



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Curso de Especialização em Automação Industrial

IMPLANTAÇÃO DE AUTOMAÇÃO SEGURA ENTRE CLPs SIEMENS EM CONFORMIDADE COM O PADRÃO NR-12

Rafael José Maia

Belo Horizonte – MG

Outubro de 2016

Universidade Federal de Minas Gerais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Curso de Especialização em Automação Industrial
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte – MG, 31270-901
(31) 3409-5000 – dee@eee.ufmg.br

Rafael José Maia

IMPLANTAÇÃO DE AUTOMAÇÃO SEGURA ENTRE CLPs SIEMENS EM CONFORMIDADE COM O PADRÃO NR-12

Monografia submetida á Banca Examinadora designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Automação Industrial, **como parte dos requisitos necessários á obtenção do Certificado de Especialista em Automação Industrial.**

Área de Concentração: Engenharia Elétrica
com Ênfase em Automação

Orientador (a): Professor Hugo C. C. Michel
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte
Escola de Engenharia Elétrica
Outubro de 2016

Folha de Aprovação a ser anexada

AGRADECIMENTOS

À DEUS em primeiro lugar, pela proteção divina e por me dar capacidade e sabedoria para a realização deste curso.

À minha querida esposa Daniele Maia que compreendeu os vários dias e noites intensas de dedicação deste trabalho, me dando forças e apoio.

Ao Prof. Hugo C. C. Michel, pela orientação fundamental á realização desta dissertação e por sua amizade.

Aos Professores Doutores Walmir Caminhas, Luciano de Errico e Carmela Maria Polito Braga, cuja contribuição prestada na fase de qualificação permitiu o aprimoramento deste trabalho.

Aos meus amigos do Curso de Especialização em Automação, pelas discussões e convívio durante a realização de nossas atividades dentro e fora de sala.

Aos sócios da empresa Simatec Tecnologia em Automação LTDA por permitirem o aprendizado no qual foi possível a realização do tema abordado e pela disponibilização das informações necessárias.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.2. OBJETIVOS.....	14
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	14
2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. NORMA NACIONAL PARA SEGURANÇA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	15
2.1.1. A NORMA NR-12	15
2.1.2. ASPECTOS IMPORTANTES A SEREM OBSERVADOS.....	16
2.1.3. APRECIÇÃO DO RISCO	18
2.2. FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO (TRANSPORTE DA TÊMPERA E O PROCESSO DE LAMINAÇÃO CONTÍNUA)	23
2.3. TECNOLOGIA DE SEGURANÇA INSTRÍNSECA (<i>SAFETY</i>)	24
2.3.1. CPU <i>SAFETY</i> (<i>SIEMENS</i>).....	25
2.3.2. COMUNICAÇÃO SEGURA (<i>PROFISAFE</i>)	26
2.3.3. CARTÕES F-DI/DO	27
2.3.4. DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA INSTRÍNSECA (<i>SAFETY</i>)	28
2.3.5. SOFTWARE STEP 7 – PACOTE <i>SAFETY</i>	31
2.3.6. SISTEMA DE SUPERVISÃO E COMANDO	39
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO.....	43
3.1. APRECIÇÃO E ANÁLISE DOS RISCOS DO EQUIPAMENTO.....	43
3.2. LEVANTAMENTO DE ENTRADAS E SAÍDAS DE SEGURANÇA INSTRÍNSECA	45
3.3. LEVANTAMENTO DO CONTROLADOR E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA INTRÍNSECA	47
3.4. PROGRAMAÇÃO DA APLICAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO SEGURA	49
3.5. ALTERAÇÕES PROPOSTAS PARA A ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO SEGURA... 51	
4. RESULTADOS E ANÁLISE.....	52
4.1. APRECIÇÃO DO RISCO.....	52
4.2. OPERAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO COM SEGURANÇA INSTRÍNSECA	54
5. CONCLUSÃO	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Custo total do investimento em segurança de máquinas e equipamentos e custo total do acidente de trabalho.	17
Figura 2: Região de risco aceitável segundo a norma NR-12.	18
Figura 3: Determinação dos limites da máquina.	19
Figura 4: Elemento do Risco	20
Figura 5: Categoria de risco utilizada em máquinas ou equipamentos.	21
Figura 6: Procedimento iterativo para avaliação de riscos segundo EN ISO 12100.	22
Figura 7: Etapas do processo de adequação de segurança segundo EN 954-1/NBR 14153.	22
Figura 8: Sinais de segurança transmitidos via rede PROFINET e PROFIBUS (protocolo PROFISAFE). ..	26
Figura 9: Comunicação <i>PROFISAFE</i> e a camada adicional.	27
Figura 10: Configuração do Cartão F-DI/DO no " <i>DIP-Switches</i> ".	28
Figura 11: Botão de Emergência <i>Safety</i> com redundância e monitoração de contatos.	29
Figura 12: Esquema de ligação do botão de emergência <i>Standard</i>	29
Figura 13: Barreira de Luz utilizada em zonas de perigo.	30
Figura 14: Chave seletora <i>Safety</i> utilizada para bloquear movimentos ou situações de risco de máquina ou equipamento.	31
Figura 15: Linguagem de programação (a) Ladder e (b) Diagrama de Blocos Funcionais.	32
Figura 16: Configuração do Hardware de um CLP utilizando o catálogo á direita.	33
Figura 17: Inserindo senha de proteção na CPU <i>Safety</i>	34
Figura 18: Inserindo senha de segurança para edição de parâmetros.	35
Figura 19: Configuração e chamada da rotina de segurança.	36
Figura 20: Reintegração dos módulos de segurança.	37
Figura 21: Bloco padrão da Biblioteca <i>Safety</i>	39
Figura 22: Comunicação atual do equipamento "Transporte da Têmpera".	41
Figura 23: Supervisório atual do equipamento "Têmpera".	42
Figura 24: Medidas para redução dos riscos de máquinas e equipamentos.	45
Figura 25: Configuração de Hardware do CLP <i>Safety</i> sendo: CPU <i>Safety</i> IM 151-8F PN/DP (item 2), Módulo de Potência PM (itens 4 e 9), Cartões de entrada <i>Safety</i> (itens 5, 6, 7 e 8) Cartões de saída <i>Safety</i> (itens 10, 11 e 12).	48
Figura 26: Nova arquitetura da rede de automação entre CLP <i>Standard</i> e CLP <i>Safety</i>	48
Figura 27: Configuração de hardware do CLP de segurança.	49
Figura 28: Bloco de segurança <i>Safety</i> e a lógica de barramento utilizado no "Transporte da Têmpera".	50
Figura 29: Troca de dados entre CLP de Segurança e CLP do Transporte da Têmpera.	51
Figura 30: Avaliação do nível de Risco no Equipamento "Serra Franho" antes e após o processo de adequação de segurança.	53
Figura 31: Condição para o religamento após falha na segurança.	54
Figura 32: Circuito de segurança instalado no equipamento "Transporte da Têmpera"	55
Figura 33: Lógica do circuito de segurança do equipamento "Transporte da Têmpera"	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Determinação da Categoria do Risco a partir da Avaliação de Risco do equipamento “Serra Franho”	44
Quadro 2: Entradas digitais <i>Safety</i> do equipamento “Transporte da Têmpera”	46
Quadro 3: Saídas digitais <i>Safety</i> do equipamento “Transporte da Têmpera”	47

LISTA DE SÍMBOLOS

1F-RO - Módulos de Saída a Relé
ACK - *Acknowledgement*
AOPD - Dispositivos de Proteção Ativa Optoeletrônica
CAT - Categoria de Segurança
CLP - Controlador Lógico Programável
CPU - Central Única de Processamento
DB - Bloco de Dados
EPI - Equipamento de Proteção Individual
FB - Bloco de Função
FBD - Linguagem de Programação Diagrama de Blocos Funcionais
F-DI - Cartão de Entrada Digital Safety
F-DO - Cartão de Saída Digital Safety
FE - Frequência de Exposição
HMI - *Human Machine Interface*
HRN - Número de Avaliação de Risco
IEC - *International Electrotechnical Commission*
IL - Linguagem de Programação Lista de Instruções
IP - *Internet Protocol*
ISO - International Organization for Standardization
LD - Linguagem de Programação Ladder
MMC - Micro Memory Card
MPL - Probabilidade Máxima de Perda
NA - Contato Normalmente Aberto
NBR - Norma Brasileira
NF - Contato Normalmente Fechado
NR - Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho
OFF3 - Desaceleração Rápida de Segurança
PE - Probabilidade de Ocorrência
PM-E - Módulos de Potência
PN-IO - *Profinet IO*
SFC - Linguagem de Programação Mapa Sequencial de Funções
SIL - Nível de Integridade de Segurança
ST - Linguagem de Texto Estruturado
TA - Tecnologia da Automação
TI - Tecnologia da Informação
TÜV - Technischer Überwachungs-Verein

RESUMO

Em ambientes industriais existem diversos riscos aos quais os trabalhadores estão expostos devido a fatores como a forma inadequada da construção do equipamento, a ausência de dispositivos de segurança, meios de acesso inseguros do equipamento, entre outros fatores que contribuem para o acidente de trabalho. A norma **NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**, pensando nessas condições inseguras, foi reformulada no ano de 2010 e com ela novas medidas técnicas devem ser adotadas com o objetivo de aumentar o uso, por parte das empresas, de práticas mais seguras para prevenção de riscos e acidentes de trabalho. A adequação de máquinas e equipamentos à norma regulamentadora NR-12 está intimamente ligada à automação dos processos industriais, iniciando-se por um amplo trabalho envolvendo setores da engenharia, segurança do trabalho, operação e manutenção. O presente trabalho tem por finalidade definir qual o método de comunicação segura deve ser utilizado na programação do software do Controlador Lógico Programável (CLP) do equipamento “Transporte da Têmpera”. Utilizando a tecnologia *Safety* intrinsecamente segura, do fabricante Siemens e a norma NR-12, é proposto à integração entre uma Central Única de Processamento (CPU) *Standard* e CPU *Safety* no ambiente industrial.

Palavras-Chaves: Automação com Segurança Intrínseca, máquinas e equipamentos, NR-12.

ABSTRACT

In industrial environments there are several risks to which workers are exposed due to factors such as the inadequate form of equipment construction, the absence of safety devices, unsafe means of access to equipment, among other factors that contribute to the work accident. The NR-12 - Safety at Work in Machinery and Equipment, thinking about these unsafe conditions, was reformulated in 2010 and with it new technical measures should be adopted with the objective of increasing the use by companies of more Safe to prevent risks and accidents at work. The suitability of machines and equipment to the NR-12 regulatory standard is closely linked to the automation of industrial processes, starting with extensive work involving engineering, safety of work, operation and maintenance. The purpose of this paper is to define which method of secure communication should be used in programming the Programmable Logic Controller (PLC) software of the "Transporte da Têmpera" equipment. Using Siemens' intrinsically safe Safety technology and the NR-12 standard, it is proposed to integrate a Single CPU and CPU safety in the industrial environment.

Keywords: Automation with intrinsic safety, machinery and equipment, NR-12.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o setor industrial brasileiro apresentou grande crescimento com novas tecnologias aplicadas à melhoria dos processos produtivos em diversos setores. O aumento da demanda por produtos industrializados, principalmente por produtos base de produção, tais como o aço, petróleo, borracha, etc., tem gerado uma resposta da indústria mediante a inserção de tecnologias avançadas que envolvem, essencialmente:

- ◆ **Mecânica e Robótica**, com o aprimoramento constante de equipamentos de manufatura e manipuladores robóticos, aumentando cada vez mais o nível de complexidade dos ativos industriais;
- ◆ **Controle e Automação**, com o refinamento do controle regulatório e autonomia de quase todas as etapas do processo produtivo, dos instrumentos de campos até a gestão do empreendimento.

Em contrapartida, mesmo com a evolução significativa das áreas citadas, a produtividade aumentada contribui, e muito, para o aumento do risco de operação do processo industrial como um todo (BENITE, 2004). Da última década até então, é notável o aumento de iniciativas por parte das grandes instituições internacionais associadas a indústria, tais como IEC (*International Electrotechnical Commission*), ISO (*International Organization for Standardization*) e ISA (*International Society of Automation*), referentes à segurança de operadores (de área e de sala de controle) expostos ao risco, bem como à máxima disponibilização dos ativos do empreendimento, resultando em diversos padrões de segurança internacionais relacionados aos diversos níveis do processo produtivo, podendo citar:

- ◆ Norma para operação, instalação, intervenção de máquinas rotativas, **ISO 12100 - Safety of Machinery - General Principles for Design – Risk Assessment and Risk Reduction**. Essa norma internacional trata de segurança de máquinas e apreciação de riscos para os princípios gerais de operação, instalação e intervenção destes equipamentos. (BECKER e PIRES, 2015)
- ◆ Norma para intervenções em sistemas elétricos, IEC/EN 60204-1 - **Safety of machinery - Electrical equipment of machines**. Essa norma internacional trata de instalações elétricas de máquinas e equipamentos, que devem ser projetadas e mantidas de modo a prevenir, por meios seguros, os perigos de choque elétrico, incêndio, explosão e outros tipos de acidentes. A norma descreve as exigências quanto à segurança elétrica de um equipamento e suas instalações bem como as

medidas de proteção aplicadas contra o contato direto e indireto de partes energizadas. (IEC, 2005a).

- ◆ Norma para instrumentos de sinais e alarmes, ***ISA 18 - Instrument Signals and Alarms***. Essa norma estabelece novas terminologias e boas práticas no projeto e configuração de sistemas de alarmes. Com foco no operador e sua dificuldade para gerir um número excessivo de alarmes gerado pelos processos mal projetados e configurados. Cada instrumento é identificado por um conjunto de letras (identificação funcional) e números (identificação de malha de controle) com o objetivo de facilitar a programação de toda instrumentação da planta para representação em sistemas de supervisão e controle. (ISA, 2009).
- ◆ Norma para segurança intrínseca de sistemas de automação, ***IEC 62061 - Safety of machinery - Functional Safety of Safety-Related Eletrical, Eletronic and Programmable Eletronic Control Systems***. Essa norma trata da segurança funcional de máquinas ou equipamentos. É necessária uma tecnologia especialmente qualificada que seja capaz de evitar erros sistemáticos ou o controle destas falhas acidentais. A norma especifica a criação de sistemas de comando elétrico relevantes para a segurança exigindo a criação de sistema complexo tanto de hardware como também software. (IEC, 2005b).

Não é novidade o entendimento de que processos com risco de operação elevados oferecem grandes índices de acidentes, que por sua vez, geram prejuízo para o empreendimento, mas, sobretudo para o trabalhador acidentado e, conseqüentemente, para os seus familiares. Um possível óbito, ou lesões corporais, incapacitações, abalos psicológicos, etc., acabam por gerar despesas com o pagamento de benefícios previdenciários e/ou indenizações, acarretando em déficits financeiros tanto para o estado, quanto para a empresa e, ainda, para a população ativa em geral, uma vez que o sistema previdenciário pode se tornar insustentável.

Logo, a redução do risco de operação de qualquer processo produtivo configura-se como um objetivo além das fronteiras da indústria, ou seja, é um bem social geral, visto que por meio dele alcança-se a sociedade como um todo.

Em suma, acidentes de trabalho prejudicam todas as partes envolvidas e causam grandes transtornos para não somente o empregado, como também para empregador, sindicatos e órgãos governamentais.

Dessa forma, a solução para o controle de riscos de máquinas e equipamentos perigosos é desenvolver um trabalho conjunto com setores de engenharia de segurança do trabalho, manutenção e operação, com a finalidade de se levantar todos os riscos e condições inseguras de instalações antes, durante e após a fase de operação de tais máquinas e equipamentos.

No Brasil, tem-se um conjunto de normas regulamentadoras, conhecidas como NRs associadas aos três setores da sociedade: primário, secundário e terciário. A maioria das NRs é preponderante em decisões da justiça do trabalho e, portanto, pode-se dizer que elas têm força de lei no estado brasileiro (BENITE, 2004). Uma norma conhecida e bem associada à indústria, utilizada como base para o desenvolvimento desse trabalho é a norma regulamentadora nº 12, ou apenas NR-12, cujo título é Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Essa norma estabelece medidas de prevenção para segurança e higiene no trabalho a serem adotadas na instalação, operação e manutenção de máquinas e equipamentos, novos, ou usados, visando à prevenção de acidentes e doenças no trabalho. (MTE, 2016).

Após as alterações inseridas na NR-12 por meio da portaria 197, em dezembro de 2010, surgem diversas novas exigências para máquinas e equipamentos, fomentando o crescimento e a inovação, no mercado brasileiro, da tecnologia *Safety* para os sistemas de automação, tanto por parte de fabricantes de máquinas, quanto por parte da indústria, com o intuito de se adaptar às novas exigências da comunidade industrial e de órgãos governamentais. A NR-12 prevê inúmeras responsabilidades tanto para o empregador, quanto para o empregado, sendo o uso de recursos tecnológicos para automação segura e confiável, um importante avanço rumo às recomendações impostas pela portaria 197 de dezembro de 2010.

É importante ressaltar que, a aplicação da tecnologia *Safety*, no âmbito da proteção e prevenção de acidentes, abrange tecnologias diversas, podendo-se destacar: tecnologias de detecção, controle e soluções de manobra, acionamentos e automação, etc. (SIEMENS, 2015a).

No contexto social, político e tecnológico do Brasil e, até mesmo no mundo, mudanças cruciais vêm ocorrendo nas últimas décadas, impondo às organizações a necessidade de se adotar novas estratégias empresariais para destacarem-se como empresas competitivas e comprometidas com a sociedade e com o meio ambiente. Em outras palavras, segundo Anderson Glauco Benite (2004), não basta se diferenciar no mercado pela competitividade e tão pouco pelo lucro. Também é fundamental evidenciar e demonstrar à sociedade, de forma transparente, uma atuação ética e responsável quanto às condições de segurança e saúde no ambiente de trabalho e quanto às inter-relações com o meio ambiente. Isso torna possível a busca por certificações e padrões internacionais por parte das empresas a fim de se destacarem no mercado cada vez mais competitivo (BENITE, 2004).

Segundo Werner Von Siemens (1880), a prevenção de acidentes não deveria ser considerada uma questão de legislação, ao contrário, deveria ser baseada em nosso senso econômico e sentimento de responsabilidade com o próximo.

1.1. OBJETIVOS

Tendo como cenário a segurança para proteção e prevenção de acidentes no ambiente industrial, esse trabalho propõe estabelecer todas as etapas necessárias para adequação do sistema de automação do equipamento “Transporte da Têmpera no Processo de Laminação de uma indústria siderúrgica” à norma NR-12.

Para tal, pretende-se mostrar, primeiramente, como os pontos de risco do equipamento podem ser levantados, com a finalidade de avaliar o grau de segurança e por meio dele, determinar qual o método de comunicação segura deve ser utilizado na programação do software do Controlador Lógico Programável (CLP).

Pretende-se demonstrar também, o hardware utilizado, os dispositivos de segurança implementados, a programação das lógicas seguras, o sistema de supervisão para operação, a configuração da rede entre o CLP Standard e o CLP *Safety*, além de elaborar uma análise do sistema de segurança implementado.

Ainda é objeto de estudo do presente trabalho, o padrão de comunicação seguro para adequar o sistema de segurança do equipamento “Transporte da Têmpera” conforme a NR-12, utilizando a tecnologia *Safety*, do fabricante Siemens, para integração entre uma Central Única de Processamento (CPU) *Standard* e CPU *Safety* no ambiente industrial.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Este documento está dividido em 5 capítulos contando com a introdução. No primeiro capítulo apresenta-se o projeto, expondo um breve contexto e apresentando o cenário brasileiro no que diz respeito à segurança de máquinas e equipamentos seguros, assim como os objetivos da pesquisa.

No segundo capítulo é apresentada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema para maior detalhamento do processo de adequação à norma NR-12 e a tecnologia *Safety* utilizada para implementação do projeto.

O terceiro capítulo aborda a metodologia e as etapas para realização do projeto de adequação à norma NR 12 na fase de apreciação e análise dos riscos do equipamento até a programação, configuração e levantamento de campo no processo de automatização do equipamento “Transporte da Têmpera”.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos do projeto e discute os resultados alcançados dividindo-se em duas partes, sendo: (a) apreciação do risco após a implementação do projeto; e (b) a operação do sistema de automação com segurança intrínseca.

Por fim, o quinto capítulo contém a conclusão do projeto proposto.

2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

2.1. NORMA NACIONAL PARA SEGURANÇA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

A pesquisa bibliográfica para a proposta de adequação à NR-12 se faz necessária nesse processo de automatização e controle do equipamento “Transporte da Têmpera” onde são levantados os pontos principais desta norma e seus anexos, com a intenção de estabelecer os requisitos a serem considerados para a saúde e a integridade física dos trabalhadores.

