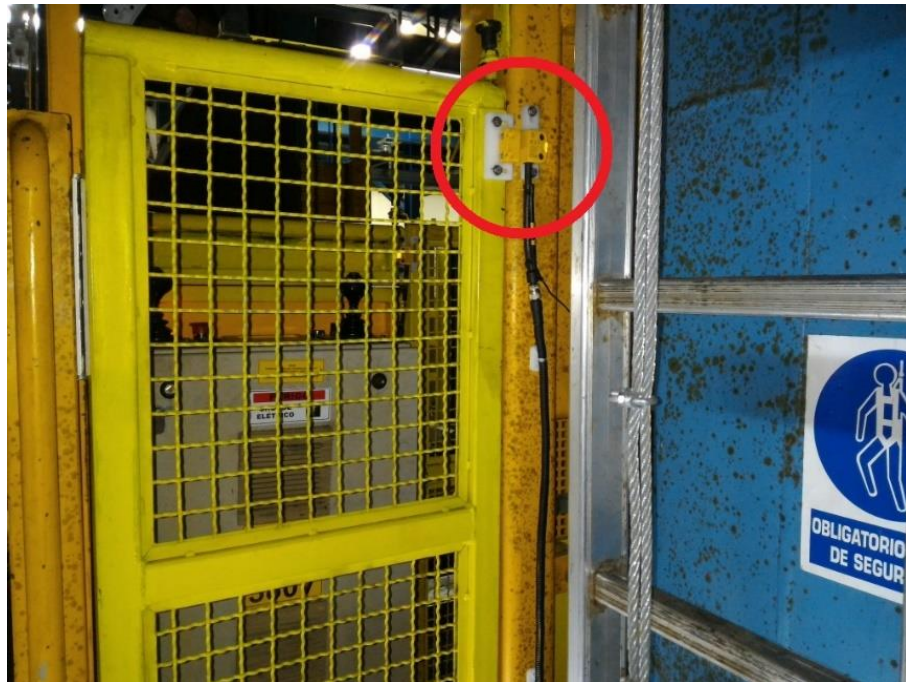
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 40 – Cortina de luz



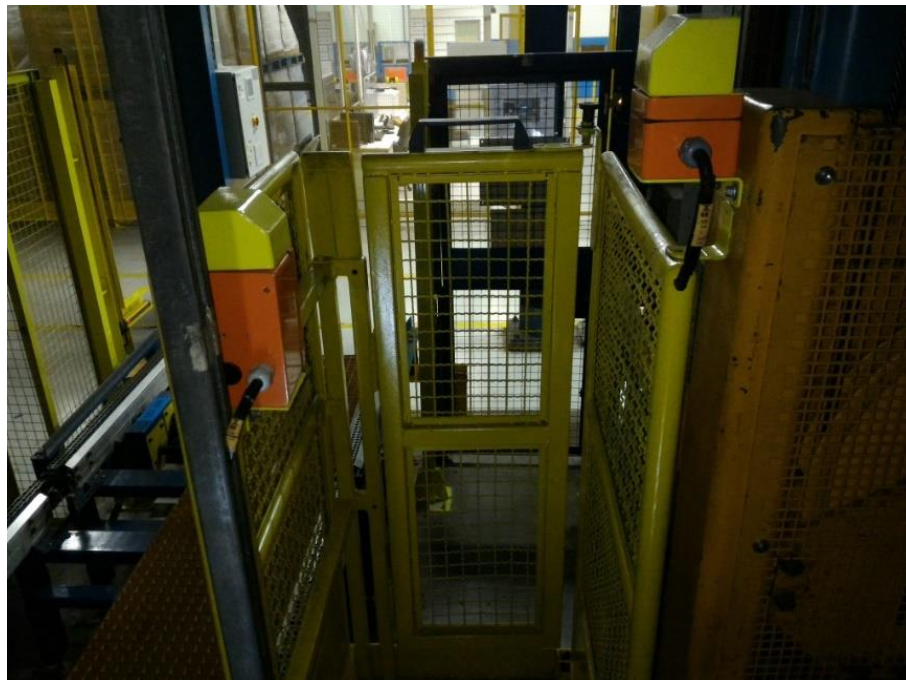
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 41 – Sensores de segurança



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 42 – Comando bimanual



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 43 – Chaves de seleção



Fonte: Arquivo pessoal

Para a controlar a lógica de todo o sistema de segurança, foi instalado um CLP de segurança central (Figura 44), fazendo comunicação via rede de dados segura com os CLPs de segurança de cada transelevador. Um dispositivo de comunicação segura a laser (Figura 45), sem fio, foi instalado em cada transelevador para fazer a comunicação entre as partes que se deslocam e o painel elétrico de cada rua.

