

**RICARDO MIRES
YURI CAPITANI GLADEK**

Controle básico e de segurança em sistemas críticos

São Paulo
(2013)

**RICARDO MIRES
YURI CAPITANI GLADEK**

Controle básico e de segurança em sistemas críticos

São Paulo
(2013)

RICARDO MIRES
YURI CAPITANI GLADEK

Controle básico e de segurança em sistemas críticos

Monografia apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecatrônica

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Professor Doutor Diolino José dos Santos Filho

São Paulo
(2013)

FICHA CATALOGRÁFICA

Mires, Ricardo

**Controle básico e de segurança em sistemas críticos / R.
Mires, Y.C. Gladek. – São Paulo, 2013.
143 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de
Sistemas Mecânicos.**

**1.Sistemas de controle 2.Sistemas discretos (Segurança)
3.Controladores programáveis I.Gladek, Yuri Capitani II.Univer-
sidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de En-
genharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos III.t.**

Ricardo Mires

Dedico a todas às pessoas que me apoiaram para a realização desse trabalho: minha família e meus amigos.

Yuri Capitani Gladek

Dedico esse trabalho à minha família, namorada e amigos pela companhia e apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os amigos e familiares que nos apoiaram durante a concepção deste trabalho; ao Marcosiris Pessoa pela sua motivação e disposição em nos ajudar; ao aluno Marcus Vinicius de Oliveira Bezerra pelas inúmeras horas de trabalho e discussões no laboratório; ao nosso professor Diolino José dos Santos Filho pela ajuda e orientação que tornou possível este trabalho.

“Computers are like Old Testament gods;
lots of rules and no mercy.”

- Joseph Campbell.

RESUMO

Diferentes sistemas possuem diferentes requisitos, níveis de complexidade e riscos. Ao se implementar o controle de uma esteira de alimentação, os efeitos de uma falha são bem diferentes dos efeitos de uma falha em uma usina nuclear. Buscando lidar com os problemas causados pela ocorrência de falhas, foram desenvolvidos os Sistemas Instrumentados de Segurança (SIS). Estes sistemas são independentes do sistema básico de controle, denominado BPCS (Basic Process Control System). Funcionam em paralelo com este último e seu objetivo é realizar o controle de segurança que evita a ocorrência de desastres que podem comprometer a vida humana e o meio ambiente. Neste contexto, considerando o objeto de controle disponível no Laboratório de Sistemas e Automação, o projeto a ser desenvolvido consistirá na modelagem, projeto e implementação de uma arquitetura de controle modular envolvendo dois conceitos: o BPCS responsável pelo funcionamento do sequenciamento de atividades de processos produtivos e o SIS, responsável por garantir a segurança no processo, checando o funcionamento e levando o sistema para um estado seguro no caso de ocorrência de falhas críticas. Isto implicará no desenvolvimento de um conjunto de atividades e para isto será aplicada a seguinte metodologia: (i) comissionamento do sistema (verificação dos dispositivos de atuação, sensoriamento, comando, monitoração e controladores programáveis (CPs)); (ii) levantamento das unidades que necessitam de tratamento de falhas; (iii) estudo detalhado das ações para diagnóstico e prevenção das falhas a serem consideradas; (iv) modelagem, validação e programação do sistema de controle dos processos de produção no módulo BPCS em CPs; (v) modelagem em redes de Petri e redes Bayesianas para programação do módulo SIS em CP de Segurança. Como resultado, desenvolve-se o projeto de um sistema de controle de acordo com as normas IEC61508, IEC 61511 e IEC 61131-3.

Palavras-chave: Sistemas a Eventos Discretos, Controladores Programáveis, BPCS, SIS, IEC 61508