A norma regulamentadora NR-12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos) é constituída por diversas outras normas regulamentadoras (NR), NBR, normas internacionais como ISO/EN 13849-1 (Nível de Desempenho), EN 62061 (Nível da Integridade da Segurança), ISO 13855/EN 999 (Distâncias de Segurança) e tantas outras. A interação dessas normas nacionais e internacionais tem como principal objetivo a garantia de um alto nível de confiabilidade projetado para incorporação de dispositivos de segurança que protejam eficazmente contra a ocorrência de falha técnica e/ou falha humana. Isto se faz necessário de modo a não permitir o descontrole do sistema, e, conseqüentemente, evitar a probabilidade da ocorrência de acidentes com danos pessoais e/ou materiais. A NR-12 e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores estabelecendo requisitos mínimos para prevenção de acidentes e doenças do trabalho.

2.1.1. A NORMA NR-12

De acordo com a norma regulamentadora nº 12 e seus anexos são definidos referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção com intuito de garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores estabelecendo requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda a sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais normas regulamentadoras aprovadas pela Portaria nº. 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais e, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis. (MTE, 2016).

A nova publicação da norma NR-12 aborda a adoção de medidas de proteção em máquinas novas e usadas por meio da “Apreciação de riscos”. Por meio dela são avaliados os

fenômenos perigosos de um processo, bem como o nível de risco que esta máquina ou equipamento oferece, no intuito de eliminar ou controlar esses riscos. Além disso, a nova estrutura da NR-12 aborda como deve ser o arranjo físico (áreas de recirculação) e as instalações elétricas (NR-10) das máquinas e equipamentos. A norma estabelece também como devem ser projetados, selecionados e instalados os dispositivos de segurança intrínseca de tal forma que todos estejam localizados em zonas seguras e possam ser acionados ou desligados, em caso de emergência. A norma define, também:

- Os sistemas de segurança adotados para proteção e integridade física dos trabalhadores;
- Sistema de segurança á prova de burla;
- Os dispositivos de parada de emergência;
- Os meios de acesso permanente;
- Os componentes pressurizados;
- O transporte de materiais;
- Os aspectos ergonômicos;
- Os riscos adicionais;
- A manutenção e ajustes de reparos;
- A sinalização em torno do equipamento;
- Os manuais dos equipamentos;
- Os procedimentos de segurança do trabalho;
- A capacitação de trabalhadores.

2.1.2. ASPECTOS IMPORTANTES A SEREM OBSERVADOS

Atualmente a norma regulamentadora NR-12 se baseia na segurança do trabalho em máquinas e equipamentos com ênfase na segurança do trabalhador e não mais em máquinas e equipamentos como a portaria 3.214 do ministério do trabalho (MT), de 08 de junho de 1978. O novo enfoque da nova NR-12 é garantir a segurança do trabalhador, máquinas e equipamentos intrinsecamente seguros e para isso, deve-se trabalhar com o conceito de falha segura, onde o sistema de segurança entra em um estado seguro na ocorrência de uma falha técnica e/ou uma falha humana. Além disso, o sistema deve ser á prova de burla, onde não é possível anular, de maneira simples, os dispositivos de segurança garantindo que o sistema funcione adequadamente da forma projetada.

Antes de iniciar qualquer adequação de conformidade, é necessário o levantamento de

algumas informações essenciais. O sistema de segurança, por exemplo, deve ser selecionado e instalado de modo a atender aos requisitos previstos na norma NR-12. Tais como:

- ◆ A categoria de segurança prevista pelas normas técnicas oficiais vigentes (IEC 62061);
- ◆ A adequação de um equipamento deve estar sob a responsabilidade técnica de um profissional legalmente habilitado;
- ◆ O sistema de comando deve possuir conformidade técnica no qual este é integrado;
- ◆ O sistema de controle (*CPU Safety*) deve ter monitoramento constante de acordo com a categoria de segurança requerida e deve paralisar os movimentos perigosos quando ocorrerem falhas ou situações anormais de trabalho.

Outro aspecto a ser observado é o custo total do investimento na segurança de máquinas e equipamentos. Como pode ser observado na Figura 1, quanto maior for o investimento em segurança de máquinas e equipamentos, menor é o risco do acidente de trabalho.

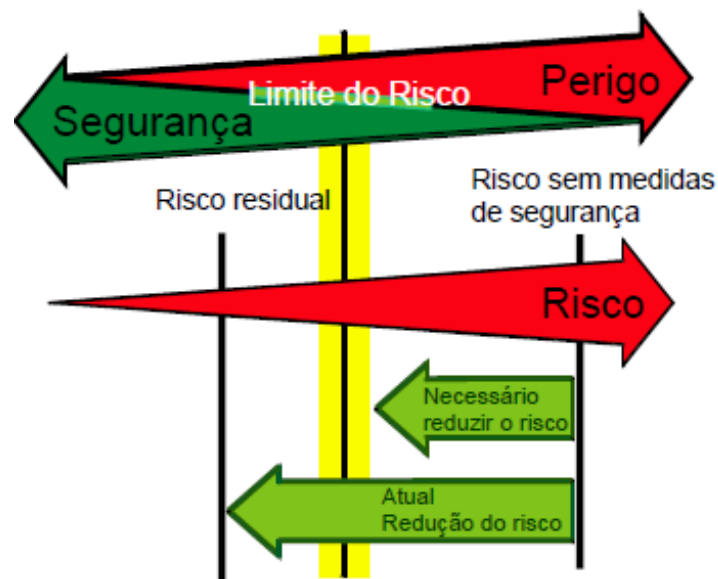
Figura 1: Custo total do investimento em segurança de máquinas e equipamentos e custo total do acidente de trabalho.



Fonte: (PILZ, 2016).

É necessário encontrar o ponto de equilíbrio, durante a fase de “Apreciação do Risco”, para minimizar o custo total do projeto de redução dos riscos (PILZ, 2016). Conforme Figura 1, observa-se que o ponto de equilíbrio ocorre na região onde o custo total do investimento em segurança é o menor possível. É necessário, de acordo com cada aplicação, analisar quais as medidas de controle dos riscos devem ser implementadas para alcançar a região de aceitação exigido pela norma NR-12, Figura 2.

Figura 2: Região de risco aceitável segundo a norma NR-12.



Fonte: (PILZ, 2016).

Conforme mostra a Figura 2, quanto maior forem os riscos observados nos equipamentos maiores devem ser as medidas para redução e controle desses riscos de forma a torná-los aceitáveis.

2.1.3. APRECIÇÃO DO RISCO

A apreciação de risco é uma série de passos lógicos que permite, de uma forma sistemática, o exame dos perigos associados às máquinas. (MTE, 2015).

De forma geral, toda melhoria de segurança de máquina ou equipamento, inicia-se pela apreciação dos riscos que, por sua vez, segue o mesmo procedimento em todos os documentos normativos referentes à segurança, ou seja, para cada posto e situação de trabalho deve ser feito um estudo detalhado na identificação de fenômenos perigosos, na estimativa e avaliação de riscos onde se faz necessário à aplicação do procedimento de eliminação ou redução destes riscos (SESI, 2016).

Por definição, tem-se a Análise de Risco como um procedimento que fornece informações necessárias para a etapa de avaliação de riscos, permitindo a avaliação sobre a segurança da máquina ou equipamento. Em conformidade com a norma de **NBR/ISO 12100 Segurança de Máquinas - Princípios Gerais de Projeto**, em vigor desde 17 de janeiro de 2014¹, os projetistas de máquinas devem determinar também todas as áreas de risco referente a

¹ A partir desse momento, o Brasil substituiu a antiga NBR 14009 de 1997 e passa adotar a norma internacional NBR/ISO 12100.

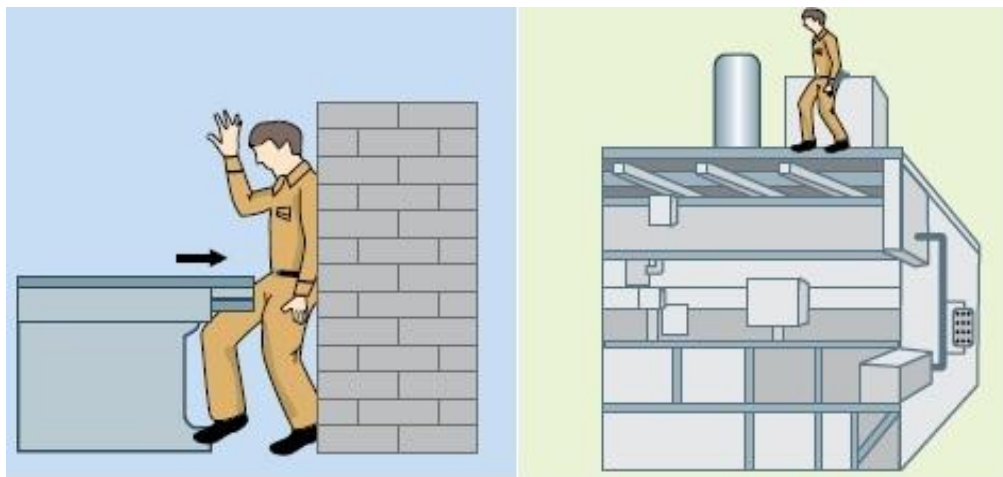
máquinas que constam no projeto (MTE, 2015).

A Análise do Risco é subdividida em três tarefas:

1. Determinação dos limites da máquina ou equipamento;
2. Identificação dos fenômenos perigosos;
3. Estimativa do risco.

Na primeira tarefa, o projetista deve determinar os limites da máquina a partir de informações que possui sobre as condições em que a máquina deve ser utilizada. É nesse momento que o projetista deve determinar quais são os operadores da máquina, por quanto tempo esses estão expostos aos riscos e os materiais necessários. Ele deve determinar, também, as fases de vida útil da máquina, as utilizações previsíveis e o nível esperado de experiência e capacitação do usuário, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3: Determinação dos limites da máquina.



Fonte: (SESI, 2016).

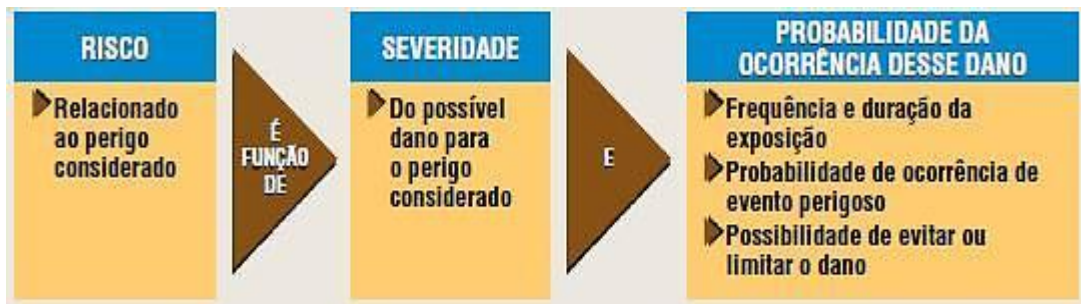
A tarefa seguinte consiste em determinar quais fenômenos perigosos estão na origem de todas as situações de risco, na qual o trabalhador está exposto e, portanto, sujeito à ocorrência de acidentes, ocasionando lesões e até mesmo o óbito. Logo, a identificação de fenômenos perigosos é a tarefa de maior importância, nos quais todos os perigos devem ser listados, sendo eles referentes à:

- Peças em movimento (perigo mecânico);
- Elementos energizados, sob tensão elétrica (perigo elétrico);
- Partes aquecidas, ou refrigeradas (perigo térmico);
- Ruídos audíveis em níveis perigosos;
- Radiação em níveis perigosos;
- Condições ergonômicas desfavoráveis e

- Qualquer fonte de energia que podem afetar a saúde e a segurança de trabalhadores expostos.

A última tarefa consiste em estabelecer uma relação entre as diferentes situações perigosas identificadas, visto que uma comparação relativa entre tais situações pode estabelecer uma prioridade de ação. O número de avaliação de risco (**HRN – Hazard Rating Number**) é definido como sendo a combinação da probabilidade da ocorrência do dano, conforme mostra a Figura 4. (SESI, 2016).

Figura 4: Elemento do Risco



Fonte: (SESI, 2016).

Conforme ilustra a Figura 4, a norma NBR 14153 divide os elementos da probabilidade de ocorrência de danos em:

- **F**: frequência e duração da exposição ao fenômeno perigoso;
- **O**: probabilidade de ocorrência de um evento perigoso;
- **P**: possibilidade de evitar esse dano.

Por meio da probabilidade de ocorrência e, em conformidade com a norma **ISO/TR 14121-2 Safety of Machinery – Risk Assessment** é determinado o número de avaliação de risco (**HRN**) como um método para classificar o risco estimado. Ele atribui ao risco um valor numérico, baseando-se nos parâmetros **PE (Probabilidade de Ocorrência ou O)**, **FE (Frequência de Exposição ou F)**, **MPL (Probabilidade Máxima de Perda)** e **NP (Número de Pessoas Expostas)** dado pela Equação (1):

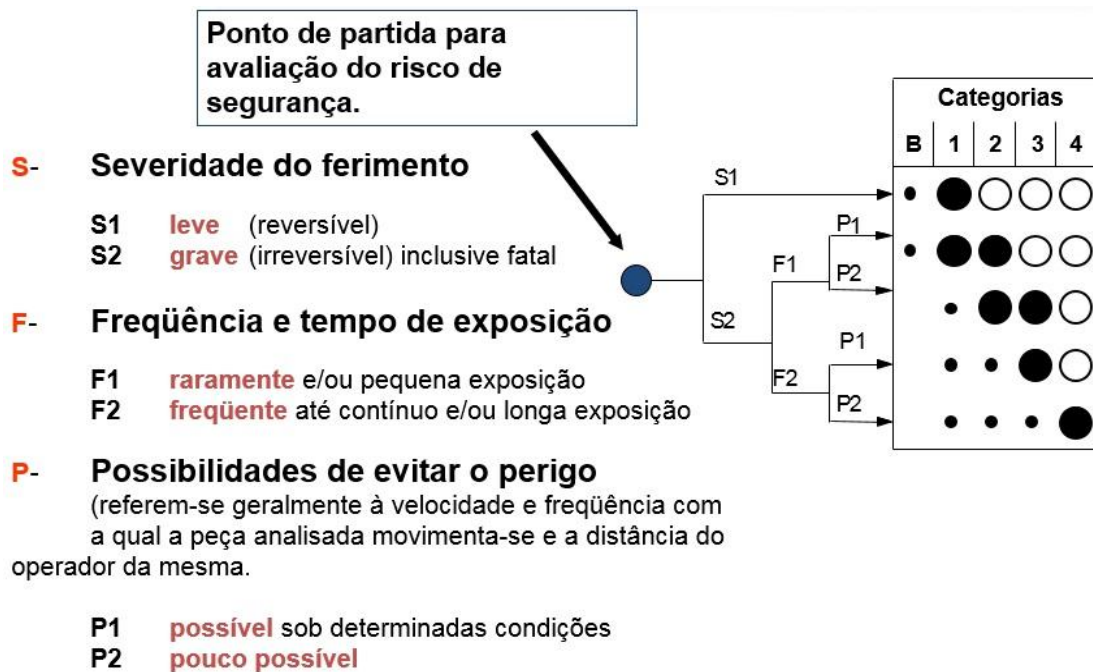
$$HRN = PE \cdot FE \cdot MPL \cdot NP \quad (1)$$

Além das probabilidades de ocorrência desse dano, **F**, **O** e **P**, a severidade **G** também relaciona seus limites para servirem como referência de situações perigosas e, assim serem comparados, uns aos outros, de forma mais eficaz.

Após a avaliação do grau de risco da instalação, é feita a determinação da **Categoria de Risco** do sistema, com o auxílio da norma **EN 954-1/NBR 14153 Segurança de Máquinas – Partes de Sistemas de Comando Relacionados à Segurança, Princípios Gerais para Projeto**. A Categoria de Risco determinará as exigências técnicas dos dispositivos de segurança

da máquina, sendo divididas em cinco categorias (B, 1, 2, 3 e 4), no qual a categoria B representa o menor risco (categoria Base) e assim por diante, conforme apresenta a Figura 5, a seguir.

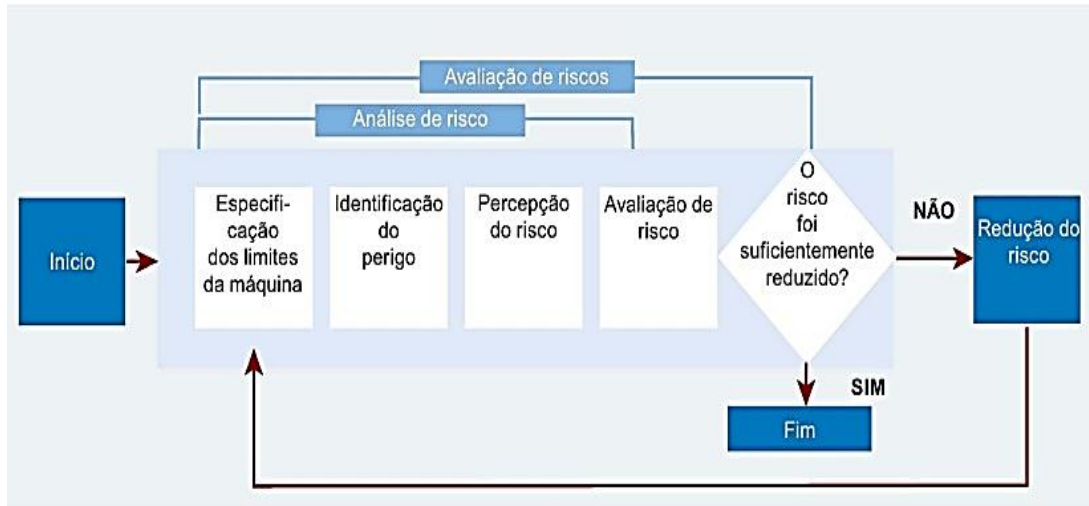
Figura 5: Categoria de risco utilizada em máquinas ou equipamentos.



Fonte: (MTE, 2015).

Após a definição da Categoria de Risco, o último passo é realizar um julgamento sobre o nível de risco estimado, determinando se esse risco é **tolerável** ou **intolerável**. Caso o risco seja intolerável, medidas de redução de risco devem ser relacionadas e instaladas. Dessa forma, para garantir que a solução atenda aos objetivos e não gere nenhuma nova situação de risco, deve-se repetir o procedimento de “Análise de Risco”, considerando o novo meio de redução instalado, conforme ilustra a Figura 6. Desta forma, deve-se ter como referência, que o risco estimado seja sempre baixo, caso contrário, deve ser realizada uma nova Análise de Risco para reduzi-lo.

Figura 6: Procedimento iterativo para avaliação de riscos segundo EN ISO 12100.

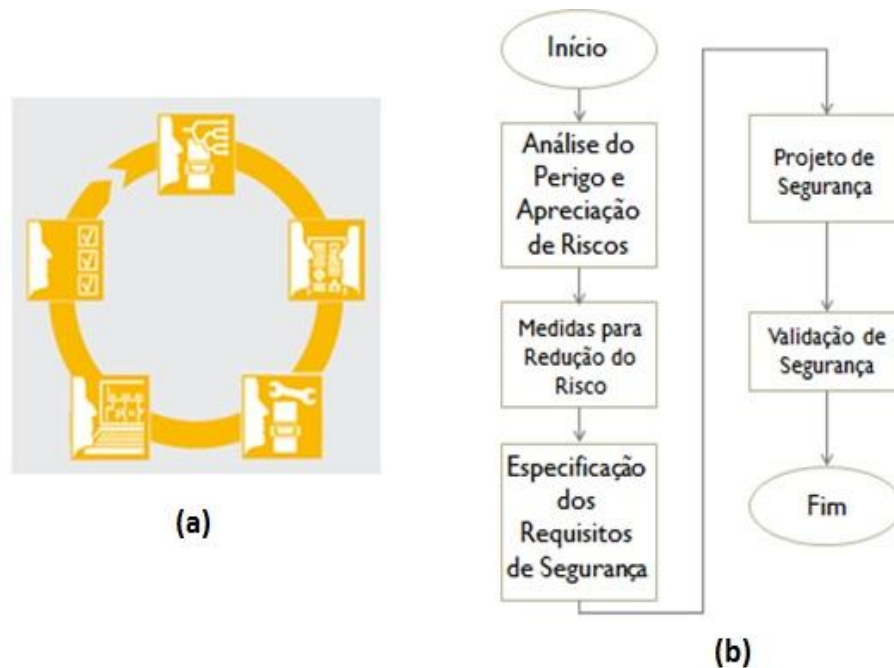


Fonte: (SIEMENS, 2015a).