Figura 44 – CLP de segurança principal / semelhante aos CLPs localizados



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 45 – Dispositivo de comunicação segura a laser

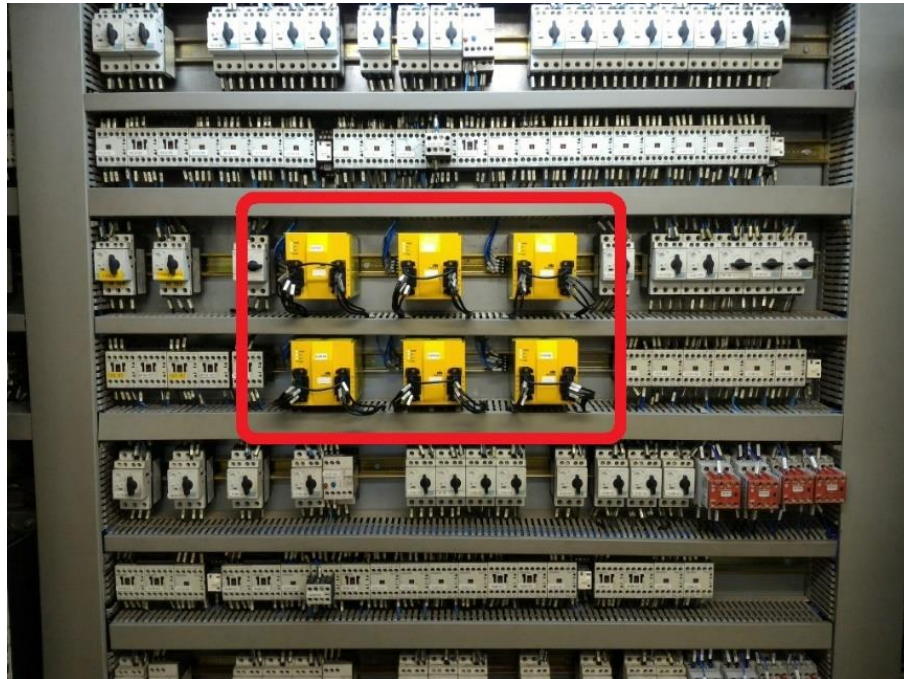


Fonte: Arquivo pessoal

As entradas são processadas pelos CLPs de segurança, que por sua vez fazem o acionamento dos dispositivos de saída, também conhecidos como atuadores. Nos atuadores foram instalados duplo contadores de segurança (Figura 46) para desligar

de modo seguro cada motor de transportador. Para os motores dos eixos X, Y e Z dos transelevadores, os servo drives antigos foram substituídos por novos servo drives (Figura 47) com função STO (*Safe Torque Off*). O sinal para parar os servo drives via STO são enviados por relés de segurança (Figura 48) acionados pelo CLP se segurança central.

Figura 46 – Duplos contadores de segurança



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 47 – Servo drives com STO



Fonte: SEW do Brasil (2017)

Figura 48 – Relés de segurança



Fonte: Arquivo pessoal

Após implementada a medida de redução de risco, foi atingindo o grau de risco abaixo:

Quadro 24 – HRN Atingido

HRN Atingido	
PO	0,03
FE	2,5
GPL	15
NP	2
HRN	2,25
Nível HRN	Desprezível

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.2 Demais medidas de adequação de segurança

Além dos principais perigos listados anteriormente, outras medidas foram tomadas para que a máquina se tornasse o mais seguro o quanto praticável, dentre elas listam-se:

- a) os sensores de limite de curso dos transelevadores foram substituídos por sensores de segurança, e monitorados em categoria 3;
- b) foi instalado em cada transelevador um sinalizador sonoro e iluminado, onde uma luz pisca e um alto som (buzina) é emitido segundos antes da máquina entrar em movimento;
- c) instalação de iluminação na parte interna das ruas, para melhor visualização. O local é escuro, e anteriormente a iluminação era precária;
- d) instalação de barreiras de acrílico em todas as componentes do painel elétrico que possuíam partes energizadas expostas;
- e) aterramento de painéis elétricos e partes metálicas que ofereciam risco de se tornarem energizadas em caso de falha elétrica;
- f) Identificação de todos os botões de comando;
- g) fixação de sinalização informando os perigos da máquina;
- h) atualização do procedimento de bloqueio de energias (LOTO) existente para as tarefas de manutenção;
- i) atualização de todos os manuais, procedimentos de segurança, diagramas da máquina.