ABSTRACT

Different systems have different requirements, dimensions and risks. When it is implemented a control in a conveyor belt, the effects of a failure are very different from the effects of a failure in a nuclear power plant. To deal with problems caused by failures, Safety Instrumented Systems (SIS) was developed. Those systems are independent from the Basic Process Control System (BPCS). They work in parallel with BPCS and they perform the safety control avoiding disasters that could harm human beings and the environment. In this context, considering the object of control available in the Laboratório de Sistemas e Automação (LSA), the project to be developed consists of modeling, project and implementation of an modular control architecture involving two concepts: BPCS control responsible for the sequential activities of productive process; Safety Instrumented System (SIS), responsible for ensuring safety in the process by checking the functioning of the system and putting the system in a safe state if any critical failures occurs. The project requires developing a set of activities that involves: (i) commissioning of the system (actuators, sensors and local controllers); (ii) determining which units need failure treatment; (iii) a detailed study of diagnostic actions and failure detection; (iv) modeling, validation and programming of the production process of a BPCS module in a Programmable Controller (PC); (v) Petri network modeling and Bayesian network for the SIS module in a safety PC. The project will be in accordance with the IEC61508, IEC61511 and IEC 61131-3 standards.

Keywords: Discrete Event Systems, Programmable Controllers, BPCS, SIS, IEC 61508

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação entre as soluções de hardware de segurança. Fonte: Apresentação "A SEGURANÇA INTEGRADA EM AUTOMAÇÃO" de 13/03/2012 no site : http://www.isacampinas.org.br/novo/?palestras_tecnicas,2012 em 18/06/2013.....	7
Figura 2: Sistemática apresentada de projeto de SIS. Fonte: Squillante et al, 2011	8
Figura 3 - Componentes da peça a ser montada	11
Figura 4 -Visão geral do sistema, com todos os seus componentes. São eles: 1- Distribuição; 2- Teste; 3- Transporte; 4- Montagem; 5- Braço robô.....	12
Figura 5 - Fábrica de distribuição; 1- bandeja de alimentação; 2- braço de alimentação	13
Figura 6 - Topologia de rede fábrica 1	15
Figura 7 - fábrica de teste; 1- medidor de altura; 2- rampa superior; 3- rampa inferior; 4- base de sensores;	18
Figura 8 - tipos de base para a peça.....	19
Figura 9 - Topologia de rede da fábrica 2	20
Figura 10 - fábrica de transporte; 1- terminal da fábrica de teste; 2- terminal da fábrica de montagem; 3- terminal não utilizado; 4- terminal do robô manipulador;	24
Figura 11 - terminal da fábrica de transporte; 1- ligação com a rede AS-I; 2- válvulas dos pistões pneumáticos; 3,4 e 5- sensores dos imãs; 6- pistão de entrada; 7- leitor do identificador do pallet; 8- pistão de saída;	25
Figura 12 - central da rede AS-I.....	26
Figura 13 - área de trabalho; 1-válvula a vácuo	27
Figura 14 - Fábrica de montagem.....	28
Figura 15 - Detalhe do eixo X com: 1 - servo motor; 2 e 3 - Sensores de calibração do controlador;.....	29
Figura 16 - Eixo Z com: 1 - motor DC; 2, 3, 4, 5 - sensores de posição; 6 - Garra;	29
Figura 17 - Distribuidora de molas.....	31
Figura 18 - Distribuidora de tampas	31
Figura 19 - distribuidora de pinos na posição de fornecimento do pino prata; 1 e 2 - sensores de posição; 3- sensor para verificar presença de pinos;	33
Figura 20: Sensores de fim curso	34

Figura 21- Fábrica 4 com as cortinas de luz.....	34
Figura 22- Diagrama PFS fábrica 1	41
Figura 23 – diagrama PFS Fábrica 2	42
Figura 24 – diagrama PFS Fábrica 3	44
Figura 25 – diagrama PFS da Fábrica 4	45
Figura 26: Redes Bayesianas para detecção de falhas.....	49
Figura 27: Redes de Petri para detecção de falhas de Modelagem do Tratamento de Falhas.....	50
Figura 28: Modelo de Tratamento da SIF 1	52
Figura 29: Modelo de Tratamento da SIF 2	53
Figura 30: Modelo de Tratamento da SIF 3	54
Figura 31: Modelo de Tratamento da SIF 4	54
Figura 32: Modelo de coordenação das SIFs	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de SIL.....	5
Tabela 2 - Tabela de hardware da fábrica 1.....	15
Tabela 3 - Lista de todos os I/O utilizados no programa.....	16
Tabela 4 - Identificação das peças pelos sinais dos sensores	19
Tabela 5 - Tabela de hardware da fábrica 2.....	21
Tabela 6 - Lista de todos os I/O utilizados no programa.....	21
Tabela 7 - Tabela de hardware da fábrica 4.....	35
Tabela 8 - Lista de todos os I/O utilizados no programa.....	36
Tabela 9: Matriz causa-efeito “Falha Eixo X”	48
Tabela 10: Matriz causa-efeito “Falha Eixo Y”	48
Tabela 11: Matriz causa-efeito “Falha Eixo Z”	48
Tabela 12 : Matriz causa-efeito “Invasão Vol. Trabalho”.....	49
Tabela 13: Definição do SIL da SIF 1	51
Tabela 14: Definição do SIL da SIF 2.....	51
Tabela 15: Definição do SIL da SIF 3	51
Tabela 16: Definição do SIL da SIF 4.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS-I – *Actuator-Sensor Interface*