A Figura 6 demonstra o fluxo de Avaliação de Risco e as etapas no processo da Análise de Risco. O resultado é satisfatório quando o risco da máquina ou equipamento é reduzido. Quando o resultado obtido é intolerável, deve se retornar na primeira etapa do processo no intuito de garantir um nível de segurança tolerável com a redução de riscos.

De acordo com a norma **EN 954-1/NBR 14153**, o processo de adequação da segurança de máquinas e equipamentos pode ser obtido por meio de cinco etapas, sendo a “Apreciação de Risco” ou “Avaliação de Riscos” a primeira etapa para implementação de um sistema de segurança conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Etapas do processo de adequação de segurança segundo EN 954-1/NBR 14153.



Fonte: (PILZ, 2016)

Na Figura 7 (b), tem-se de forma resumida, todas as etapas necessárias pela norma NBR 14153 para obtenção de um projeto de adequação de segurança. Todas as demais etapas do processo de adequação de segurança em acordo com a NR-12 estão descritas no decorrer deste trabalho.

2.2. FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO (TRANSPORTE DA TÊMPERA E O PROCESO DE LAMINAÇÃO CONTÍNUA)

O tratamento térmico de recozimento de aços consiste no aquecimento, encharque (ponto de aquecimento mais alto) e resfriamento em uma taxa de °C/min adequada, para amolecer o material metálico. O tratamento pode facilitar o trabalho a frio e a usinagem, mas pode também ser usado para proporcionar alterações na microestrutura do material. (GRION, 2006).

O Transporte da Têmpera utiliza combustão a gás em uma área denominada **zona de área quente**. Nesta área, o calor dos queimadores é transmitido para os tubos, no qual, são transportados no interior do forno têmpera por meio de vigas caminhantes. A quantidade de calor fornecida pelos queimadores e a vazão do produto internamente nos tubos são controlados por meio de instrumentos, tendo em vista as condições operacionais de pressão e temperatura.

Após a fase de aquecimento e encharque é necessário o resfriamento dos tubos. Esses são transportados, também, por meio de vigas caminhantes e rolos giratórios para áreas abertas onde os tubos são resfriados em temperatura ambiente. Nesta área são necessárias medidas de controle de acesso e um sistema de segurança eficaz para que nenhum acidente venha a ocorrer. A aplicação da automação para o transporte da têmpera é embarcada em um CLP, denominado “Transporte da Têmpera”, responsável pelo controle e comando da movimentação dos tubos no interior e exterior do equipamento.

Para adequar este equipamento, Transporte da Têmpera, utilizando técnicas e dispositivos em conformidade com a norma NR-12 (vide item 2.1.1), deve-se utilizar um CLP cujas especificações de *hardware* se adequem às especificações da norma internacional IEC 62061 (IEC, 2005b), descrita no item 1.

De acordo com o item **12.43** da norma NR-12, os componentes relacionados aos sistemas de segurança e comando de máquinas, inclusive de emergência, devem garantir a manutenção do estado seguro da máquina ou equipamento (MTE, 2016). Logo, com o intuito de garantir segurança, os fabricantes de tecnologia em automação devem estar em conformidade com a legislação e diretivas da norma IEC 62061 a qual é parte integrante da norma NR-12.

Por esse motivo, para o desenvolvimento desse trabalho, é necessária a utilização de uma CPU *Safety*. Atualmente, existem diversos tipos de CLPs comercializados no mercado brasileiro

que podem ser categorizados como detentores de CPU *Safety*. Pode-se destacar o modelo Allen-Bradley SMARTGUARD 600 do fabricante Rockwell Automation (ROCKWELL AUTOMATION, 2016); o modelo PSC-BR 10/100, do fabricante SCHMERSAL (SCHMERSAL, 2016) e a CPU modelo IM151-8F PN/DP, utilizada nesse trabalho, do fabricante SIEMENS (SIEMENS, 2016b). É importante salientar que a CPU *Safety*, modelo IM151-8F PN/DP, deve se comunicar com a CPU *Standard* existente, modelo CPU 416-2, do CLP Transporte da Têmpera, por meio de um protocolo intrinsecamente seguro, proprietário do fabricante Siemens, denominado *PROFISAFE*TM. A Figura 26, apresenta um esboço da arquitetura de automação para o Transporte da Têmpera, contemplando as modalidades *Standard* e *Safety* de CLPs.

Como mostrado na Figura 26 o CLP *Safety* modelo IM151-8F PN/DP deve comunicar com a CPU *Standard* por meio do protocolo *PROFISAFE* do fabricante SIEMENS na integração dos sistemas de automação.

2.3. TECNOLOGIA DE SEGURANÇA INSTRÍNSECA (*SAFETY*)

Os fabricantes de máquinas bem como as indústrias usuárias são obrigados por lei a garantir a proteção de pessoas e do ambiente. Para que o mesmo seja feito no Brasil com relação às regulamentações previstas pela NR-12, os fabricantes devem estar em acordo com diversas diretrizes internacionais. Medidas de proteção para redução de riscos são criadas por meio de funções de segurança derivadas a partir da Avaliação de Risco (vide item 2.1.3). A solução de segurança é, então, verificada e avaliada com a ajuda de componentes de *hardware* e *software* até que, a integridade da segurança, conforme exigida na etapa de Avaliação de Risco, seja alcançada. (SIEMENS, 2015a).

Uma construção intrinsecamente segura deve ser capaz de anular os perigos e reduzir os riscos a eles inerentes por meio de uma seleção adequada de características construtivas da própria máquina e/ou por meio de interações entre pessoas expostas a tais perigos e à máquina. (SIEMENS, 2015). Nesse aspecto, outra medida, envolve a utilização de uma tecnologia especialmente qualificada e que preencha os requisitos descritos na norma IEC 62061 (IEC, 2005b), descrito no item 1 desse trabalho. Pode-se dizer que essa tecnologia tem como objetivos:

- ◆ Evitar que aconteçam erros sistemáticos;
- ◆ Controlar os erros sistemáticos e
- ◆ Controlar os erros ou falhas acidentais.

Os dispositivos com essa tecnologia possuem o princípio de falha segura (*Fail Safe*). Isso

significa que em ocorrências de qualquer evento inseguro o componente entre em um estado que garante a funcionalidade mesmo que ele esteja em falha sistêmica. (SIMATEC, 2015). Logo, a tecnologia de segurança intrinsecamente segura, abrange tecnologias de detecção, comando, acionamento e automação que atendem os requisitos de segurança funcional de máquinas e equipamentos em decorrência de eventos ou atos inseguros.

2.3.1. CPU SAFETY (SIEMENS)

A CPU *Safety*, modelo IM151-8F PN/DP da família *Siemens* no qual este trabalho se baseia, utiliza um único processador para executar o programa de segurança. Mediante esse processador, toda a lógica de segurança, é realizada duas vezes na forma invertida (ou barrada) em que foi implementada. Essa é uma técnica utilizada por fabricantes de controladores programáveis no intuito de garantir resultados esperados no processamento de dados (SIMATEC, 2015). Nesse aspecto, o resultado da operação lógica não esperada, resulta na interrupção de processamento e na criação de um **Log de Eventos (*Diagnostic Buffer*)** no hardware da CPU para análise.

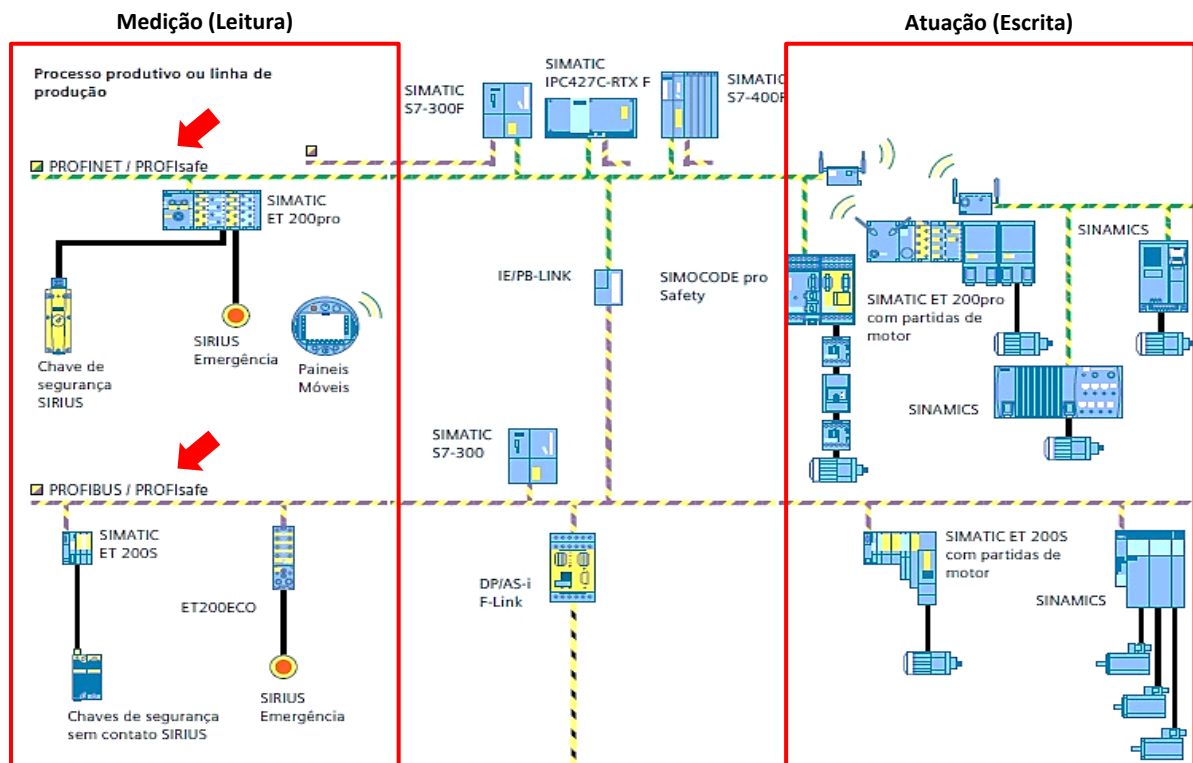
O processador desta CPU é diferenciado em relação aos da CPU *Standard*. O processamento simultâneo de um programa padrão e de um programa de segurança é realizado por uma única unidade de processamento. Os dados são transmitidos de forma padrão e/ou de forma segura (*Fail Safe*) por meio de protocolos de comunicação *PROFIBUS* e/ou *PROFINET*. (SIEMENS, 2016b).

Dentro da família *SIMATIC* da *Siemens*, a F-CPU é chamada de *Fail Safe*, a qual é capaz de detectar eventos inseguros, assumindo o estado seguro em decorrência de falhas. Essas CPU's são utilizadas no intuito de garantir a segurança funcional de máquinas ou plantas até a categoria 4 de acordo com a **EN 954-1/NBR 14153 Segurança de Máquinas – Partes de Sistemas de Comando Relacionados à Segurança, Princípios Gerais para Projeto** e do nível de integridade de segurança (*Safety Integrity Level*) SIL 3 de acordo com a **IEC 61508 – Segurança Funcional Elétrico/Eletrônico/Programação de Sistemas Relacionado à Segurança**. A partir da exigência de normas de segurança intrínseca, a qual exige requisitos de segurança funcional em nível de hardware e de software dos dispositivos de segurança, a fabricante *Siemens* alcança a homologação da CPU-F *Safety* por meio da associação **TÜV Rheinland (German: Technischer Überwachungs-Verein, English: Technical Inspection Association)** sendo assim, reconhecida mundialmente como um padrão de segurança eficiente e seguro (SIMATEC, 2015).

2.3.2. COMUNICAÇÃO SEGURA (PROFISAFE)

É comum em ambientes industriais a necessidade de troca de dados entre controladores como é proposto neste trabalho. Alguns sinais que executam funções de segurança como botões de emergência, chaves de segurança e barreira de luz devem ser transmitidos de forma segura conforme Figura 8.

Figura 8: Sinais de segurança transmitidos via rede PROFINET e PROFIBUS (protocolo PROFISAFE).



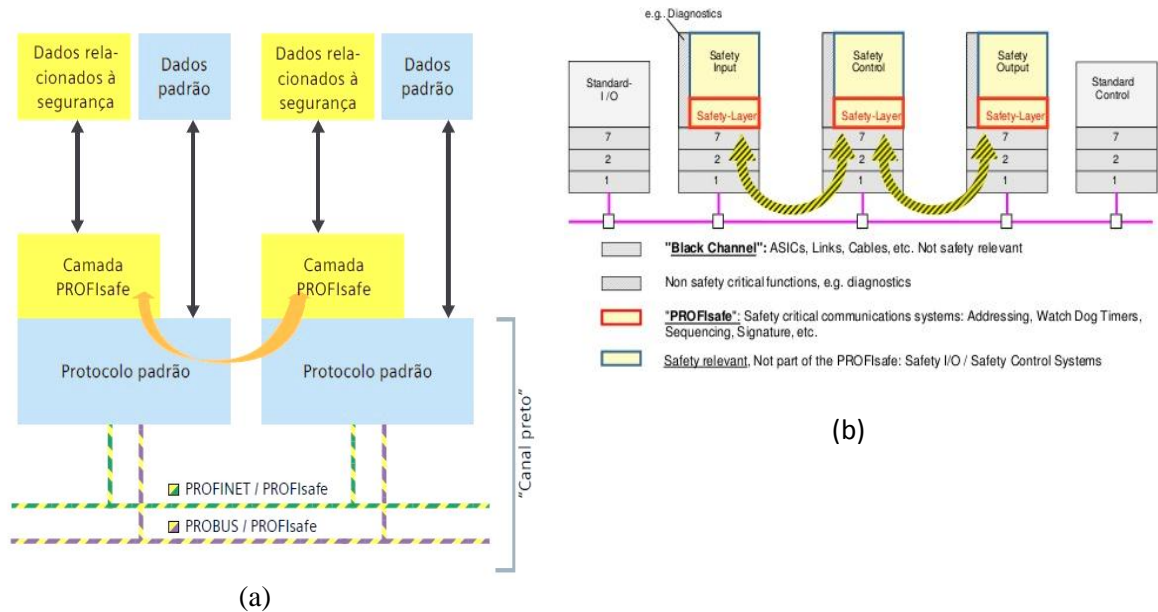
Fonte: (SIEMENS, 2015a).

Logo, no processo industrial, existem sistemas de automação totalmente integrados entre CPU's e dispositivos de segurança intrínseca, onde é necessária a troca de dados segura por meio de uma comunicação confiável conforme ilustrado na Figura 8.

A comunicação entre controladores com tecnologia de segurança intrínseca (F-CPU) e seus dispositivos de segurança, tais como os módulos F-DI/DO (vide item 2.3.3) e as estações remotas, trabalham com o protocolo de comunicação *PROFISAFE* do fabricante Siemens, a qual utiliza acima da camada de aplicação, por meio de algoritmo em sua plataforma, uma nova camada dedicada á segurança da informação. Esse protocolo utiliza o modelo da camada **ISO/OSI (International Organization for Standardization / Open System Interconnection)** com o intuito de aumentar o nível de segurança entre os controladores e seus dispositivos de segurança intrínseca. Nesse aspecto, a troca de dados de segurança intrínseca é realizada via software mediante outro canal (adicional) encontrado acima da camada de Aplicação conforme

observado na Figura 9. (SIMATEC, 2015).

Figura 9: Comunicação *PROFISAFE* e a camada adicional.



Fontes: (SIEMENS, 2015a) e (PROFISAFE, 2016b).

Como pode ser observado na Figura 9, o *PROFISAFE* é implementado acima da camada de Aplicação dos protocolos *PROFINET* e *PROFIBUS*, logo, ele pode ser incorporado em ambos sem a necessidade de intervenções ou reconfigurações das redes pré-existentes. Outra observação é que a comunicação entre uma CPU padrão e uma CPU *Safety* ocorrem simultaneamente e, portanto, não é necessária nenhuma configuração. Logo, a comunicação padrão não é afetada pela *PROFISAFE* e, ambas utilizam o mesmo meio físico.

2.3.3. CARTÕES F-DI/DO

No projeto de adequação à norma NR-12, são utilizados botões de emergência, chaves de segurança, barreira de luz², etc. com redundância (canal duplo). Os cartões F-DI/DO da família *SIEMENS* são módulos de entrada e saídas digitais os quais permitem o uso de canais (duplos ou simples) com funções de segurança intrinsecamente seguros. (SIMATEC, 2015).

Os cartões F-DI/DO *SIEMENS* são utilizados em plantas onde existem processos que ofereçam riscos aos trabalhadores e, que, portanto, deve ser implementada a categoria de nível de integridade de segurança SIL3/Cat.4.

Como informado nessa seção, os cartões F-DI/DO possuem canais duplos os quais são

² Barreira de luz, ou cortinas de luz, são dispositivos opto-eletrônicos de segurança (detectores de presença) que identificam um objeto no campo de detecção da cortina de luz. Também chamadas de AOPDs (Dispositivos de proteção ativa optoeletrônica), as cortinas de luz oferecem uma segurança ideal ao acesso fácil e frequente de pessoas a um ponto de perigo operacional.

monitorados por microprocessadores embarcados no módulo. Os canais são vigiados continuamente e ao detectar a falha, o módulo entra em um estado seguro. Nesse momento, dizemos que o cartão “passivou (estado inativo)” em razão de uma falha no campo causada pelo dispositivo de segurança intrínseca ou em razão de uma falha sistêmica do módulo. Este termo é usado em segurança para designar o estado seguro ocorrido por quebra de fio, curto circuito, inversão de canais ou ausência de sinal no canal. Para restabelecer a condição operacional do módulo, o motivo da “passivação” deve ser eliminado e um comando de “Reintegração” deve ser dado ao módulo. (SIMATEC, 2015).

O módulo de segurança F-DI/DO possui ajuste de endereçamento de “*DIP Switches*” para configuração no hardware do projeto conforme Figura 10.

Figura 10: Configuração do Cartão F-DI/DO no "*DIP-Switches*".



Fonte: (SIMATEC, 2015).

O endereço no módulo conforme ilustrado acima, deve ser o mesmo configurado no hardware, caso contrário ocorre a “Passivação” do cartão.

2.3.4. DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA INTRÍNSECA (SAFETY)

Os dispositivos de segurança intrínseca tais como botões de emergência, chaves de segurança, barreira de luz, etc. são projetados para atendimento às normas vigentes quanto ao grau de risco **EN 954-1/NBR 14153 Segurança de Máquinas** e o **Nível de Integridade de Segurança EN 62061 (SIL)**. É importante destacar que esses dispositivos de segurança fazem parte do projeto de construção de máquinas e equipamentos e, portanto, são fundamentais na segurança do trabalhador.

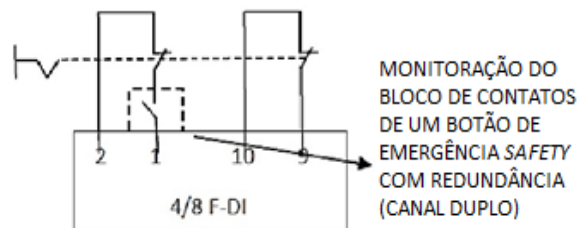
De acordo com a norma NR-12 quando indicado através da Avaliação de Riscos, em função da categoria requerida, o circuito elétrico de comando de partida e parada de motores, válvulas, inclusive de emergência etc. devem ser redundantes e atender as concepções dessa norma, ou estarem de acordo com o estabelecido pelas normas técnicas nacionais vigentes e, na falta destas, pelas normas técnicas internacionais. Nesse aspecto, os fabricantes de componentes de segurança, devem garantir a manutenção do estado seguro na ocorrência de flutuações do nível de energia (oscilação na rede) além dos limites previstos no projeto, incluindo o corte e restabelecimento do fornecimento de energia. (MTE, 2016).

2.3.4.1. BOTÃO DE EMERGÊNCIA SAFETY

O botão de emergência é um dispositivo que interrompe o movimento de risco de máquinas e equipamentos. Ele age de maneira confiável e segura por meio da desenergização dos circuitos de segurança, proporcionando a parada de um ou mais elementos de atuação, tais como motores, válvulas, etc. O sinal de um botão de emergência é ligado à entrada digital do cartão F-DI utilizando lógica “AND” e, com o intuito de garantir segurança aos envolvidos, o nível do sinal lógico é sempre alto (“1”). Desta forma, ao ser atuado, o sinal do botão de emergência cai para nível baixo (“0”) indicando o acionamento deste ou a interrupção do sinal por quebra de fio ou mau contato no bloco de segurança. Logo, são utilizados contatos normalmente fechados (NF) de abertura positiva na detecção da atuação do botão de emergência *Safety*. Contatos normalmente abertos (NA) são utilizados como contatos auxiliares (SIEMENS, 2006).