4.2 RESUMO DOS RESULTADOS

A presente monografia abordou todos os passos para adequação de um Armazém Vertical Automatizado, desde o inventário de máquinas até a execução do projeto e instalação dos sistemas de segurança.

Foram listados e detalhados na seção anterior os 9 perigos de maior gravidade encontrados no equipamento. Ao comparar-se o nível dos riscos antes e depois da adequação pode-se verificar os seguintes resultados:

Quadro 25 – Comparativo Antes e Depois

Redução dos Principais Perigos					
Perigo	HRN Inicial	Classificação	HRN Atingido	Classificação	Redução do Risco (%)
4.1.1.1	600	Extremo	2,25	Muito Baixo	99,63
4.1.1.2	375	Muito Alto	2,25	Muito Baixo	99,40
4.1.1.3	375	Muito Alto	0,45	Desprezível	99,88
4.1.1.4	150	Muito Alto	0,9	Desprezível	99,40
4.1.1.5	200	Muito Alto	0,24	Desprezível	99,88
4.1.1.6	375	Muito Alto	2,25	Muito Baixo	99,40
4.1.1.7	600	Extremo	2,25	Muito Baixo	99,63
4.1.1.8	600	Extremo	2,25	Muito Baixo	99,63
4.1.1.9	600	Extremo	2,25	Muito Baixo	99,63

Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar do alto risco envolvido, por uma questão de limitação técnica não foi possível fazer as instalações dos transelevadores atingirem o nível de categoria 4 de segurança, pois os servo drives que foram utilizados nos movimentos dos eixos X, Y e Z dos transelevadores são projetados para atingir no máximo a categoria 3.

Mesmo atingindo Categoria 3, pode-se observar uma redução de 99% no nível dos principais perigos encontrados na máquina.

Já nos movimentos dos transportadores, a categoria 4 foi atingida, com a instalação de duplo contadores de segurança para o acionamento.

Não foi detalhado nessa monografia, mas após a adequação da máquina, foi realizada a etapa de validação de segurança, onde uma nova Avaliação de Riscos foi realizada, e uma série de testes e simulações de falhas e burlas foram feitas para assegurar que tudo o que foi instalado está dentro das conformidades legais. O processo de validação de segurança não apontou qualquer insegurança no equipamento.

O projeto foi concluído em junho 2016, e desde essa data até fevereiro de 2018 (data desta monografia) não foi registrado qualquer acidente ou incidente na planta envolvendo este equipamento.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adequação de uma máquina desse porte, já em funcionamento é um grande desafio de engenharia. Toda a produção da planta, assim como todo escoamento de todo produto acabado produzido depende diretamente do Armazém Vertical Automatizado.

Os trabalhos de instalação e migração para o novo sistema de segurança requerem paradas de máquina, por horas, dias ou até mesmo semanas. Durante esse período a máquina fica inoperável, e a produção precisa ser muito bem planejada para que não ocorram atrasos no fornecimento de matéria prima ou atrasos de entrega dos produtos acabados aos clientes da fábrica.

Outro desafio encontrado foi conciliar a idade da máquina com a nova tecnologia que foi empregada. O uso de novas tecnologias torna a máquina por vezes mais sensível a problemas elétricos e mecânicos pré-existentes, fazendo com que tais defeitos sejam muito mais ressaltados, o que dificulta o *startup* da máquina após as paradas para instalação.

Mesmo com todos os desafios encontrados, não houve nada que não pudesse ter sido resolvido. Nenhum dos imprevistos durante a execução do projeto pode fazer com que a máquina não fosse adequada.

A adequação de uma máquina complexa como essa nos mostra que basta uma boa organização e uma disponibilidade de investimento para que qualquer máquina de uma fábrica possa se tornar segura, independente da sua aplicação e tempo de funcionamento.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou que independente da complexidade da máquina, é possível diminuir consideravelmente os riscos presentes durante sua operação, e que com um planejamento adequado e um projeto onde todos os interessados são envolvidos, a adequação de segurança não inviabiliza o dia a dia da produção.