BN – Rede Bayesiana ou *Bayesian Network*

BPCS – Sistema de Controle Básico de Processos ou *Basic Process Control System*

BPN - rede de Petri comportamental ou *Behavioral Petri Network*

CLP – Controlador Lógico Programável

CP – Controladores Programáveis

E/E/PE - *Electric/Electronic/Programmable Electronic*

EUC – *Equipment under control*

FBD - *Functional Block Diagram*

HazOp – *Hazard and Operability*

HMI – *Human Machine Interface* ou Interface Homem Máquina

I/O – *Input/Output*

IEC – *International Electro-technical Commission*

IL - Instruction List

LD – Linguagem de programação Ladder

MFG – *Mark Flow Graph*

MPI – *Message Passing Interface*

MPS – *Modular Production System*

OPC Server - *OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control Server*

PFS – *Production Flow Graph*

PN – Rede de Petri ou *Petri Network*

SED – Sistemas a Eventos Discretos

SFC - *Sequential function chart*

SIF – *Safety Instrumented Function*

SIL - *Safety Integrity Level*

SIS – Sistemas Instrumentados de Segurança

STL - *Structured Text List*

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo.....	1
1.2	Motivação.....	2
2	Revisão bibliográfica	3
2.1	Segurança funcional	3
2.2	Norma de Segurança	3
2.3	Projeto de software de CLPs	5
2.4	Arquiteturas de hardware de SIS.....	6
2.5	Metodologias para programação do SIS	8
2.6	Análise de risco	9
2.7	Redes de comunicação de CLPs.....	10
3	Materiais e métodos	11
3.1	Descrição geral do sistema.....	11
3.2	Fábrica de alimentação.....	12
3.2.1	Descrição geral	12
3.2.2	Especificações técnicas.....	13
3.2.3	Componentes	13
3.2.4	Hardware de controle.....	14
3.2.5	Software de controle.....	16
3.3	Fábrica de teste.....	17
3.3.1	Descrição geral	17
3.3.2	Especificações técnicas.....	18
3.3.3	Componentes	18
3.3.4	Hardware de controle.....	20
3.3.5	Software de controle.....	21
3.4	Fábrica de transporte	23
3.4.1	Descrição geral	23
3.4.2	Especificações técnicas.....	24
3.4.3	Componentes	24
3.4.4	Hardware de controle.....	26

3.4.5	Software de controle.....	26
3.5	Fábrica de montagem	27
3.5.1	Descrição geral	27
3.5.2	Especificações técnicas.....	28
3.5.3	Componentes	28
3.5.4	Hardware de controle.....	34
3.5.5	Software de controle.....	35
3.6	Método para projeto do sistema de controle	37
4	Resultados.....	40
4.1	Sistema de controle - módulo BPCS.....	40
4.1.1	Estrutura Geral do Programa de Controle BPCS	40
4.1.2	Fábrica de Alimentação	40
4.1.3	Fábrica de teste	42
4.1.4	Fábrica de transporte	43
4.1.5	Fábrica de montagem.....	45
4.2	Sistema de controle - módulo SIS	47
4.2.1	Estrutura Geral do Programa	47
4.2.2	Fábrica de montagem.....	47
5	Discussão	57
6	Conclusão.....	59
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, pode se observar o aumento da automatização dos processos nas indústrias. Estes processos necessitam de um controle em tempo real, que colete os dados através de sensores, realize o processamento e atue no sistema. Esta tarefa é realizada pelo BPCS. Ele é constituído por sensores, controladores programáveis e atuadores. Este tipo de controle é utilizado em todos os tipos de processos automatizados, desde pequenos sistemas, como uma prensa, a grandes e complexos sistemas, como refinarias e usinas nucleares.