Um botão de emergência *Safety* é sempre redundante e garante que seus sinais estejam sempre funcionando por meio de blocos de monitoração de contatos, conforme a Figura 11.

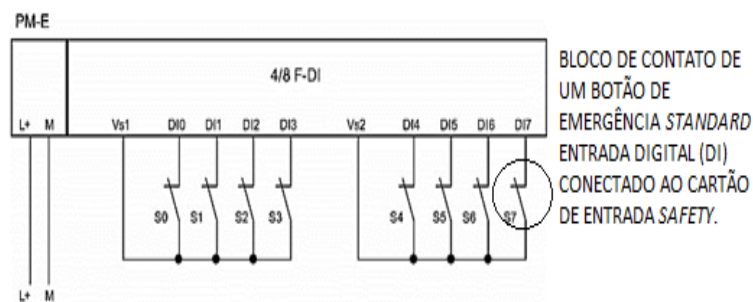
Figura 11: Botão de Emergência *Safety* com redundância e monitoração de contatos.



Fonte: (SIMATEC, 2015).

Diferentemente de um botão *Standard*, que possui somente um contato, como observa-se na Figura 12, a redundância dos sinais no botão de emergência *Safety*, Figura 11, tem papel fundamental na programação de segurança, visto que o cartão F-DI/DO monitora o tempo de discrepância (configurado no hardware) com o intuito de detectar o atraso de sinais nos canais onde o dispositivo de segurança está conectado. (SIMATEC, 2015).

Figura 12: Esquema de ligação do botão de emergência *Standard*.



Fonte: (SIMATEC, 2015).

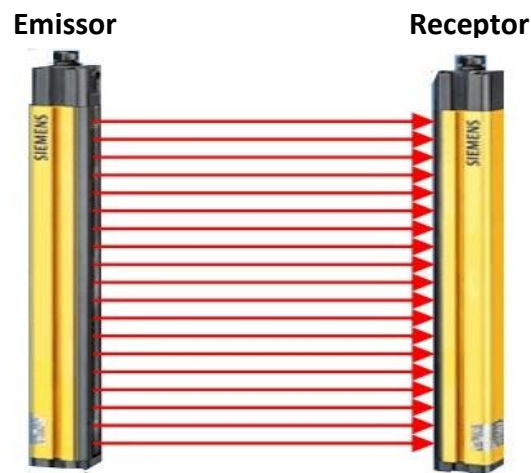
Os canais do cartão F-DI, Figura 12, podem ser utilizados como entrada padrão na

programação de máquinas ou equipamentos em virtude da ausência de um cartão *Standard*.

2.3.4.2. BARREIRA DE LUZ

A cortina de luz, vide Figura 13, é um dispositivo opto eletrônico que emite um feixe de luz de um Emissor para um Receptor, porém a emissão/recepção ocorrem ao longo de uma distância formando-se, assim, uma barreira ótica. A detecção ocorre quando a presença de um corpo, ou objeto, interrompe a linha de visada do Receptor, nesse momento um sinal, redundante, é enviado ao dispositivo de controle (CLP *Safet*). A barreira de luz é utilizada em locais de perigo onde a operação frequente e o acesso fácil de pessoas estão presentes (SIMATEC, 2015).

Figura 13: Barreira de Luz utilizada em zonas de perigo.



Fonte: (SIEMENS, 2006).

De acordo com a norma regulamentadora NR-12, barreira de luz são conhecidas como AOPD (*Active Opto-electronic Protective Device*), um dispositivo com função de detectar interrupção na emissão óptica por um objeto opaco presente na zona de detecção especificada. A norma NR-12 ressalta o uso de barreira de luz com redundância e auto teste, monitorada por interface de segurança, adequadamente dimensionada e instalada. (MTE, 2016).

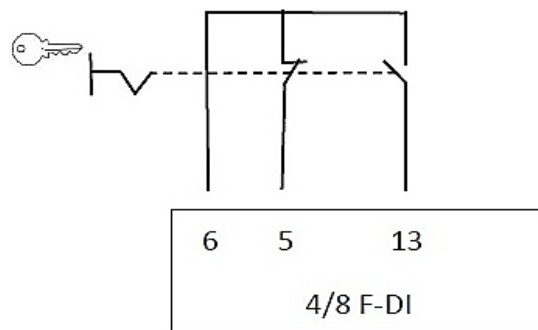
A norma **EN ISO 13855 Segurança de Máquinas – Posicionamento dos Equipamentos de Proteção com Referência à Aproximação de Partes** determina a distância mínima para o posicionamento de barreira de luz em virtude da velocidade de aproximação do operador. Além do dimensionamento das distâncias de segurança, também é considerado problema de medição da inércia das partes móveis da máquina ou equipamento (PILZ, 2016).

2.3.4.3. CHAVE SELETORA SAFETY

Uma chave seletora *Safety* possui duas ou mais posições, conforme mostra Figura 14. É utilizada na prevenção de movimentos indesejados de uma máquina ou equipamento em decorrência da intervenção de trabalhadores, durante a manutenção não regular ou outras operações dentro de áreas de risco. Essa chave habilita funções de máquina dentro da programação *Safety* do CLP, como por exemplo, habilitar o robô somente quando a chave estiver acionada ou permitir a entrada de pessoas dentro da zona de perigo da máquina somente em modo manual. (SIMATEC, 2015).

A norma NR-12 determina que a chave seletora deve ser bloqueada em cada posição, impedindo a mudança por trabalhadores não autorizados. Cada posição da chave seletora deve corresponder a um único modo de comando com prioridade sobre outras funções da máquina ou equipamento, com exceção da função de parada de emergência (MTE, 2016).

Figura 14: Chave seletora Safety utilizada para bloquear movimentos ou situações de risco de máquina ou equipamento.



Fonte: (SIMATEC, 2015).

Pela Figura 11 é possível perceber que a chave seletora possui um contato normalmente aberto (NA) e um contato normalmente fechado (NF) utilizados na programação segura. A chave possui, também, retenção mecânica na qual é possível ser extraída, em uma determinada posição, por questões de segurança.

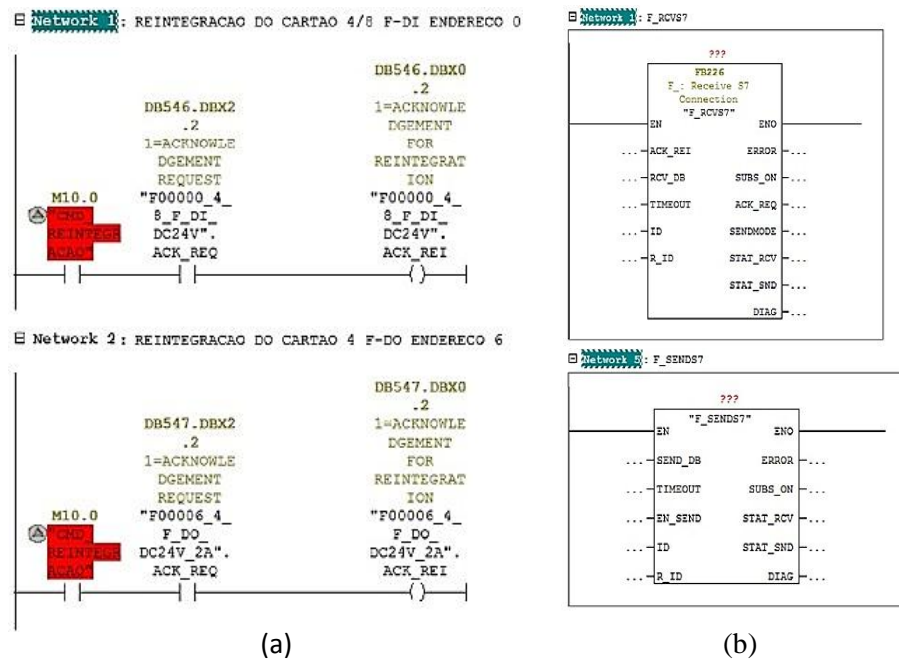
2.3.5. SOFTWARE STEP 7 – PACOTE SAFETY

O software proposto para a adequação à norma regulamentadora NR-12 é o STEP 7, em sua versão 5.5 e com o pacote *S7 Distributed Safety* do fabricante SIEMENS. Esse software trata-se de uma ferramenta de engenharia que oferece um ambiente para o desenvolvimento de aplicações de automação relacionadas à segurança de máquinas e equipamentos por meio de CPU's da família S7-300 e S7-400. O software STEP 7, com o pacote *Safety* instalado, permite que o programa de segurança seja editado por meio de bibliotecas e blocos de segurança

homologados pela *TÜV Rheinland (Technical Inspection Association)*.

Na programação e edição de uma aplicação de segurança intrinsecamente segura utilizando a plataforma STEP 7, são utilizadas apenas duas linguagens de programação: a linguagem Ladder (LD), F-LAD no STEP 7, e a linguagem Diagrama de Blocos Funcionais (FBD), F-FBD no STEP 7. Na Figura 15, tem-se um exemplo de linguagem LD e um exemplo de linguagem FBD. Linguagens complexas, como Texto Estruturado (**ST**), Lista de Instruções (**IL**) ou Mapa Sequencial de Funções (**SFC**), ambas previstas na norma IEC-61131-3, não são utilizadas em aplicações de segurança pelo simples motivo de não possuírem, de imediato, facilidade de diagnóstico e de manutenção, no caso das linguagens **ST** e **IL** devido ao seu alto nível de abstração de lógicas. Na linguagem **SFC**, por ser aplicada em processos onde os eventos ocorrem na forma sequencial, também não é aplicável de acordo com requisitos da norma NR-12 (6.3.a e 12.42), uma vez que a condição de segurança não depende da sequência de eventos, mas em qualquer situação de risco do equipamento. Nesse aspecto, toda linguagem de segurança deve ser simples e objetiva, desde a fase inicial do projeto até após sua aplicação, fazendo-se necessários recursos de fácil entendimento ao usuário.

Figura 15: Linguagem de programação (a) Ladder e (b) Diagrama de Blocos Funcionais.



Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para desenvolvimento da aplicação segura do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

A Figura 15a apresenta a principal linguagem de programação encontrada na grande maioria das aplicações de automação. A linguagem Ladder é semelhante à lógica de circuitos elétricos e, portanto, o seu uso é tão comum. Enquanto que a linguagem de blocos demonstrada na Figura 15b deve ser utilizada em aplicações com maior complexidade. Dessa forma, existe a

necessidade de simplificação da lógica de segurança para melhor visualização e edição de parâmetros.

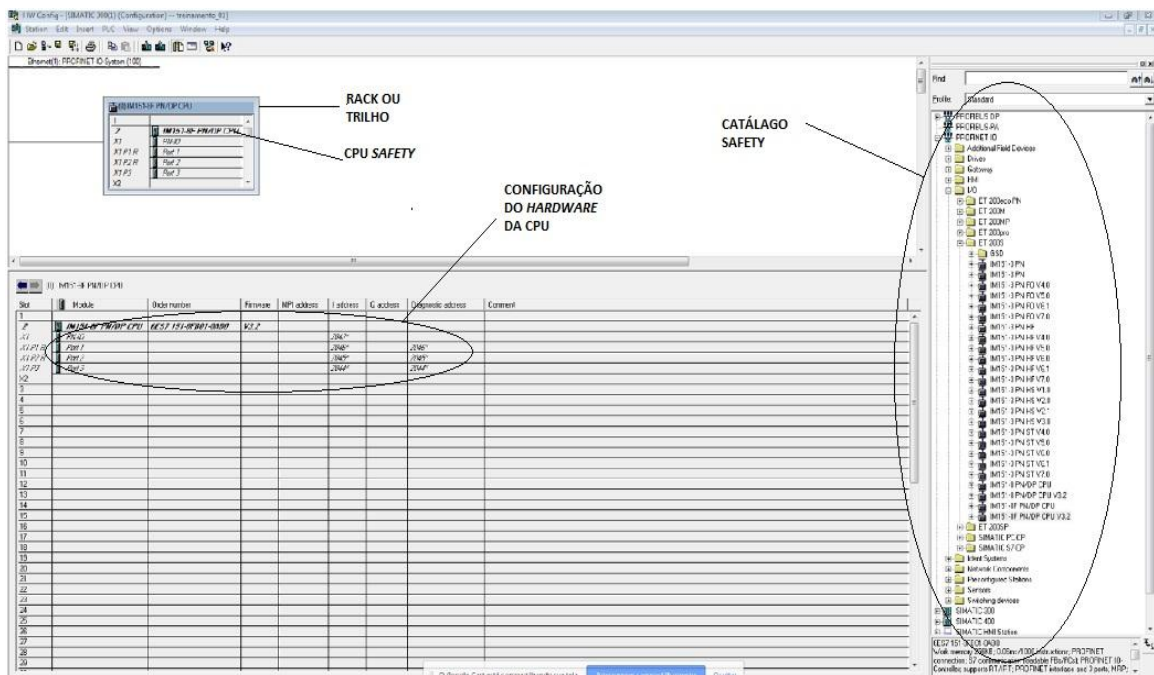
2.3.5.1. DECLARAÇÃO DO HARDWARE DE UM CLP SAFETY

O Editor de Hardware é uma ferramenta que possibilita configurar parâmetros de baixo nível, embarcados no hardware de um CLP (Controlador Lógico Programável) tais como, parâmetros da CPU, dos cartões de comunicação, Ethernet ou Profibus, dos cartões de entrada e saída digital, ou analógico, dos módulos especiais para posicionamento absoluto (*ENCODER*), etc. (SIMATEC, 2015).

A configuração e atribuição de parâmetros em módulos e cartões de hardware do CLP *Safety* modelo IM151-8F PN/DP, proposto nesse trabalho é feito por meio da ferramenta padrão do STEP 7 “*HW CONFIG*”. O pacote opcional “*Distributed Safety*” acrescenta módulos de segurança no catálogo da biblioteca e permite a edição desses parâmetros.

Dessa forma, antes de se declarar o modelo de CPU para o CLP, deve-se primeiramente adicionar o trilho ou “*Rack*”, onde serão inseridos os componentes do equipamento. Em seguida, adiciona-se a CPU *Safety* no trilho por meio do catálogo localizado à direita da janela de configuração, conforme Figura 16.

Figura 16: Configuração do Hardware de um CLP utilizando o catálogo à direita.



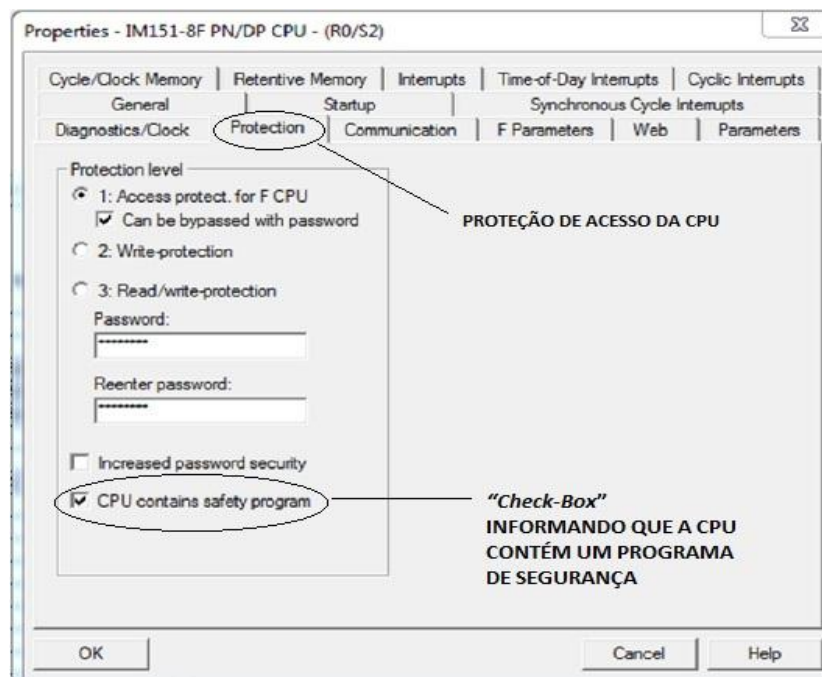
Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para configuração de Hardware do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A..

De acordo com a Figura 16, deve ser inserida a nova CPU no hardware da aplicação e

configurada na sequência. Inicialmente deve ser atribuído o número de IP (*Internet Protocol*) na área “PN-IO” (*Profinet IO*) de acordo com a rede de automação. A escolha do número de IP deve obedecer a critérios rigorosos para o controle entre os setores de tecnologia da automação (TA) e tecnologia da informação (TI) a fim de evitar conflitos na rede.

Na Figura 17 são mostradas as configurações de Hardware do CLP. Um duplo click sobre a CPU e na aba “Protection” deve ser definido a senha de proteção do MMC (*Micro Memory Card*) conservando a integridade do programa de segurança durante a fase de projeto. Na aba de propriedades da CPU, deve ser marcado o “Check-Box” para informar que a CPU contém um programa de segurança conforme demonstra a Figura 17. Nessa etapa, após salvar e compilar o hardware do CLP de segurança, a CPU reserva algumas áreas de memórias, onde são criados blocos de dados necessários ao funcionamento do sistema operacional. O programa *Standard* não deve usar essa área, a fim de evitar erros sistêmicos durante a compilação do programa de segurança. (SIMATEC, 2015).

Figura 17: Inserindo senha de proteção na CPU *Safety*.



Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para configuração de Hardware do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A..

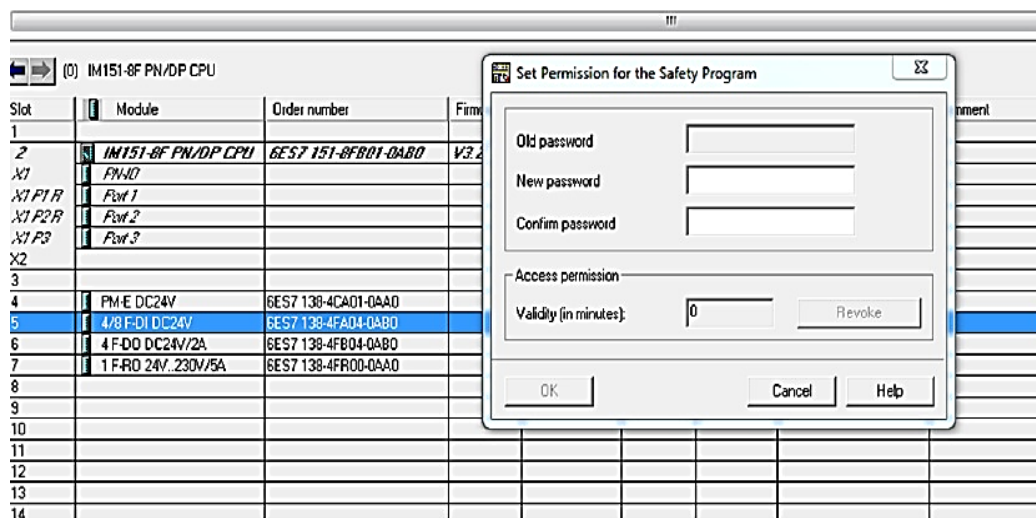
Após configurar a CPU, conforme mostra a Figura 17, devem ser adicionados, por meio do catálogo de hardware, os cartões de entrada e saída digitais de segurança intrínseca (F-DI/DO), os módulos de potência (PM-E) adequados aos demais cartões, e os módulos de saída à relé (1F-RO) utilizado no acionamento de cargas consideráveis (SIMATEC, 2015).

Pode-se dizer que a quantidade de dispositivos de segurança utilizados no projeto de adequação à norma NR-12 é derivada da etapa de avaliação de riscos do equipamento. O número

de cartões é diretamente proporcional ao número de dispositivos necessários na redução da categoria de risco. Logo, nessa fase, é realizado o levantamento de entradas e saídas intrinsecamente seguras.

Na janela de Edição de Parâmetros dos cartões de entrada e saída com segurança intrínseca, é solicitada uma senha de segurança, conforme mostra a Figura 18. Essa senha é a mesma adicionada à CPU e deve ser usada na edição de módulos e programa de segurança (SIMATEC, 2015).

Figura 18: Inserindo senha de segurança para edição de parâmetros.



Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para configuração de Hardware do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A..

A edição e configuração de módulos são definidas de acordo com o projeto elétrico, derivado da etapa de avaliação de risco do equipamento. Desta forma, nas entradas digitais, devem ser utilizados pares de canais intrinsecamente seguros em cada dispositivo de segurança, tais como, emergências, barreira de luz, chaves seletoras, etc., conforme previsto no documento de avaliação de risco.