REFERÊNCIAS

ABIMAQ - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos. **NR-12 - Notícias e atualizações**. Disponível em:

<<http://www.abimaq.org.br/site.aspx/Destaques-home?codNoticia=iwoL0ZF6h9w=>>.

Acesso em: 25 nov. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12100:2013 -**

Segurança de máquinas – Princípios gerais de projeto - Avaliação e redução de riscos. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=307757>>.

Acesso em: 26 nov. 2017.

_____. **NBR 14153:2013 - Segurança de máquinas — Partes de sistemas de comando relacionados à segurança — Princípios gerais para projeto**. Disponível em:

< <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=255483>>. Acesso em: 02 dez.

2017.

BRASIL. MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12 - Segurança de máquinas – Princípios gerais de projeto - Avaliação e redução de riscos**. Disponível em: <

<http://www.trabalho.gov.br/images//Documentos/SST/NR/NR12/NR-12.pdf>>. Acesso

em: 26 nov. 2017.

_____. Previdência Social. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho 2016**.

Disponível em < [http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/AEAT-](http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/AEAT-2016.pdf)

2016.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2018.

FGL Gestão Logística. **Você sabe o que é um transelevador?** Disponível em: <

<http://fgl.com.br/voce-sabe-o-que-e-um-transelevador>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

IMAM. Revista Logística & *Supply Chain*. **Movimentação**. Disponível em <

<https://www.imam.com.br/logistica/noticias/movimentacao/250-por-que-automatizar>>.

Acesso em 12 mai. 2018.

MECALUX DO BRASIL SISTEMAS DE ARMAZENAGEM LTDA. **Transelevadores para paletes.** Disponível em < <https://www.mecalux.com.br/armazens-automaticos-para-paletes/transelevadores>>. Acesso em: 12 mai. 2018.

PILZ DO BRASIL. **Direito e normas no Brasil – NR-12.** Disponível em: < <https://www.pilz.com/pt-BR/company/news/articles/083497>>. Acesso em 12 mai. 2018.

GLOSSÁRIO

TERMOS E DEFINIÇÕES – NORMA ABNT ISO 12100, 2013

Análise de risco: combinação da especificação dos limites da máquina, identificação de perigos e estimativa de riscos.

Avaliação de risco: julgamento com base na estimativa de risco, do quanto os objetivos de redução de risco foram atingidos.

Apreciação do risco: processo completo que compreende a análise de risco e a avaliação de risco.

Dano: lesão física ou prejuízo à saúde.

Estimativa de risco: definição da provável gravidade de um dano e a probabilidade de sua ocorrência.

Forma razoavelmente previsível de má utilização: uso de uma máquina de maneira não prevista em projeto, decorrente do comportamento humano instintivo.

Função de segurança: função da máquina cuja falha pode resultar em um aumento imediato do(s) risco(s).

Máquina ou maquinário: conjunto de peças ou de componentes ligados entre si, em que pelo menos um deles se move, com os apropriados atuadores, circuitos de comando e potência etc., reunidos de forma solidária com vista a uma aplicação definida, tal como a transformação, o tratamento, a deslocamento e o acondicionamento de um material. Considera-se igualmente como “maquinário” ou “máquina” um conjunto de máquinas que, para a obtenção de um mesmo resultado, estão dispostas e são comandadas de modo a serem solidárias no seu funcionamento.

Medida de proteção: medidas com as quais se pretende atingir a redução de risco, podendo ser implementadas pelo projetista e pelo usuário.

Medida de segurança: medida de proteção que adota dispositivos de proteção para pessoas contra perigos que não podem ser suficientemente reduzidos através de medidas de segurança inerentes ao projeto.

Perigo: potencial causa de dano. O termo "perigo" pode ser qualificado através de termos que especificam melhor a sua origem como, por exemplo: perigo mecânico ou elétrico, ou termos que apontam a natureza do perigo potencial como: perigo de choque elétrico, perigo de esmagamento, perigo de corte por cisalhamento, perigo de intoxicação, etc.

Risco: combinação da probabilidade de ocorrência de um possível dano e da severidade do mesmo.

Risco residual: risco remanescente mesmo após terem sido adotadas medidas de proteção.

Situação perigosa: situação em que uma pessoa fica exposta a ao menos um perigo. Tal exposição pode levar a um dano imediato ou após um determinado período de tempo.