Diferentes sistemas possuem diferentes requisitos, níveis de complexidade e riscos. Ao se implementar o controle de uma esteira de alimentação, os efeitos de uma falha são bem diferentes dos efeitos de uma falha em uma usina nuclear. Buscando lidar com os problemas das falhas, foram desenvolvidos os SIS e os sistemas de mitigação. Estes sistemas de segurança são sistemas independentes do sistema básico e funcionam em paralelo com BPCS. Padrões internacionais surgiram para a padronização de desenvolvimento e fabricação de sistemas de segurança, sendo a mais utilizada atualmente a norma IEC 61508 e a sua versão para indústria de processos IEC 61511.

Serão tratados neste trabalho o projeto dos sistemas de controle relacionados ao BCPS e ao SIS. A programação dos controladores será baseada em uma linguagem definida pela norma IEC 61131-3.

1.1 Objetivo

O objetivo é desenvolver o projeto de um sistema de controle distribuído em dois módulos: o módulo de controle básico (BPCS) responsável pelo controle de execução dos processos e o módulo de controle de segurança (SIS) responsável pelo diagnóstico e prevenção de falhas críticas que podem causar danos à vida das pessoas e ao meio ambiente. O objeto de controle será uma planta-modelo do Laboratório de Sistemas de Automação do Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da EPUSP.

A planta-modelo constitui um sistema de manufatura (SM) que realiza a montagem de peças. O processo de montagem envolve a distribuição, seleção e transporte de componentes através de diferentes módulos de produção que constituem o sistema. Cada módulo possui seu próprio sistema de controle.

O sistema de controle do SM será dividido em duas frentes: o BPCS responsável pelo sequenciamento das atividades que compõem os processos produtivos realizados no SM; o SIS, responsável por garantir a segurança no processo, checando o funcionamento e levando o sistema para um estado seguro no caso de ocorrência de uma falha crítica. O projeto do SIS estará de acordo com as normas internacionais IEC 61508 e IEC 61511.

Ao final do trabalho teremos um sistema de controle responsável pelo funcionamento total da fábrica com os sistemas de controle básico e de segurança.

1.2 Motivação

Todos os sistemas são projetados para que desempenhem sua função dentro do seu ciclo de vida útil. Porém, todos os sistemas são passíveis de erro, seja de natureza humana ou tecnológica, e por certas vezes imprevisíveis (Squillante et al, 2011). Sistemas críticos são os sistemas nos quais, em caso de falha, pode trazer graves riscos à vida de pessoas, à planta e ao meio ambiente. São os casos de usinas nucleares, refinarias, plataformas de petróleo, hidrelétricas, aviões, entre outros.

Por estes motivos, a concepção de sistemas de controle que abordem tanto o controle do sequenciamento de atividades quanto o tratamento de suas falhas é algo muito importante.

Sendo assim, é um fator de destaque para a formação de um engenheiro mecatrônico a possibilidade de aprofundamento de seus conhecimentos na área de controle de sistemas a eventos discretos, envolvendo a análise, projeto e implementação de um sistema de controle distribuído em uma planta existente.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.3 Segurança funcional

Segundo a IEC segurança funcional é definida como uma característica que um sistema de segurança fornece a um processo ou planta. Isto se refere à habilidade do sistema em reduzir danos e ferimentos causados pelo funcionamento incorreto do sistema de segurança na presença de uma falha.

Segundo (Von Krosigk, 2000), para que isso seja possível o sistema de controle deve atuar tanto para diagnosticar e tratar falhas sistemáticas, como também para diagnosticar, evitar e mitigar falhas aleatórias que podem causar danos de grande magnitude para seres humanos, ambiente e estrutura da planta.

A segurança funcional é avaliada de acordo com os requerimentos definidos por normas (Liu, J. et al, 2008). Para máquinas ferramenta e processos, existem duas normas internacionais para sistemas de segurança: a IEC 61508 e a IEC 61511. A IEC 61508 é principalmente utilizada por projetistas de hardwares e softwares de segurança e a IEC 61511 é utilizada principalmente por usuários finais e integradores que utilizam dispositivos de realização do controle projetados segundo a norma IEC 61508 aplicado à indústria de processos (Gall, 2008).