Logo, tanto as saídas, como as entradas digitais, devem ser configuradas pelo Editor de Hardware (STEP 7). Ainda assim, cada cartão *Safety* possui um endereço de segurança, configurável em chaves de hardware (*DIP Switches*), que deve ser também ser configurado no Editor de Hardware, conforme mencionado no item 2.3.3. Ao finalizar a configuração de hardware (CLP) de segurança, o programa deve ser salvo e compilado com as informações inseridas no projeto. Uma mensagem da compilação é gerada após o processo de validação da parametrização (SIMATEC, 2015).

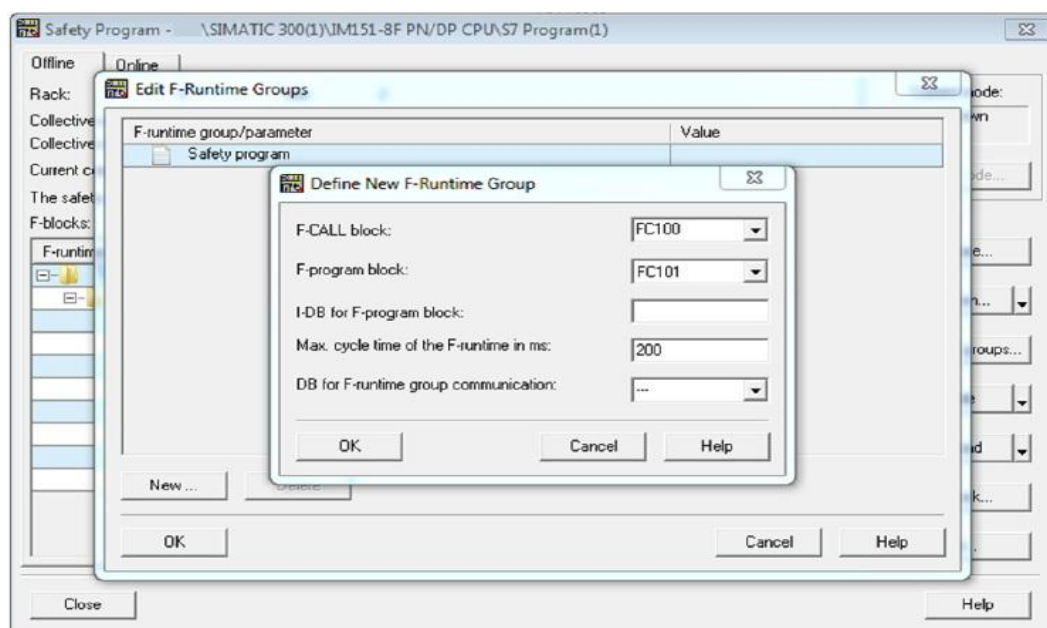
2.3.5.2. ROTINA DE SEGURANÇA (*F-RUNTIME GROUP*)

Depois de realizados a configuração e parametrização do hardware do CLP de segurança, se faz necessário à criação de uma função denominada *F-runtime group* para a execução de rotinas de segurança. Uma rotina de segurança é chamada dentro de um *F-runtime group*, que por sua vez, necessita ser executado dentro de uma interrupção cíclica. O **OB35** é conhecido como bloco de organização e garante uma base de tempo fixa para a execução de rotinas de segurança. (SIMATEC, 2015).

O *F-runtime group* gerencia o programa de segurança e realiza a chamada de todas as funções de segurança. Os seguintes passos devem ser executados para a criação de um *F-runtime group*:

- ◆ Inserir na pasta *Blocks* do STEP 7 um *Organization Block* OB35 no projeto;
- ◆ Inserir um bloco *Function* (por exemplo, FC100) no projeto;
- ◆ Preencher o *Symbolic Name: Runtime Group* na propriedade do bloco FC100;
- ◆ Escolher a opção *F-CALL* na propriedade *Created in language* do bloco FC100;
- ◆ Inserir um bloco *Function* (por exemplo, FC101) no projeto;
- ◆ Preencher o *Symbolic Name: Chamada Safety* na propriedade do bloco FC101;
- ◆ Escolher a opção *F-LAD* na propriedade *Created in language* do bloco FC101;
- ◆ Fazer a chamada do FC100 (*Runtime Group*) dentro do OB35;
- ◆ Abrir o editor do *Distributed Safety* do software STEP 7, conforme Figura 19, no botão *F-Runtime Groups* e definir o FC100 como bloco de chamada das rotinas de segurança.

Figura 19: Configuração e chamada da rotina de segurança.



Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para configuração de Hardware do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A..

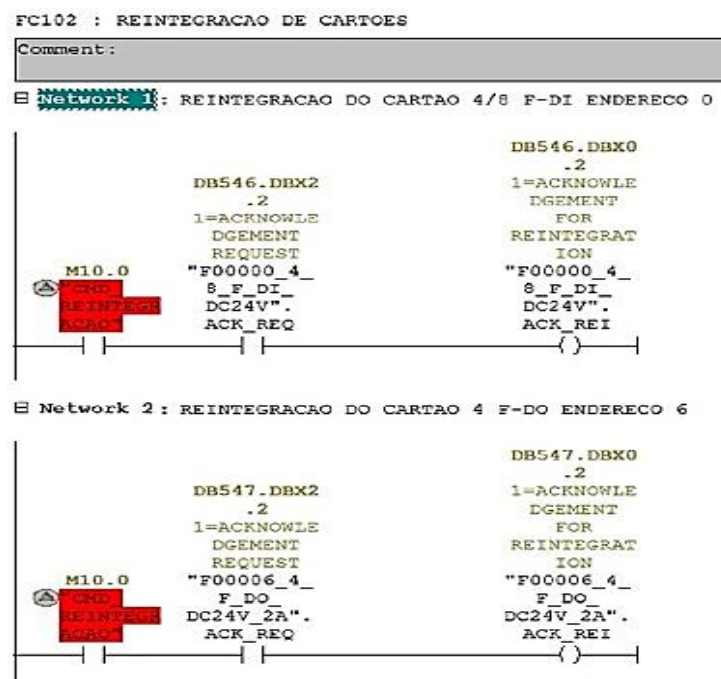
Definido o gerenciador do programa de segurança (FC100) e o bloco de chamada das funções de segurança (FC101), conforme mostra Figura 19, deve ser feita uma nova compilação do programa. O desenvolvimento do software de segurança é iniciado nessa fase do projeto. As funções de segurança, tais como, o circuito de segurança das emergências, circuito da barreira de luz, dos portões de acesso, entre outros circuitos de segurança presentes no equipamento devem ser chamados dentro do bloco de chamada *Safety* (FC101) (SIMATEC, 2015).

2.3.5.3. ROTINA DE REINTEGRAÇÃO DOS MÓDULOS SAFETY

O módulo de segurança *Safety* do fabricante *Siemens* entra em um estado seguro, denominado “passivação (estado inativo)”, ao detectar falhas em algum de seus canais. Essa reação do módulo de segurança *Safety* é uma das exigências da norma regulamentadora NR-12 (item 12.43), no qual todo sistema de segurança e seus componentes devem garantir um estado seguro ao detectar qualquer variação no nível de energia. (MTE, 2016).

Na ocorrência de um evento de “passivação” no módulo de segurança *Safety*, deve ser sanado o motivo que gerou tal falha na CPU antes de se enviar o comando ao módulo de segurança, isto é, o Comando de “Reintegração”, que deve ser aplicado para cada canal do módulo de segurança *Safety*. Portanto, uma função de “Reintegração de Cartões” deve ser criada, com a finalidade de tratar cada canal de maneira independente, detalhado na Figura 20.

Figura 20: Reintegração dos módulos de segurança.



Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para desenvolvimento da aplicação segura do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

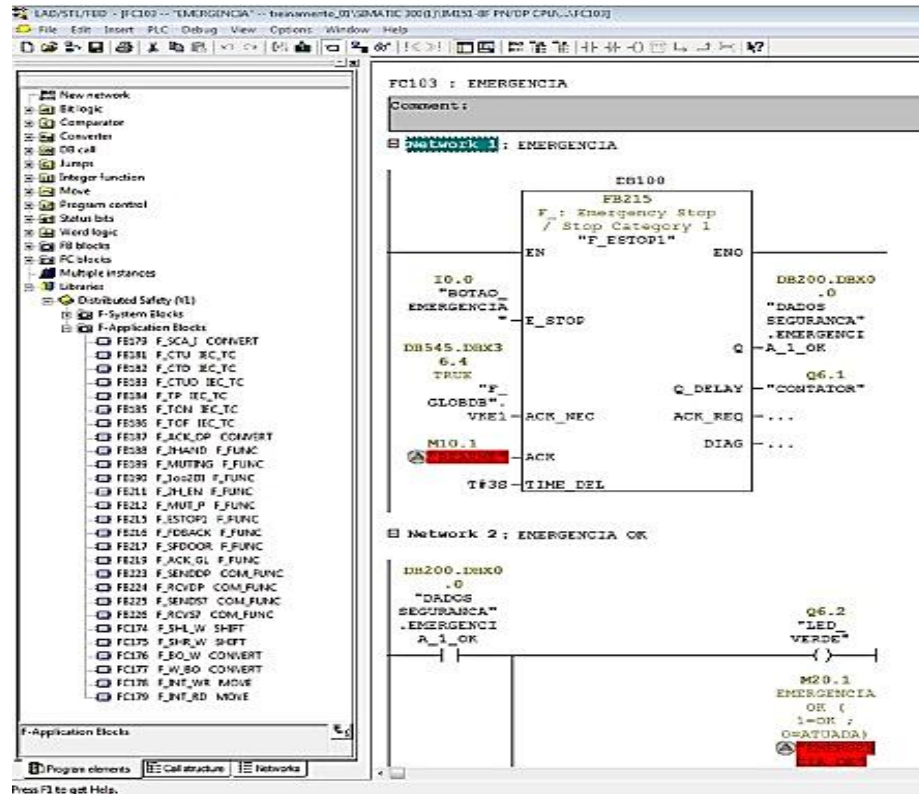
A Figura 20 demonstra, de forma simplificada, a lógica do comando de “Reintegração”. Dados do módulo de segurança, criados automaticamente durante a configuração de hardware do CLP, são ativados na presença de falhas onde se faz necessário o reconhecimento do defeito. Portanto, basta apenas um comando do painel de operação, tal como o botão de reset, para reintegrar os módulos de segurança conforme Figura 20 (SIMATEC, 2015).

2.3.5.4. BIBLIOTECA SAFETY (BLOCOS PADRONIZADOS)

O pacote “*Distributed Safety*” o qual é instalado juntamente com *software STEP 7* possui a biblioteca de segurança com funções definidas para o desenvolvimento do projeto de adequação da norma regulamentadora NR-12. A biblioteca contém diversos blocos homologados pela **TUV** vide item 2.3.5. Os blocos disponíveis na biblioteca *Safety* possuem numeração própria e não devem ser modificados, pelo fato, de um bloco chamar dentro de si outro bloco da biblioteca (SIMATEC, 2015).

Um dos blocos utilizados é o “FB215”, do circuito de emergência, mostrado na Figura 21. O bloco recebe em série, os botões de emergência e a barreira de luz na entrada “E_STOP”. Todos os sinais nessa entrada devem estar em nível lógico alto de forma que a saída “Q” esteja atuada. Caso contrário, a saída “Q” é desatuada e um novo comando de reconhecimento de falha deve ser realizado por meio da entrada “ACK”, no bloco da Figura 21.

Figura 21: Bloco padrão da Biblioteca Safety.



Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para desenvolvimento da aplicação segura do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

2.3.6. SISTEMA DE SUPERVISÃO E COMANDO

No cenário atual as empresas estão preocupadas em aumentar a produtividade com qualidade e zero acidente de forma a tornarem-se, mais eficazes, flexíveis e competitivas no mercado. Por meio de tecnologia de ponta e soluções em automação é possível monitorar e controlar a planta através de um sistema de supervisão e controle. Sistemas de supervisão e comando são executados por softwares específicos através de computadores ou microcomputadores. (INTOUCH, 2016)

O supervisório é um software de supervisão, o qual permite a operação realizar a interface com o processo de produção. Também chamado de HMI (*Human Machine Interface*) no sistema de supervisão e comando, o operador controla todo o processo da planta por meio de gráficos e objetos na tela de um microcomputador. O comando deve ser feito no supervisório e as informações são recebidas pelo CLP. O próprio controlador envia informações ao supervisório informando o estado dos equipamentos do processo. Dados de sensores de todos os tipos, válvulas, motores, etc. são atualizados a cada mudança no estado do processo da máquina ou do equipamento. O supervisório e o CLP estão, a todo instante, trocando informações de acordo com as necessidades do processo. (SIEMENS, 2016a).

A comunicação entre CLP e sistema de supervisão deve ser feita via hardware, por meio de placa de rede (*Ethernet* ou *Profibus*) ou porta serial. Via software, o *driver* do equipamento deve ser executado simultaneamente com o supervisor. O *driver* possui o protocolo de comunicação entre CLP e supervisor no qual é possível essa comunicação. (INTOUCH, 2016).

2.3.6.1. SISTEMA DE SUPERVISÃO (MODELOS E APLICABILIDADE)

O WINCC é o software de supervisão da fabricante *Siemens* segundo a qual se destina a capturar informações de campo e armazená-las em um banco de dados próprio. O software possui um sistema modular configurável que possibilita a edição de funções para cada segmento do projeto. Nesse aspecto, existem ferramentas para edição de janelas que permitem a criação de gráficos idênticos ao processo, garantindo maior similaridade entre a operação e o equipamento. A realidade do campo deve ser empregada em forma de desenhos e gráficos dentro de cada janela do sistema de supervisão. Projetos de fornos, por exemplo, geralmente possuem diversos outros equipamentos, tais como o sistema hidráulico, o sistema de refrigeração e até mesmo a segurança, devem ser fiéis à realidade construtiva do processo. O programa de aplicação WINCC é instalado na plataforma Microsoft Windows XP, Windows Vista e Microsoft Windows Server 2003 e permite à operação ter o controle total da planta por meio dele (SIEMENS, 2016a).

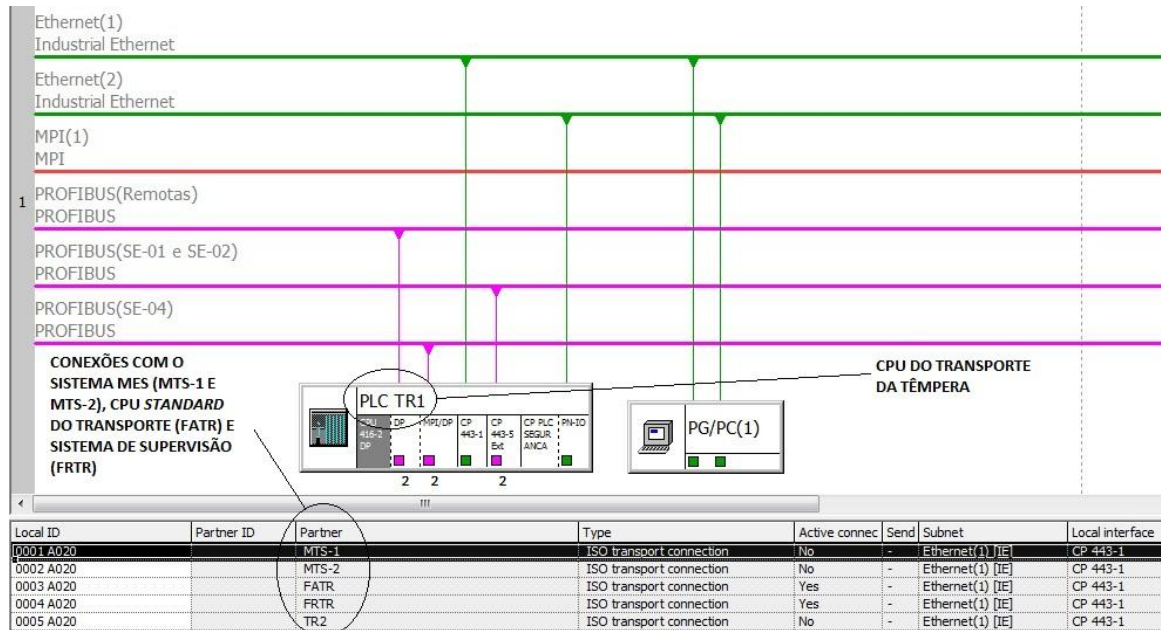
Existem diversos softwares de supervisão disponíveis no mercado tais como *Intouch* da fabricante *Rockwell*, *Cimplicity* da fabricante *GE*, *Elipse SCADA* da fabricante *Elipse*, *WINCC* da fabricante *Siemens*, etc. A maior parte deles funcionam por meio de computadores industriais em virtude da robustez de seus componentes, os quais possuem maiores garantias de proteção ao ambiente industrial, e conseqüentemente, maiores custos. Outra alternativa para configuração de HMI é a utilização de painéis digitais locais (*Painel View*), instalados próximo ao equipamento. Esse dispositivo é totalmente integrado ao PLC e, na maioria dos casos, realiza a comunicação apenas com modelos do mesmo fabricante. A escolha do sistema de supervisão a ser adotada depende de fatores resultantes de uma análise entre custo versus benefício e, das exigências de cada projeto (INTOUCH, 2016).

2.3.6.2. INTERFACE ATUAL UTILIZADA PARA O EQUIPAMENTO

A comunicação do “transporte da têmpera” com o sistema de supervisão é baseada no protocolo Ethernet Industrial (Ethernet IP). O CLP *Standard* (CPU 416-2) do equipamento “Têmpera” realiza a comunicação com o equipamento “Transporte da Têmpera” (CPU 416-2) através da rede Ethernet IP. A CPU da “Têmpera” possui conexões com a CPU do “Transporte

da Têmpera” e, com outros sistemas acima do SCADA, no caso, o sistema MES (*Manufacturing Execution Systems*) denominado no projeto como “MTS”. Existem outras conexões da CPU da “Têmpera”, tais como a conexão com o sistema de supervisão, mostrada pela Figura 22.

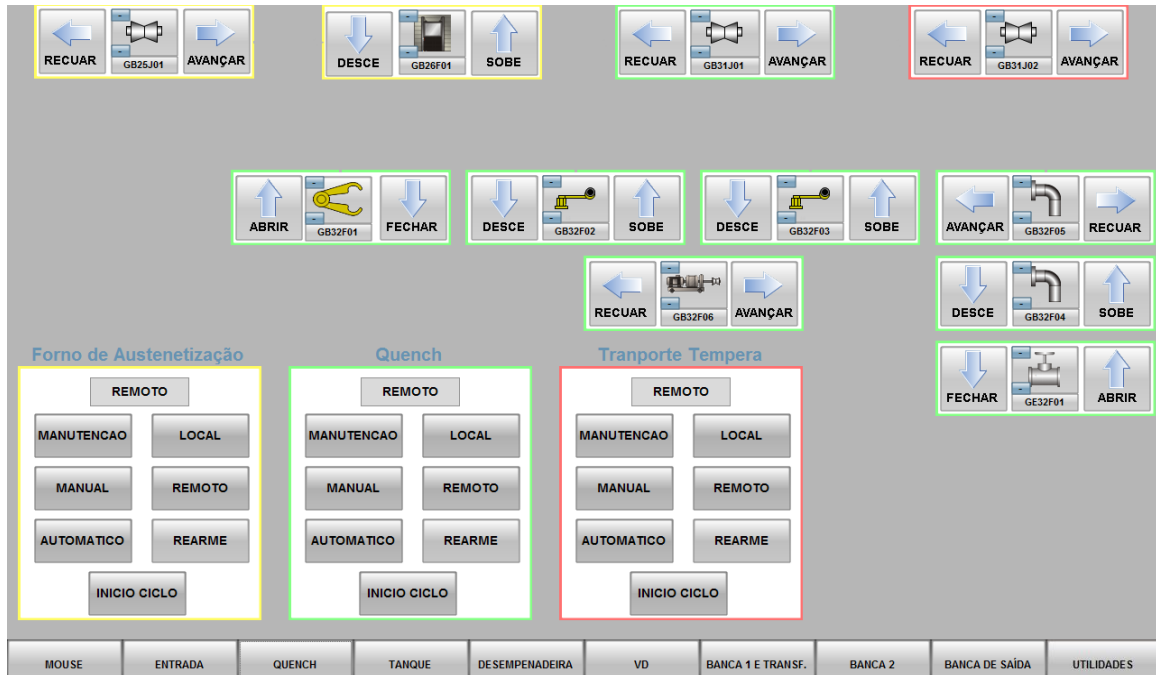
Figura 22: Comunicação atual do equipamento "Transporte da Têmpera".



Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para configuração de Hardware do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A..

O software SCADA WINCC 7.0 é utilizado pela operação do equipamento e sua interface é mostrada na Figura 23, onde é possível observar que não há informações, ou lógicas, de segurança sobre os equipamentos. A proposta desse trabalho também envolve a criação de uma Interface Homem Máquina (HMI), onde a operação possa fazer, pelo menos, o reconhecimento e o monitoramento de falhas relacionadas à segurança. Além disso, faz-se necessário a criação de um sistema que permita o acesso seguro de funcionários ao interior do equipamento, quando solicitado. Nesse aspecto, é necessária a criação de uma lógica de segurança baseada na norma regulamentadora NR-12 e demais normas citadas neste trabalho (IEC 62061, IEC 61508, IEC 60204-1) de forma a garantir a parada segura e o desligamento total de equipamentos auxiliares envolvidos.

Figura 23: Supervisório atual do equipamento "Têmpera".



Fonte: Tela do sistema de supervisão Wincc da Siemens para operação do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A NR-12 funciona como guia básico para que as empresas sigam um conjunto de normas técnicas e informações básicas durante e após o processo de adequação de máquinas ou equipamentos. Desta forma, devem ser cumpridas todas as exigências contidas nessa norma com o intuito de garantir a segurança aos trabalhadores. Desde a fase inicial de projeto, é necessário pensar na segurança dos trabalhadores e, mesmo depois, é indispensável manter o controle dos dispositivos projetados com a tecnologia *Safety*.

O investimento para adequação á norma NR-12, por parte dos empresários, é pequena ao comparar os gastos com o acidente de trabalho. Indenizações, afastamento, entre outros acidentes são prejudiciais para a sociedade (INSS), para o acidentado (lesões corporais e incapacidades) e para o empregador (parada de produção, despesas médicas, etc.).

Nesse aspecto, o empregador deve ficar atento aos novos prazos estipulados pela portaria 197, de 17 de dezembro de 2010 onde é definido o tempo máximo par adequação de máquinas novas (no máximo 18 meses) e usadas (no máximo 30 meses) (MTE, 2016). Isso evita que as empresas sejam atadas por descumprimentos da norma NR-12.

3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

3.1. APRECIÇÃO E ANÁLISE DOS RISCOS DO EQUIPAMENTO

O “Transporte da Têmpera” é responsável pela saída de tubos da têmpera até a área de resfriamento. O movimento do tubo é realizado por meio de motores elétricos fixados em eixos rotativos e acionado através de inversores de frequência para controle da velocidade. Em torno da ”Têmpera”, existem grades de proteção e portões no qual o acesso não é controlado conforme a norma NR-12. No controle do equipamento, não existem, também, sistemas que assumam o estado seguro na ocorrência de eventos perigosos desses equipamentos. Além disso, os dispositivos de segurança utilizados não são intrinsecamente seguros e possuem baixo nível de integridade de segurança (SIL). Atualmente, os dispositivos de segurança utilizados possuem baixo nível de confiabilidade e toda atividade realizada dentro da área de transporte de tubos depende, exclusivamente, do comportamento do trabalhador. O sistema baseado no comportamento humano como este é frágil sob o aspecto da segurança do trabalho e apresenta alta probabilidade de acidente. Logo, ao entrar no perímetro de limite de segurança da ”Têmpera”, o operador está desprotegido devido aos riscos existentes.

O “Transporte da Têmpera” apresenta os seguintes riscos:

- ◆ Risco de esmagamento de membros (perigo mecânico);
- ◆ Risco de queda (passarelas sobre a linha de rolos);
- ◆ Ruídos audíveis em níveis perigosos;
- ◆ Radiação em níveis perigosos (saída de peças do equipamento “Têmpera”);
- ◆ Risco de queimadura durante o movimento de peças no leito de rolos;
- ◆ Risco de corte durante a correção da posição de mais de uma peça no removedor;
- ◆ Risco de ser atingido por mangueiras pressurizadas em caso de ruptura (chicoteamento);
- ◆ Risco de choque elétrico em partes estruturais do equipamento.

Através dos riscos identificados na etapa de “Apreciação de Riscos” são determinadas a categoria de risco do equipamento e as medidas de segurança necessárias para cercar os riscos identificados. A determinação da categoria de risco é baseada, conforme mencionado no item 2.1.3, nas normas **EN 954-1/NBR 14153 Segurança de Máquinas – Partes de Sistemas de Comando Relacionados à Segurança, Princípios Gerais para Projeto** e **ISO/TR 14121-2 Safety of Machinery – Risk Assessment**. No equipamento “Transporte da Têmpera”, o cálculo para determinação da categoria de risco utilizado é baseado no número de avaliação de

risco (**HRN**) (vide item 2.1.3) como sendo o produto dos parâmetros **Probabilidade de Ocorrência, Frequência de Exposição, Probabilidade Máximo de Perda e Número de Pessoas Expostas**. Desta forma, para cada ponto de risco identificado, é realizado o cálculo de índice de risco prioritário (RPI ou Avaliação de Risco) conforme é observado no exemplo do Quadro 1.

Quadro 1: Determinação da Categoria do Risco a partir da Avaliação de Risco do equipamento “Serra Franho”.

IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS - CÁLCULO DO RPI (Índice de Risco Prioritário)						
Agarrar / Choque / Cortar / Enrolar / Escorregar / Esmagar / Intoxicar /						
RISCOS	CÁLCULO DO RPI					RPI
	S	E	P	C		
Ser atingido por fragmentos da lâmina em caso de quebra.	4	4	1	3	48	MODERADA
Esmagamento dos membros superiores.	4	4	1	4	64	MODERADA
Cortar ao posicionar tubos manualmente na linha de rolos.	2	4	1	4	32	ACEITÁVEL
Risco ergonômico ao visualizar a movimentação dos tubos na banca de entrada.	2	4	1	5	40	MODERADA
Queimar ao empurrar sucata quente para caçamba manualmente.	3	4	1	4	48	MODERADA
Ser atingido por tubos ao atravessar a linha de rolos para acessar as bancas de entrada e saída para rolar, soprar ou esmerilhar peças.	4	4	2	5	160	ALTO RISCO
Ser atingido por tubos na linha de rolos.	4	4	2	5	160	ALTO RISCO
AVALIAÇÃO DO RISCO CONFORME NBR 14153 (vide figura abaixo)						
Gravidade da Lesão	Frequência e/ou tempo de exposição	Possibilidade de evitar o perigo	CATEGORIA			
S2	F2	P2	Categoria 4			

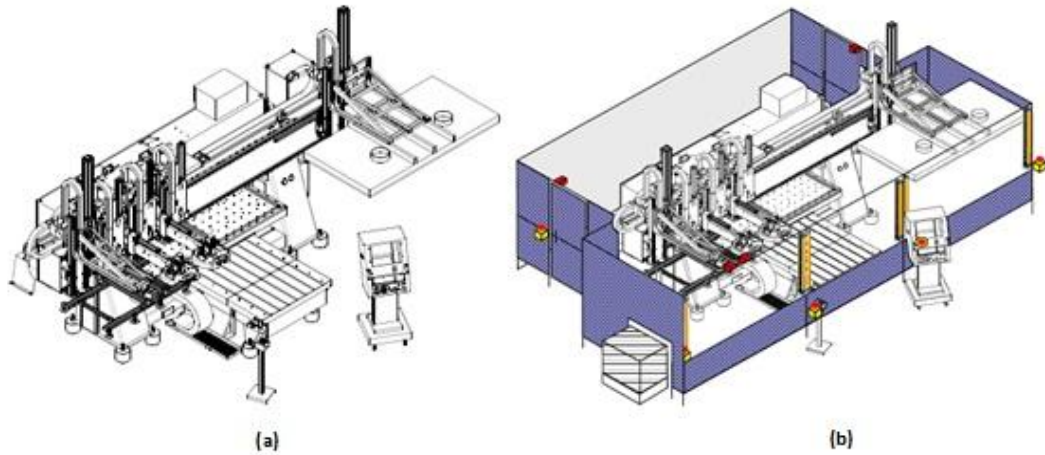
Fonte: Documentação interna do projeto de adaptação para automação segura do equipamento “Serra Franho”, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

Baseando-se no exemplo de riscos identificados do Quadro 1 do equipamento “Serra Franho” em acordo com a norma NR-12, são propostos, após a classificação da categoria do risco, medidas de segurança para o controle efetivo do equipamento bem como a garantia da funcionalidade do sistema de automação a ser implementada em atendimento à norma. No Quadro 1 são quantizados os riscos identificados na etapa de “Avaliação de Risco” (vide item 2.1.3) a fim de estabelecer a categoria ao qual o equipamento se encontra. Todavia, é necessário registrar todos os riscos levantados e estabelecer um índice (**HRN**) a fim de se avaliar os resultados após a implementação do novo sistema de automação.

De acordo com cada risco identificado, é necessário aplicar medidas de segurança para controlar os riscos. Portanto, devem ser aplicadas as normas que compõe a NR-12 para cada situação levantada. No exemplo da Figura 24 (a) abaixo, uma máquina apresenta ausência de proteções e dispositivos de segurança intrínseca. As referências para controlar os riscos identificados, neste caso, são as normas ISO 13855 (Posicionamento das proteções), ISO 13857 (Distância mínima para se evitar a zona de risco do equipamento), NBR NM 272 (Requisitos para projeto e construção de proteções fixas e móveis) e os itens 12.38 a 12.55 da NR-12 (dispositivos

de segurança intrínseca).

Figura 24: Medidas para redução dos riscos de máquinas e equipamentos.



Fonte: (PILZ, 2016).

Conforme ilustrado na Figura 24 **(b)**, após a aplicação das normas competentes á NR-12, tem-se um conceito de segurança onde se alcança a categoria de risco exigido pela “Apreciação de Riscos”. Neste caso específico, o equipamento está em conformidade com os requisitos estabelecidos pela norma NR-12.

3.2. LEVANTAMENTO DE ENTRADAS E SAÍDAS DE SEGURANÇA INSTRÍNSECA

Após a etapa de estudo do equipamento “Transporte da Têmpera” por meio da “Apreciação de Risco” (vide item 2.1.3), é realizado o levantamento de entradas e saídas digitais dos dispositivos de segurança intrínseca envolvidos no processo de adequação. Alguns dispositivos de segurança, tais como, bloco de emergência *Safety*, barreira de luz, comando e portões de acesso estão listados no Quadro 2.

Quadro 2: Entradas digitais *Safety* do equipamento “Transporte da Têmpera”

SIMBÓLICO	ENDEREÇO	TIPO DE DADO	COMENTÁRIO / DESCRIÇÃO
GP12M01_K11_K12_K14_K15	I 0.0	BOOL	MONITORA CONTADORES DESLIGADOS BARRAMENTO 1 E 2 (TR FORNOS)
GP12M01_K11_K13	I 0.1	BOOL	MONITORA CONTADORES DESLIGADOS BARRAMENTO 3 E 4 (TR FORNOS)
GP12M01_K71_K72_MONITORA	I 0.5	BOOL	MONITORA CONTADORES DESLIGADOS VALVULAS SOLENOIDES REV (GERAL + ENTRE FORNOS)
GP12M01_K73_K74_MONITORA	I 0.6	BOOL	MONITORA CONTADORES DESLIGADOS VALVULAS SOLENOIDES REV (ENTRADA)
GP14N01_OUT1_A51	I 9.0	BOOL	BARRAMENTO 1 DE EMERG. INSTANTÂNEO - +A15EB01 - SE 1
GP14N01_OUT2_A51	I 9.1	BOOL	BARRAMENTO 1 DE EMERG. INSTANTÂNEO - +A15EB01 - SE 1
GP14N01_OUT1_A52	I 10.0	BOOL	BARRAMENTO 2 DE EMERG. TEMPORIZADO +A15EB01 - SE 1
GP14N01_OUT2_A52	I 10.1	BOOL	BARRAMENTO 2 DE EMERG. TEMPORIZADO +A15EB01 - SE 1
GP14N01_OUT1_A53	I 11.0	BOOL	BARRAMENTO 3 DE EMERG. TEMPORIZADO +A15EB61 - SE 1
GP14N01_OUT2_A53	I 11.1	BOOL	BARRAMENTO 3 DE EMERG. TEMPORIZADO +A15EB61 - SE 1
GP14N01_OUT2_A54	I 12.0	BOOL	BARRAMENTO 4 DE EMERG. TEMPORIZADO +A15EB61 - SE 1
GP14N01_OUT1_A54	I 12.1	BOOL	BARRAMENTO 4 DE EMERG. TEMPORIZADO +A15EB61 - SE 1
GP12M01_S11_VS1	I 44.0	BOOL	BOTÃO DE EMERGENCIA (GERAL) CAB PRINC +A15FP01
GP12M01_S12_VS1	I 44.1	BOOL	BOTÃO DE EMERGENCIA (ENTRE FORNOS) CAB PRINC +A15FP01
GP12M01_S21_VS1	I 44.2	BOOL	BOTÃO DE EMERGENCIA (BANCA ENTRADA) PÚLPITO +A15FP01
GP12M01_S22_VS1	I 44.3	BOOL	BOTÃO DE EMERGENCIA (BANCA ENTRADA) PÚLPITO +A15FP01
GG12M01_S11_VS1	I 110.0	BOOL	BOTAO DE EMERGENCIA DO PULPITO +G07P08
GG12M01_S12	I 110.1	BOOL	COMANDO LIGA MESA DO PULPITO +G07P08
GG12M01_S21_VS1	I 110.2	BOOL	BOTAO DE EMERGENCIA DO PULPITO +G07P09
GG12M01_S22	I 110.3	BOOL	COMANDO LIGA MESA DO PULPITO +G07P09
GG12M01_S31_VS1	I 116.0	BOOL	BOTAO DE EMERGENCIA DO PULPITO +G07P10
GG12M01_S32	I 116.1	BOOL	COMANDO LIGA MESA DO PULPITO +G07P10
GG12M01_S41_VS1	I 116.2	BOOL	BOTAO DE EMERGENCIA DO PULPITO +G07P12
GG12M01_S42	I 116.3	BOOL	COMANDO LIGA MESA DO PULPITO +G07P12
GG13M01_A11	I 122.0	BOOL	PORTAO DE ACESSO TRAVADO - PORTAO 1
GG13M01_A21	I 122.1	BOOL	PORTAO DE ACESSO TRAVADO - PORTAO 2
GG13M01_A31	I 122.2	BOOL	PORTAO DE ACESSO TRAVADO - PORTAO 3
GG13M01_A41	I 122.3	BOOL	PORTAO DE ACESSO TRAVADO - PORTAO 4
GG30J01_A51	I 128.0	BOOL	BARREIRA DE LUZ DA INSPECAO DE PE ATUADA
GG36J01_A111	I 128.1	BOOL	BARREIRA DE LUZ DA RECUPERACAO DE TUBOS ATUADA
GG40F01_A41	I 128.2	BOOL	BARREIRA DE LUZ DA INSPECAO DE PONTA ATUADA
BARREIRA_LUZ_INSP_CORPO	I 128.3	BOOL	BARREIRA DE LUZ DA INSPECAO DE CORPO ATUADA
GG12M01_S51_VS1	I 134.0	BOOL	BOTAO DE EMERGENCIA DO PULPITO +G07P11
GG12M01_S52	I 134.1	BOOL	COMANDO LIGA MESA DO PULPITO +G07P11
GF73F07_BLOQUEIO	I 134.2	BOOL	BATENTE MOVEL NA POSICAO DE BLOQUEIO

Fonte: Documentação interna do projeto de adaptação para automação segura do equipamento “Transporte da Têmpera”, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

As entradas seguras dos barramentos de segurança *Safety* e toda sinalização de segurança estão listados no Quadro 2. Os dados presentes no quadro de entrada digitais *Safety* estão em acordo com a planilha elaborada no item 2.1.3 e devem possuir todos os pré-requisitos no projeto elétrico.

Observando-se o Quadro 2 pode-se notar em destaque o botão de emergência (endereço I144. 1), o portão de acesso (endereço I122. 0) e a cortina de luz (endereço I128. 0) os quais fazem parte do circuito de segurança da área de inspeção de tubos. Os dispositivos de segurança intrínseca utilizados estão conectados diretamente nas entradas digitais dos cartões F-DI do CLP *Safety* e, caso haja qualquer situação de risco, inicia-se a parada rápida dos acionamentos de cada inversor de frequência dessa área de inspeção de tubos imediatamente após a detecção pela barreira de luz, ou atuação da emergência, ou portão de acesso no local.

As saídas seguras dos barramentos de segurança *Safety* estão listadas no Quadro 3. De forma idêntica, os dados presentes no quadro de saída digitais *Safety* do equipamento “Transporte da Têmpera” estão em acordo com a planilha elaborada no item 2.1.3. A saída digital *Safety* (endereço Q157. 0) em destaque, no Quadro 3, corresponde ao barramento de segurança 9 da área de inspeção de tubos. Essa e demais saídas digitais *Safety* são desativadas após a detecção de qualquer situação de risco percebida pelas entradas digitais *Safety*.

Quadro 3: Saídas digitais Safety do equipamento “Transporte da Têmpera”.

SIMBÓLICO	ENDEREÇO	TIPO DE DADO	COMENTÁRIO / DESCRIÇÃO
GG13M01_H11_VD	Q 0.0	BOOL	SINALIZACAO - PORTAO 1 LIBERADO
GG13M01_H11_VM	Q 0.1	BOOL	SINALIZACAO - PORTAO 1 FECHADO
GG13M01_H21_VD	Q 0.2	BOOL	SINALIZACAO - PORTAO 2 LIBERADO
GG13M01_H21_VM	Q 0.3	BOOL	SINALIZACAO - PORTAO 2 FECHADO
GG13M01_H31_VD	Q 0.4	BOOL	SINALIZACAO - PORTAO 3 LIBERADO
GG13M01_H31_VM	Q 0.5	BOOL	SINALIZACAO - PORTAO 3 FECHADO
GG13M01_H41_VD	Q 0.6	BOOL	SINALIZACAO - PORTAO 4 LIBERADO
GG13M01_H41_VM	Q 0.7	BOOL	SINALIZACAO - PORTAO 4 FECHADO
GG10D00_A31	Q 72.0	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 1 ENERGIZADO
GG10D00_A32	Q 72.1	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 2 ENERGIZADO
GG10D00_A33	Q 72.2	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 3 ENERGIZADO
GG10D00_A34	Q 72.3	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 4 ENERGIZADO
GG10D00_A51	Q 82.0	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 5 ENERGIZADO
GG10D00_A52	Q 82.1	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 6 ENERGIZADO
GG10D00_A53	Q 82.2	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 7 ENERGIZADO
GG10D00_A54	Q 82.3	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 8 ENERGIZADO
GP14N01_A51	Q 97.0	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 1 ENERGIZADO +A15EB01
GP14N01_A52	Q 97.1	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 2 ENERGIZADO +A15EB01
GP14N01_A53	Q 97.2	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 3 ENERGIZADO +A15EB61
GP14N01_A54	Q 97.3	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 4 ENERGIZADO +A15EB61
GP14N01_A71	Q 102.0	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 5 ENERGIZADO +A15EE01
GG14M01_Y11	Q 140.0	BOOL	BLOCO SEGURANCA 1 - VD BANCA 1 - LIBERA VALVULA A
GG14M01_Y12	Q 140.1	BOOL	BLOCO SEGURANCA 1 - VD BANCA 1 - LIBERA VALVULA B
GG14M01_Y73	Q 140.2	BOOL	BLOCO SEGURANCA 3 - SAIDA LEITO 3 E VD BANCA 1 - VALV DESCARGA ABRE/FECHA
GG14M01_Y41	Q 146.0	BOOL	BLOCO SEGURANCA 2 - GRP ENTRADA VD BANCA 1 - LIBERA VALVULA A
GG14M01_Y42	Q 146.1	BOOL	BLOCO SEGURANCA 2 - GRP ENTRADA VD BANCA 1 - LIBERA VALVULA B
GG14M01_Y71	Q 146.2	BOOL	BLOCO SEGURANCA 3 - SAIDA LEITO 3 E BANCA VD 1 - LIBERA VALVULA A
GG14M01_Y72	Q 146.3	BOOL	BLOCO SEGURANCA 3 - SAIDA LEITO 3 E BANCA VD 1 - LIBERA VALVULA B
GG14M02_Y11	Q 152.0	BOOL	BLOCO SEGURANCA 1 - VD BANCA 2 ENTRADA - LIBERA VALVULA A
GG14M02_Y12	Q 152.1	BOOL	BLOCO SEGURANCA 1 - VD BANCA 2 ENTRADA - LIBERA VALVULA B
GG14M02_Y41	Q 152.2	BOOL	BLOCO SEGURANCA 2 - VD BANCA 2 SAIDA - LIBERA VALVULA A
GG14M02_Y42	Q 152.3	BOOL	BLOCO SEGURANCA 2 - VD BANCA 2 SAIDA - LIBERA VALVULA B
GP14N01_A91	Q 157.0	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 9 ENERGIZADO +A16EE01 (BANCA INSPEÇÃO)
GP14N01_A92	Q 157.1	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 10 ENERGIZADO +A16EE01
GP14N01_A93	Q 157.2	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 11 ENERGIZADO +A16EHW1
GP14N01_A94	Q 157.3	BOOL	BARRAMENTO DE SEGURANCA 12 ENERGIZADO RESERVA
GP12M01_K71_K72	Q 162.0	BOOL	BLOCO SEGURANCA - REMOTAS VALVULAS SOLENOIDES (ENTRE FORNOS) +A15FP01
GP12M01_K73_K74	Q 162.1	BOOL	BLOCO SEGURANCA - REMOTAS VALVULAS SOLENOIDES (ENTRADA) +A15FP01