1.4 Norma de Segurança

A norma que será aplicada nesse trabalho será a norma IEC 61508. Ela é uma norma internacional desenvolvida pela International Electro-technical Commission (IEC), criando parâmetros para a quantificação da segurança em sistemas de controle que são implementados por meio de controladores do tipo E/E/PE (Eletric/Electronic/Programmable Electronic) (Liu, J. et al, 2008).

A norma IEC 61508 busca, dessa forma, englobar todos os fatores que influenciam a segurança funcional incluindo hardware, software, fatores humanos e todos os estágios do ciclo de vida de segurança desde o conceito inicial até a desativação.

Neste contexto, a norma IEC 61508 é dividida em sete partes:

- 1 - Requisitos Gerais.
- 2 - Requisitos para sistemas E/E/PE.
- 3 - Requisitos de Software.
- 4 - Definições.
- 5 - Métodos pra determinação do SIL.
- 6 - Diretrizes para aplicação das partes 2 e 3.
- 7 - Visão geral de técnicas e medidas.

Para realizar o projeto de um SIS, a norma define o conceito de ciclo de vida de segurança como uma estrutura na qual serão apresentadas todas as etapas desse projeto.

Dentro da estrutura do ciclo de vida de segurança a norma exige que seja feita uma análise de riscos do sistema a ser controlado. Essa análise pode ser tanto quantitativa quanto qualitativa, dependendo da natureza do sistema, isto é, se for predominantemente de natureza contínua ou discreta. É importante observar que, a norma não especifica exatamente como essa análise deve ser feita, apenas oferece diretrizes gerais que podem ser seguidas para que não restrinja as classes de sistemas que podem ser cobertas.

A norma define então Safety Instrumented Function (SIF) como uma função de controle específica do SIS que será executada quando uma determinada falha é detectada. Desta forma, para cada falha será definida uma SIF correspondente. A obtenção das SIFs de um SIS é feita após a análise de risco do sistema: uma vez identificada a possibilidade de ocorrência de uma determinada falha crítica, os procedimentos em termos de controle de acionamento de dispositivos de atuação necessários deve ser especificado pela correspondente SIF. Desta forma, estrutura-se o sistema de controle associado a um SIS em que se destaca um módulo responsável pela detecção de uma falha e outro módulo responsável pelo tratamento desta falha para prevenção de danos onde para cada falha crítica identificada deve ser designada uma SIF.

Após isso, a norma define o safety integrity level (SIL) como o nível relativo de redução de risco resultante de uma SIF. Existem quatro níveis de SIL, de 1 a 4, com 1 sendo o menos seguro e o 4 o mais seguro, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Níveis de SIL

SIL	Probabilidade média de falha sob demanda
4	$\geq 10^{-5}$
3	$\geq 10^{-4}$ até $> 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ até $> 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ até $> 10^{-1}$

De maneira muito simplificada, a metodologia de projeto de um SIS prevista pela norma é primeiramente avaliar os riscos de segurança do sistema a ser controlado. Após a avaliação, definir as SIFs para cada risco detectado e definir para cada um o SIL correspondente. O SIL designado para cada SIF depende da severidade da falha. Depois disso, é necessário implementar as SIFs por meio da alocação de controladores E/E/PE.

Apesar de a norma especificar muito bem o que deve ser feito para o projeto de um SIS, ela não especifica como essas etapas devem ser realizadas. Assim, existe certa liberdade no projeto de um SIS e, nesse trabalho foi buscado na literatura como outros autores lidam com essa liberdade.

1.5 Projeto de software de CLPs

Para programar Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) é preciso usar uma linguagem de programação de acordo com a norma IEC 61131-3. Essa norma define cinco linguagens para programação de CLPs (três gráficas e duas textuais). Essas linguagens são: Ladder Diagram (LD), Functional Block Diagram (FBD), Sequential function chart (SFC), Structured Text List (STL) e Instruction List (IL).

Segundo (Frey, 2000) a prática mais difundida na indústria para se programar CLPs começa com a especificação informal do sistema, seguida de sua implementação direta na forma de um algoritmo de controle que pode ser programado de acordo com uma das linguagens de programação de CLPs. A validação é então feita através de testes nos próprios controladores, forçando entradas e verificando as saídas correspondentes.