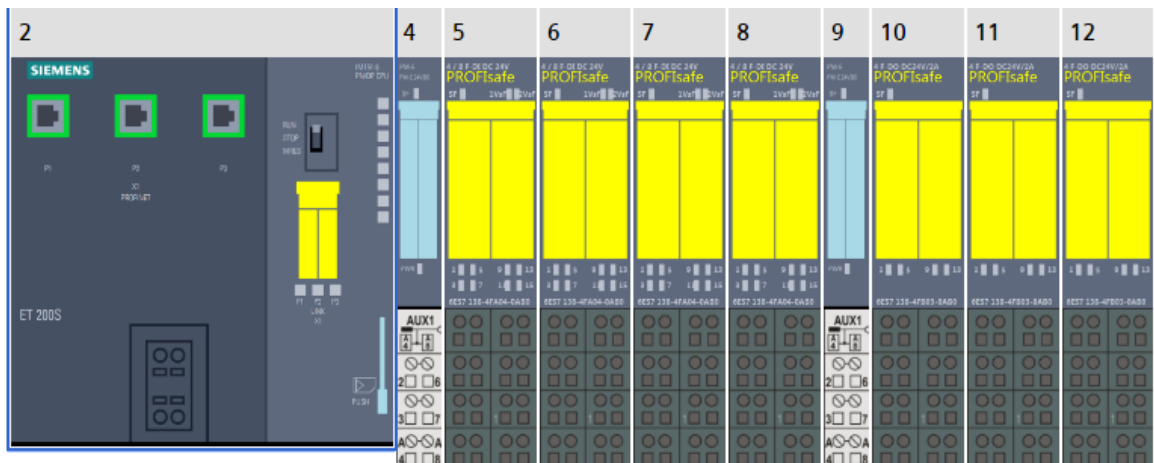
Fonte: Documentação interna do projeto de adaptação para automação segura do equipamento “Transporte da Têmpera”, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

3.3. LEVANTAMENTO DO CONTROLADOR E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA INTRÍNSECA

O levantamento do controlador para a proposta de adequação da norma regulamentadora NR-12 se baseia tanto na categoria do grau de risco, identificado no item 2.1.3, bem como no nível de integridade de segurança (SIL) identificado no item 2.3.1. O fabricante do controlador proposto neste trabalho e seus módulos de segurança intrínseca estão em conformidade com os requisitos de segurança até a categoria 4 (Cat.4) e o nível de integridade de segurança 3 (SIL3).

Conforme Figura 25, o controlador proposto para o projeto de adequação é a CPU IM 151-8 PN/DP do fabricante *Siemens* e seus módulos de segurança intrínseca. Outros fatores justificam a escolha da CPU, tais como, o protocolo de comunicação *Ethernet TCP/IP* com suporte á rede *PROFINET* da *Siemens*, o número de módulos auxiliares possíveis na estação (63 módulos no total), a comunicação em tempo real com sistemas de supervisão, a memória de trabalho (192 Kbytes) para programação da lógica segura e outros fatores relevantes no projeto de automação intrinsecamente segura.

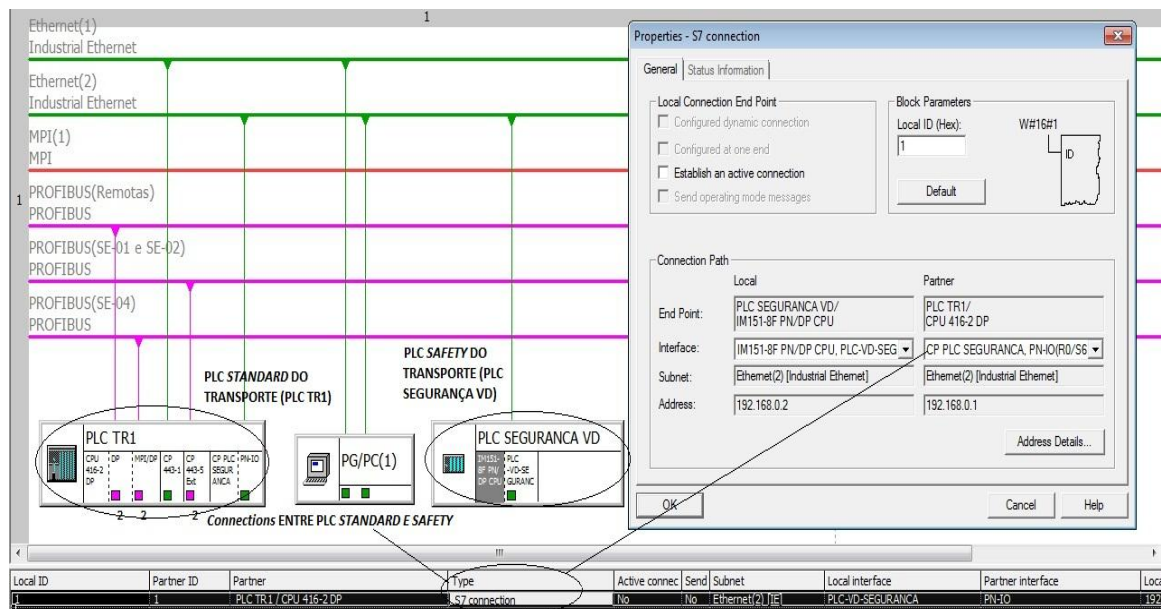
Figura 25: Configuração de Hardware do CLP *Safety* sendo: CPU *Safety* IM 151-8F PN/DP (item 2), Módulo de Potência PM (itens 4 e 9), Cartões de entrada *Safety* (itens 5, 6, 7 e 8) Cartões de saída *Safety* (itens 10, 11 e 12).



Fonte: Tela de configuração de Hardware do equipamento “Transporte da Têmpera”, cortesia Simatec Tecnologia da Automação S.A.

A configuração atual do sistema “Transporte da Têmpera” exige do Hardware a tecnologia conforme citado no parágrafo anterior para que o processo de integração entre o CLP *Standard* e o CLP *Safety* seja possível. Os dados de segurança do CLP *Safety* devem ser enviados por meio da comunicação Ethernet *PROFINET* da *Siemens* através de “Connections” ao CLP *Standard* do equipamento “Transporte da Têmpera” conforme Figura 26.

Figura 26: Nova arquitetura da rede de automação entre CLP *Standard* e CLP *Safety*.

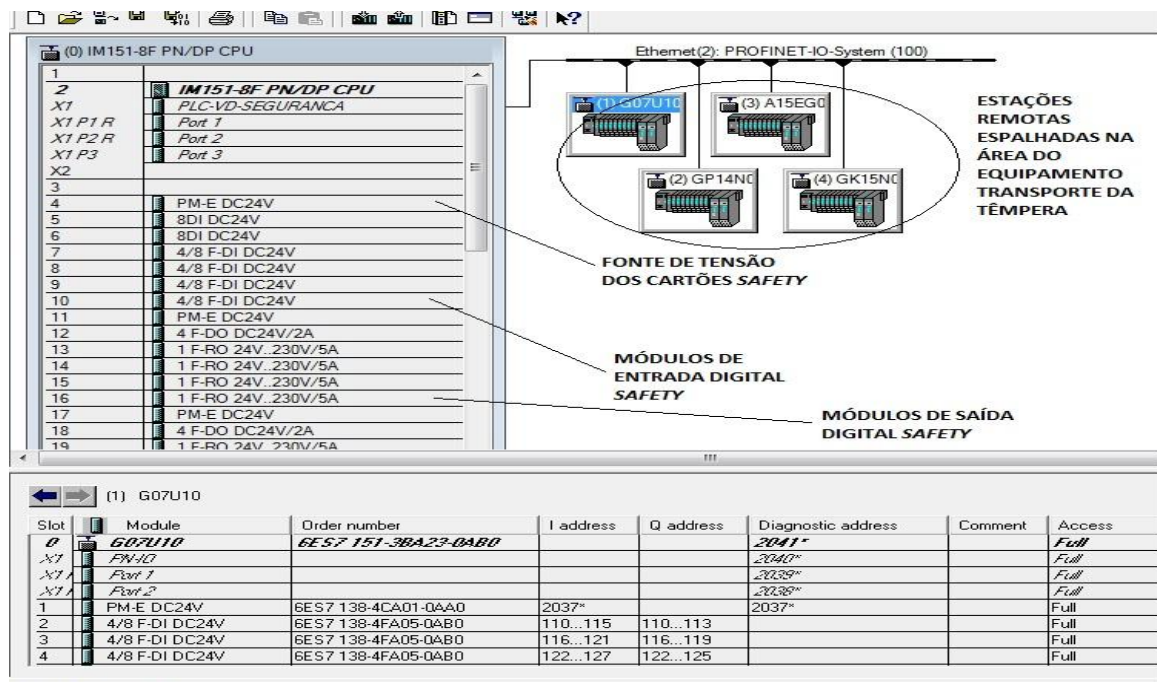


Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para configuração de Hardware do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A..

É possível observar na Figura 26, uma nova estrutura da arquitetura de rede com a presença do “CLP de segurança VD” na comparação com a Figura 22. Observando-se novamente a, Figura 22 (item 2.3.6.2 desse trabalho) e comparando com a Figura 26, pode-se

notar a ausência de um sistema de segurança intrínseca na estrutura de rede antes do processo de adequação à norma NR-12. É importante ressaltar que a nova estrutura do CLP de segurança exige a presença de módulos de entrada e saída (F-DI/DO), fontes de tensão, estações remotas e outros módulos com a tecnologia *Safety* conforme a configuração de *hardware* apresentada na Figura 27. A quantidade de módulos conectados ao CLP de segurança é derivada do levantamento de entradas e saídas seguras realizada no 2.1.3 conforme mostra o Quadro 2 e o Quadro 3 descritas no item 3.2.

Figura 27: Configuração de hardware do CLP de segurança.



Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para configuração de Hardware do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

Os fabricantes de dispositivos de segurança intrínseca tais como, blocos de emergências, chaves seletoras, cortina de luz e portões de acesso possuem, também, a categoria de segurança exigida (Cat.4) e nível de integridade de segurança (SIL3) na integração com o CLP de segurança.

3.4. PROGRAMAÇÃO DA APLICAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO SEGURA

A programação da aplicação de adequação se inicia após a declaração do hardware com todos os endereços de entrada e saída definidos no projeto elétrico (item 3.2) elaborado de acordo com a etapa de “Apreciação de Risco”. A etapa de declaração do *hardware* do CLP *Safety* é descrita no item 2.3.5.1 no qual é realizada toda configuração de *Hardware* do CLP de segurança por meio do *Software STEP 7* da *Siemens*.

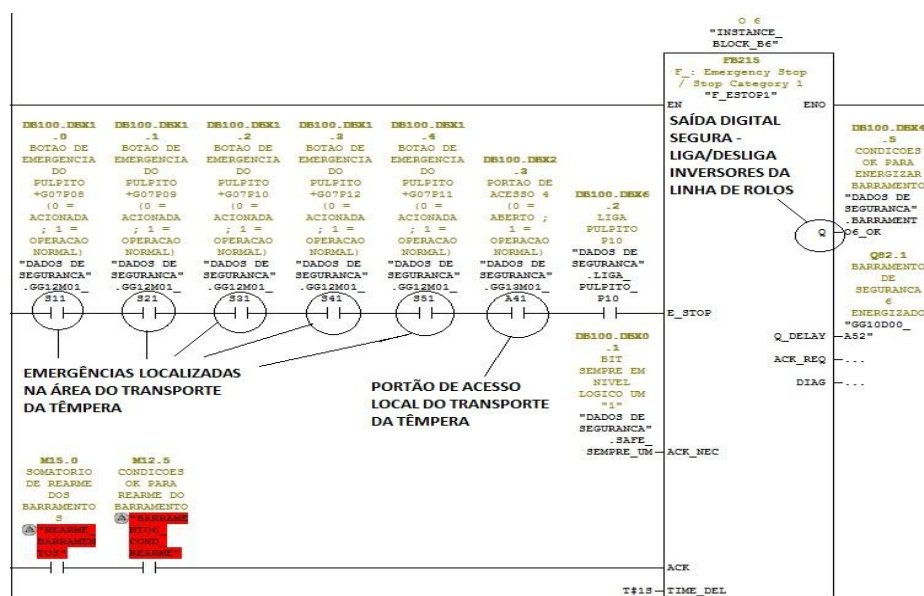
Definido o hardware adotado no projeto deve ser criada a rotina de segurança como descrito no item 2.3.5.2 para a chamada de blocos utilizados na lógica de segurança. Por meio do gerenciador de chamada (FC101), são programados os demais blocos de segurança, tais como, funções seguras das emergências, barreira de luz, portões de acesso, entre outros circuitos de segurança presentes no equipamento “Transporte da Têmpera”.

A programação de blocos de segurança é iniciada pela criação da rotina de “Reintegração” conforme descrito no item 2.3.5.3. Qualquer evento de ato inseguro, erro no dispositivo ou no módulo de segurança *Safety* coloca o CLP de segurança em um estado seguro. Dessa forma, os módulos de segurança intrínseca entram em um estado de “Passivação” onde é necessário o comando de “Reintegração” para normalização do funcionamento do CLP de segurança na ausência de falhas.

A criação de lógicas de segurança no CLP *Safety* é realizada por meio de bibliotecas conforme item 2.3.5.4 e por meio de blocos homologados pela TUV e disponíveis para utilização na plataforma do *STEP 7* com o pacote “*Distributed Safety*”.

Logo, no equipamento “Transporte da Têmpera”, é utilizado à lógica de “Barramentos”. Após a etapa de “Apreciação de Risco” é analisado o mapa de risco do equipamento “Transporte da Têmpera”, contendo os principais pontos de segurança que devem desligar, de forma segura, os barramentos de cada circuito. Emergências, portões de acesso ou barreiras de luz, por exemplo, podem, ou não, desligar um conjunto de equipamentos auxiliares como linha de rolos, válvulas de segurança hidráulica ou pneumática e até mesmo o desligamento total do equipamento. Um dos “Barramentos” de segurança implementado é visualizado na Figura 28.

Figura 28: Bloco de segurança *Safety* e a lógica de barramento utilizado no "Transporte da Têmpera".

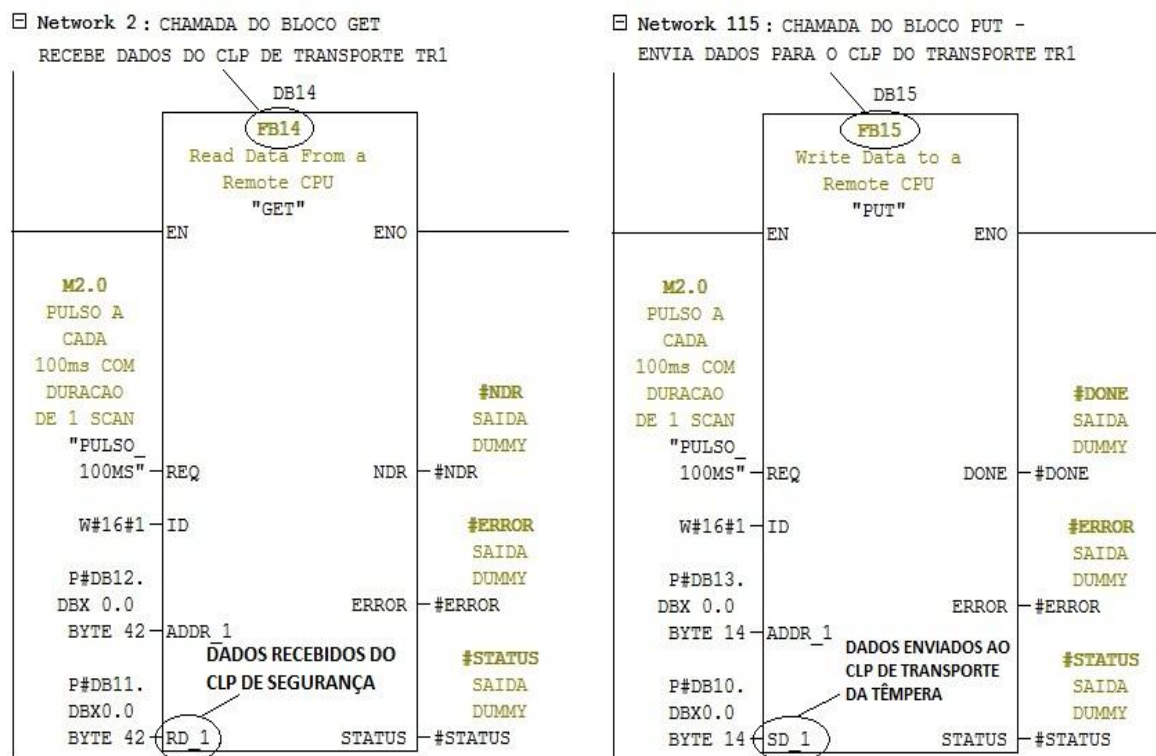


Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para desenvolvimento da aplicação segura do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

3.5. ALTERAÇÕES PROPOSTAS PARA A ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO SEGURA

Atualmente o sistema de supervisão realiza a comunicação apenas com o CLP do “Transporte da Têmpera”, conforme Figura 22, por meio do protocolo *Ethernet PROFINET* da *Siemens*. A nova arquitetura de automação segura, conforme Figura 26, inclui a presença do CLP de segurança trocando informações com o CLP “Transporte da Têmpera”. Desta forma, a comunicação do CLP de segurança com o sistema de supervisão deve ser feita pelo CLP “Transporte da Têmpera”, que por sua vez irá assumir a função de “Link” entre os sistemas. A rede de automação se mantém preservada, de certa forma, devido à presença de uma estrutura que realiza essa comunicação. É necessária apenas a ligação física do CLP de segurança na rede *Ethernet* e a adição de novas informações pertinentes à segurança entre o CLP *Safety* e o supervisor *Wincc* na criação de uma interface com o usuário final. As informações de dados de segurança devem ser enviadas ao CLP “Transporte da Têmpera” por meio de programação conforme Figura 29.

Figura 29: Troca de dados entre CLP de Segurança e CLP do Transporte da Têmpera.



Fonte: Tela do Software STEP 7 da Siemens para desenvolvimento da aplicação segura do equipamento “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

Conforme Figura 29, os dados do CLP de segurança são enviados pelo bloco de função “FB15” por meio do parâmetro “SD_1” (bloco de dados DB10) e recebidos pelo CLP “Transporte da Têmpera” no bloco de função “FB14” na área de memória apontada pelo

parâmetro “RD_1” (bloco de dados DB11). Desta forma, os dados de segurança, estão agora, na área de memória do CLP “Transporte da Têmpera” e, são requisitados pelo sistema de supervisão. A aquisição desses dados ocorre através do sistema de supervisão Wincc, onde é necessária a criação de uma interface (tela) com a operação.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

4.1. APRECIÇÃO DO RISCO

Conforme mencionado no item 2.1.3 com o auxílio das normas **NBR/ISO 12100 Segurança de Máquinas - Princípios Gerais de Projeto** e **EN 954-1/NBR 14153 Segurança de Máquinas – Partes de Sistemas de Comando Relacionados à Segurança, Princípios Gerais para Projeto** são realizados a análise e categoria do risco respectivamente. Logo após a implementação da aplicação de tecnologia *Safety* no equipamento “Transporte da Têmpera”, com os requisitos propostos pela norma regulamentadora NR-12 é refeito o processo de “Apreciação de Risco”. Nessa etapa, é reavaliado o processo de adequação e verificados os pontos de risco conforme item 3.1 do equipamento “Transporte da Têmpera”. A reavaliação é executada pelo profissional habilitado às adequações de segurança solicitadas à empresa integradora. Somente após a execução das adequações de segurança é possível observar se o nível de risco do equipamento está de acordo com o aceitável. Caso contrário, é necessário repetir todo o processo de “Apreciação do Risco” e adotar outras medidas para minimizar o risco.

De acordo com a análise de “Apreciação de Risco” mencionada no item 3.1 desse trabalho e, das etapas necessárias nos itens 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 ao processo de adequação do equipamento “Transporte da Têmpera”, obteve-se a redução de risco conforme o esperado. Segundo troca de informações com a equipe de engenharia da empresa do equipamento “Transporte da Têmpera”, as funções de segurança e a integridade da tecnologia *Safety* aplicada tornaram o risco do equipamento aceitável em termos da classificação da “Apreciação do Risco” da NR-12. Os trabalhos de cercamentos em torno da linha de rolos do equipamento com a instalação de portões de acesso seguros foi um dos grandes pontos positivos das medidas de segurança aplicadas. Através do “Estado da Técnica” (item 12.5 da norma NR-12), foram implementadas as melhores práticas atuais de mercado, segundo informações da equipe de engenharia, medidas de controle aos riscos identificados no levantamento da “Análise de Riscos”. Ainda segundo a equipe, atualmente, a classificação do risco do equipamento “Transporte da Têmpera” encontra-se na categoria de risco muito baixo. São necessárias, nesse nível, pequenas medidas de proteção, tais como, equipamento de proteção individual (EPI) e treinamentos.

Todavia, a apresentação de um resultado como esse, bem como suas comprovações, não é trivial, sendo necessários estudos, reuniões e análises pós-implementação da tecnologia proposta para a avaliação e verificação do sistema de segurança implementado. São necessários comparações dos níveis/grau de riscos levantados na etapa de “Avaliação de Risco” de forma a quantizar o grau de risco do equipamento após a implementação das ações de controle. Desta forma, é possível avaliar se os requisitos da “Apreciação de Risco” foram alcançados.

A Figura 30 apresenta um exemplo de comparação dos níveis/grau de riscos levantados durante o processo de “Avaliação de Risco”. A comparação para classificação do risco é baseada em cálculos específicos (HRN), tal como mencionado no item 2.1.3 deste trabalho de forma quantizar a evolução dos riscos levantados.

Figura 30: Avaliação do nível de Risco no Equipamento "Serra Franho" antes e após o processo de adequação de segurança.

Elaborado por: Thiago Pereira		Data: 10/10/12		Doc. Número: 001117		Rev.: A		Máquina: Picador		Núm.: 104759	
Perigo(s) Identificado(s):											
Avaliação Global do Risco da Máquina Segundo HRN (Hazard Rating Number)											
Valor do Risco Atual – HRN – Situação da máquina durante a inspeção						Resultados da Avaliação					
Probabilidade de Ocorrência (PE)	5 – Alguma chance					Nível do Risco (PE x FE x MPL x NP): 960					
Frequência de Exposição (FE)	4 – Em tempos de hora										
Probabilidade máxima de perda (MPL)	12 – Enfermidade crítica										
Número de pessoas expostas (NP)	4 – 8-15 pessoas										
Classificação de Risco: EXTREMO											
Avaliação Global do Risco da Máquina Segundo HRN (Hazard Rating Number)											
Valor do Risco Atual – HRN – Situação da máquina após adequação*						Resultados da Avaliação					
Probabilidade de Ocorrência (PE)	0,033 – Altamente improvável					Nível do Risco (PE x FE x MPL x NP): 6,336					
Frequência de Exposição (FE)	4 – Em tempos de hora										
Probabilidade máxima de perda (MPL)	12 – Enfermidade crítica										
Número de pessoas expostas (NP)	4 – 8-15 pessoas										
Classificação de Risco: Atenção											
<small>*VALOR ESTIMADO APÓS ADEQUAÇÕES PROPOSTAS</small>											

Fonte: Documentação interna do projeto de adaptação para automação segura do equipamento “Serra Franho”, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

Ainda na Figura 30, os riscos existentes foram reduzidos significativamente, obtendo o resultado da classificação de risco com o nível de “Atenção”. O resultado do valor de HRN (número de avaliação de risco) diminuiu de 960 para 6,336 conforme pode ser observado na Figura 30. Para este equipamento citado, os riscos estão agora minimizados e controlados pelo CLP de segurança e por meio de seus dispositivos *Safety*. O resultado da avaliação do processo de adequação de segurança do equipamento “Transporte da Têmpera” não foi disponibilizado para análise neste trabalho pela empresa responsável. A avaliação dos resultados foi baseada em conversas com a equipe de engenharia e ações realizadas durante o processo de adequação à NR-12 conforme mencionada no segundo parágrafo desse item.

4.2. OPERAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO COM SEGURANÇA INTRÍNSECA

Uma vez realizada a implantação das tecnologias de automação com segurança intrínseca, nos níveis de instrumentação e controladores, é necessário que o sistema de operação e supervisão do “Transporte da Têmpera” seja alterado para conclusão do projeto de adequação de segurança intrínseca. Podem-se citar, como exemplo, os equipamentos cuja lógica foi alterada para o sistema de parada segura dos inversores de frequência por meio da rampa de parada OFF3 (sistema onde o drive realiza a parada instantânea do motor, de forma segura, na ocorrência de evento inseguro). O acionamento de cada inversor de frequência é implementado de maneira que, caso haja uma situação de risco, inicia-se a parada rápida dos motores imediatamente, após a detecção pela barreira de luz ou atuação de emergência, ou portão de acesso no respectivo barramento.

Uma vez desligado o equipamento, a condição para o seu religamento, após a detecção de falha na segurança, deve ser determinada pelo restabelecimento dos sinais de dispositivos de segurança intrínseca. A Figura 31 apresenta a condição para o religamento da linha de rolos (grupo de motores) após a ativação do circuito de segurança.

Figura 31: Condição para o religamento após falha na segurança.

DEFEITO	INTERTRAVAMENTO	PARÂMETRO	HORÍMETRO	ANALÓGICA
Bit 00 - 15	Bit 16 - 31			
BIT 00	LIGAR - CIRCUITO DE SEGURANÇA ATUADO - B5 CCM2			BITS DA PALAVRA DE INTERTRAVAMENTOS - IMPEDIMENTO AO RELIGAMENTO DO EQUIPAMENTO (CONDIÇÕES ATIVAS)
BIT 01	LIGAR - MESA DE COMANDO +H02P02 DESLIGADA			
BIT 02	LIGAR - CONTADOR DE ENTRADA ABERTO			
BIT 03	AVANÇAR - AGUARDANDO INÍCIO DE CICLO AUTOMÁTICO			
BIT 04	AVANÇAR - LINHA DE ROLOS GRP3 NÃO ESTA PRONTA PARA RECEBER TUBO			
BIT 05	AVANÇAR - REMOVEDOR LEQUE DO US10 HC44F01 NA POSIÇÃO ELEVADO			CIRCUITO DE SEGURANÇA FOI ATUADO E GEROU BLOQUEIO DE COMANDO DESLIGADO E CONTADOR DE ENTRADA ABERTO
BIT 06				
BIT 07				ORIENTAÇÕES AO OPERADOR PARA SEREM EXECUTADAS APÓS O RESTABELECIMENTO DO CIRCUITO DE SEGURANÇA
BIT 08	BITS DA PALAVRA DE			
BIT 09	DEFEITOS - FALHAS OU			
BIT 10	DEFEITOS ATIVOS			
BIT 11	PRESENTES NO			
BIT 12	EQUIPAMENTO			
BIT 13				
BIT 14				
BIT 15				

Fonte: Tela do sistema de supervisão Wincc da Siemens para visualização do estado dos equipamentos do “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A.

O sistema de supervisão do equipamento “Transporte da Têmpera” possui agora uma nova informação referente ao circuito de segurança, como pode ser observado na Figura 31. É possível verificar, de maneira global, o estado do barramento e o circuito de segurança na Figura 32, onde se faz necessária à criação de uma nova tela dedicada á segurança. As demais telas do

processo do equipamento “Transporte da Têmpera” se mantem inalteradas.

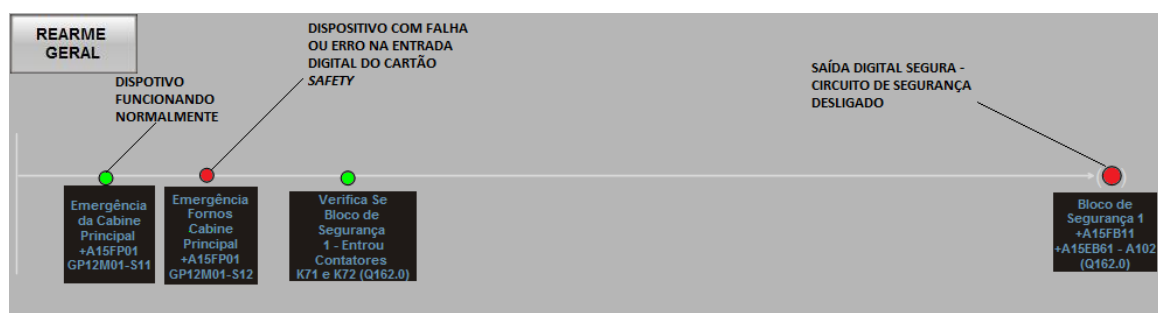
Figura 32: Circuito de segurança instalado no equipamento "Transporte da Têmpera".



Fonte: Tela do sistema de supervisão Wincc da Siemens para visualização do circuito de segurança dos equipamentos do “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia Simatec Tecnologia em Automação S.A..

O usuário tem acesso às informações no nível de controlador, de maneira a verificar a lógica de cada barramento através do menu UTILIDADES>BARRAMENTO como mostra a Figura 32. Ao clicar no círculo, onde a cor vermelha significa falha no circuito de segurança e a cor verde significa condições normais para operação, devem ser apresentadas todas as condições do barramento de segurança selecionado. A Figura 33, apresenta as condições do barramento de segurança em destaque na Figura 32. São relacionados os dispositivos de segurança pertencentes ao “Bloco de segurança 1”. Na Figura 33, é possível visualizar três dispositivos de segurança, onde a cor verde, no círculo, indica que o dispositivo está funcionando normalmente e a cor vermelha indica falha no dispositivo ou erro na entrada digital do cartão *Safety*.

Figura 33: Lógica do circuito de segurança do equipamento "Transporte da Têmpera".



Fonte: Tela do sistema de supervisão Wincc da Siemens para visualização do circuito de segurança dos equipamentos do “Transporte da Têmpera” – Documentação interna do projeto de adaptação para automação *Safety*, cortesia

Simatec Tecnologia em Automação S.A..

Ainda na Figura 33, é necessário normalizar o funcionamento de todos os dispositivos em falha e reconhecer o evento por meio do botão “REARME GERAL”. Caso contrário, o operador precisa acionar a equipe de manutenção do setor para corrigir o problema em campo. O botão “REARME GERAL” permite que toda falha ou defeito no circuito de segurança seja reconhecido. A reintegração dos módulos de segurança do CLP *Safety* também é realizada pelo mesmo botão.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho proporcionou uma visão geral na elaboração da documentação e execução do processo de adequação da norma regulamentadora NR-12. A “Apreciação de Risco” é o primeiro passo no processo de adequação, onde uma equipe, formada pela engenharia de segurança do trabalho, coordenadores de produção e engenharia de manutenção realiza o mapeamento de todos os riscos e, a partir destes perigos, é feita a avaliação para determinação do grau de risco apresentado.

A tecnologia da automação segura utilizada na redução e controle do grau de risco do equipamento “Transporte da Têmpera” deve estar em conformidade com as normas atuais vigentes que compõem a NR-12. A tecnologia *Safety* do fabricante Siemens, utilizada para implementar o controle dos riscos do equipamento, possui credibilidade e aceitação no mercado com produtos certificados e reconhecidos. O recurso tecnológico é apenas uma das etapas necessárias para a redução dos riscos de qualquer equipamento. O atendimento à norma regulamentadora NR-12 é fundamental para redução do grau de risco dos processos de produção e servem para tornar o ambiente de trabalho mais seguro. Devem ser empregados critérios e normas definidas pela NR-12 para tornar o risco do equipamento aceitável. Além disso, boas práticas de segurança reduzem os custos de déficits financeiros de pagamentos de benefícios previdenciários e/ou indenizações de trabalho para o empreendimento, para o estado e, ainda, para a população ativa em geral.

Após tomar conhecimento dos riscos presentes na “Apreciação de Risco” do equipamento “Transporte da Têmpera” repassada à empresa integradora e, do estudo da arquitetura do CLP *Standard* atual, foram definidos, pela equipe de automação das empresas envolvidas, qual seria o CLP *Safety* a ser implementado na comunicação segura, além dos dispositivos de segurança intrínseca para o controle dos riscos apresentados. Os trabalhos de engenharia de automação segura foram executados pela empresa Simatec Tecnologia em Automação S.A. utilizando hardware e software de segurança do fabricante Siemens que são certificados e, estão em conformidade com os padrões internacionais (IEC, 2005b). O software STEP 7 da Siemens com pacote *Safety* é homologado como padrão de segurança (TUV). As melhores práticas de programação segura foram implementadas de forma a garantir a sua integridade. Além disso, o sistema de supervisão e controle ganhou novas janelas para o monitoramento da segurança dos equipamentos auxiliares do “Transporte da Têmpera”, proporcionando melhorias no diagnóstico de falhas.

Todavia, o documento “Apreciação de Risco” do equipamento “Transporte da Têmpera” foi utilizado internamente pela empresa proprietária e não foi disponibilizado para a avaliação

deste trabalho. Contudo, através de contatos realizados com o setor de engenharia da empresa, foram informados ótimos resultados obtidos após as ações previstas na norma NR-12 em prol da redução de riscos do equipamento “Transporte da Têmpera”. Ainda segundo a equipe de engenharia da empresa, a classificação do risco encontra-se na categoria de risco muito baixo. Atualmente, os funcionários envolvidos no processo do equipamento em questão, recebem equipamentos de proteção individual (**EPI**) e são treinados constantemente para a execução de suas tarefas. Sendo assim, foi emitido o laudo de conformidade com a NR-12 juntamente com a anotação de responsabilidade técnica (**ART**) para fins legais do ministério do trabalho (**MTE**).

Finalmente, as novas exigências da NR-12 trazem inúmeros benefícios ao modo de operação do equipamento e a segurança dos trabalhadores envolvidos. A proposta para adequação à norma NR-12 contribui para um marketing positivo da empresa referente ao mercado e a sociedade como um todo. Através dela, existe a possibilidade de atrair novos investidores, além de garantir a viabilidade do negócio. Portanto, a necessidade de um estudo que contemple os critérios da nova norma regulamentadora é indispensável para que o resultado de redução de risco de um equipamento seja alcançado. A aplicação de boas práticas de segurança não se limita apenas na norma NR-12, mas na experiência de profissionais e na sua capacidade intelectual de utilizar os melhores recursos para o controle dos riscos de máquinas e equipamentos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, A. C.; PIRES, E. P. G. Métodos de avaliação de risco e ferramentas de estimativa de risco utilizados na Europa considerando normativas Europeias e o caso Brasileiro. **Ministério do Trabalho e Emprego**, Rio de Janeiro, p. 70, 2015.

BENITE, A. G. **Sistema de gestão da segurança e saúde no trabalho para empresas construtoras**. Escola politécnica da universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.

GRION, F. Recozimento de Tubos de Aço - Siderurgia Brasil , 04 Setembro 2006. Disponível em: <<http://www.guiadasiderurgia.com.br/novosb/component/content/article/114-materias31/551-recozimento-de-tubos-de-aco>>. Acesso em: 21 Agosto 2015.

IEC. **IEC 60204-1 - Safety of Machinery: Electrical Equipment of Machines**. International Electrotechnical Commission (IEC). Alemanha, p. 11. 2005a. (IEC 60204-1).

IEC. **IEC 62061 - Safety of Machinery: Functional Safety of Safety-Related Electrical, Electronic and Programmable Electronic Control Systems**. International Electrotechnical Commission (IEC). Alemanha, p. 44. 2005b. (IEC 62061).

INTOUCH. Supervisórios Intouch, 12 Setembro 2016. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAARxkAG/supervisorio>>. Acesso em: 12 Setembro 2016.

ISA. **ISA 18 - Instrument Signals and Alarms**. International Society of Automation. Carolina do Norte. 2009.

MTE. Métodos de Avaliação de Risco e Ferramentas de Estimativa de Risco Utilizados na Europa Considerando Normativas Europeias e o Caso Brasileiro. **Ministério do Trabalho e Emprego**, Junho 2015. Disponível em: <http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/risco_mte.pdf>. Acesso em: 21 Agosto 2016.

MTE. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina no Trabalho - NR 12 Segurança em Máquinas e Equipamentos. **Ministério do Trabalho e Emprego**, p. 88, 29 Abril 2016. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR12/NR-12atualizada2015II.pdf>>. Acesso em: 21 Agosto 2016.

PILZ. Diretrizes para disposição de dispositivos de proteção, 30 Agosto 2016. Disponível em: <<https://www.pilz.com/pt-BR/knowhow/law-standards-norms/iso-standards/efficiency-guards/en-iso-13855>>. Acesso em: 30 Agosto 2016.

PROFISAFE. PROFIsafe and Trends - Pete Brown - Siemens, 2016b. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/ProfibusUK/profisafe-and-trends-pete-brown-siemens-40668751>>. Acesso em: 08 Novembro 2016.

ROCKWELL AUTOMATION. Allen-Bradley Controladores de Segurança, 2016. Disponível em: <<http://ab.rockwellautomation.com/pt/Programmable-Controllers/SmartGuard-600-Controllers-with-Safety>>. Acesso em: 07 Outubro 2016.

SCHMERSAL. CLP de Segurança PSC-BR, 2016. Disponível em: <<http://www.schmersal.com.br/nc/produtos/novidades/produto/action/detail/product/clp->

de-seguranca-psc-br-10100/>. Acesso em: 07 Outubro 2016.

SESI. Segurança de Máquinas e Equipamentos de Trabalho - Meios de Proteção Contra os Riscos Mecânicos, 21 agosto 2016. Disponível em: <<http://sbqcertificacao.com.br/pdf/NR%2012%20-%20Seguran%C3%A7a%20de%20m%C3%A1quinas%20e%20equipamentos%20de%20trabalho.pdf>>. Acesso em: 25 Agosto 2016.

SIEMENS. Guia de Produtos e Soluções Dedicados a Sistemas de Segurança - Safety Integrated, Novembro 2006. Disponível em: <<https://w3.siemens.com.br/automation/br/pt/seguranca-de-maquinas/interfaces-de-seguranca/3rk3/Documents/Cat%C3%A1logo%20Safety%20Integrated.pdf>>. Acesso em: 30 Agosto 2016.

SIEMENS. Máquinas Seguras de Forma Rápida e Fácil com Alta Produtividade - Explorando as Vantagens da Tecnologia de Segurança Integrada, 2015. Disponível em: <<http://w3.siemens.com.br/automation/br/pt/seguranca-de-maquinas/documents/safety-general-safety.pdf>>. Acesso em: 25 Agosto 2016.

SIEMENS. Tecnologia Industrial de Comutação - SIRIUS Safety Integrated, Outubro 2015. Disponível em: <<https://w3.siemens.com.br/automation/br/pt/seguranca-de-maquinas/Documents/Manual-de-aplicacao-Safety.pdf>>. Acesso em: 25 Agosto 2016.

SIEMENS. Máquinas Seguras de Forma Rápida e Fácil com Alta Produtividade - Explorando as Vantagens da Tecnologia de Segurança Integrada, 2015a. Disponível em: <<http://w3.siemens.com.br/automation/br/pt/seguranca-de-maquinas/documents/safety-general-safety.pdf>>. Acesso em: 25 Agosto 2016.

SIEMENS. Apostila WINCC Siemens, 12 Agosto 2016a. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFZ9gAF/wincc-apostila?part=2>>. Acesso em: 12 Setembro 2016.

SIEMENS. Catálogo CPU Safety, 25 Agosto 2016b. Disponível em: <<http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/advanced-controller/s7-300/cpu/fail-safe-cpus/Pages/Default.aspx>>. Acesso em: 25 Agosto 2016.

SIEMENS. Software STEP 7, 15 Outubro 2016c.

SIEMENS. Software WINCC, Outubro 2016d.

SIMATEC. **Curso de Safety Aplicado a Máquinas**. Simatec Tecnologia em Automação LTDA. Contagem, p. 59. 2015.