Porém, a necessidade de implementação de métodos formais para a programação de CLPs vem crescendo por conta da: complexidade crescente dos problemas de controle, a demanda por menos tempo de desenvolvimento, a possibilidade de reuso de software já existente e a demanda por soluções de alta qualidade em especial quando se trata de situações de sistemas que são críticos por apresentarem alto risco de acidentes graves exigindo sistemas de segurança (Frey, 2000).

A programação direta do programa na linguagem LD em CLPs de segurança e convencionais ainda é uma prática muito difundida entre programadores durante o desenvolvimento de sistemas. Pesquisadores e profissionais da indústria demonstraram através de diversos estudos que a utilização da linguagem LD possui diversos problemas. Entre eles pode-se destacar a identificação de erros funcionais e a necessidade de correção de erros em programas que estão sendo executados nos CLPs que se tornam mais frequentes à medida que cresce a complexidade do comportamento dinâmico em virtude do elevado número de entradas e saídas que precisam ser controlados simultaneamente (Sarmiento, C.A. et al, 2012). Por estas razões, surgiu a necessidade de se utilizar métodos formais para a programação.

A formalização da especificação consiste em três diferentes tarefas: formalização das propriedades específicas, modelo formal do sistema não controlado e modelo direto formal do algoritmo de controle. Essas tarefas são explicadas em detalhes no trabalho de Frey (2000).

Após isso a síntese formal do algoritmo de controle pode ser descrita utilizando algum método de transcrição formal que permite a tradução dos algoritmos em alguma linguagem de programação de CLPs de acordo com a norma IEC 61131-3. Nesse trabalho serão utilizadas redes de Petri (Anexo A) para descrever formalmente os algoritmos de controle e Ladder para programar o CLP.

Como neste trabalho serão usadas redes de Petri para descrever o algoritmo de controle é possível utilizar os métodos de análise de alcançabilidade utilizando simuladores computacionais (Frey, 2000).

1.6 Arquiteturas de hardware de SIS

Para implementar o hardware de segurança existem dois tipos de arquitetura possíveis, a Figura 1 ilustra os tipos possíveis de arquitetura para o hardware de segurança.

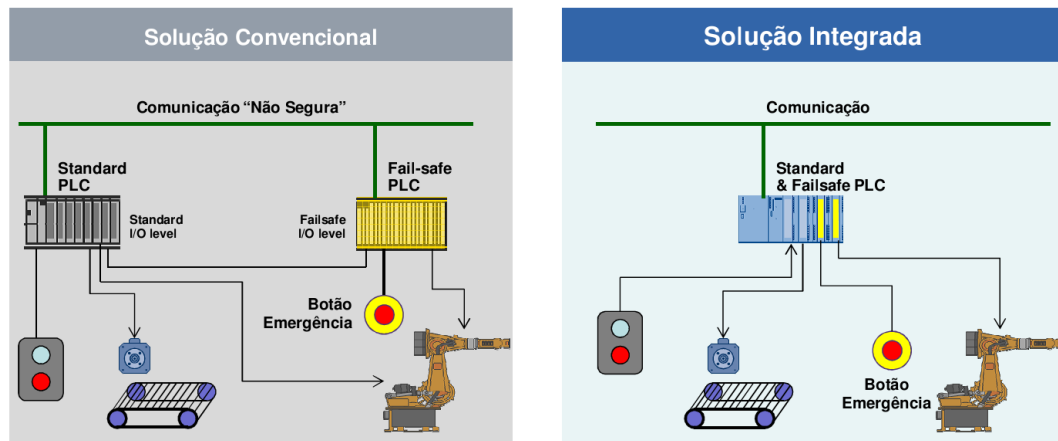


Figura 1 - Comparação entre as soluções de hardware de segurança. Fonte: Apresentação "A SEGURANÇA INTEGRADA EM AUTOMAÇÃO" de 13/03/2012 no site : http://www.isacampinas.org.br/novo/?palestras_tecnicas,2012 em 18/06/2013

Na solução convencional são usados dois CLPs: um padrão executando o software do sistema de controle BPCS e um de segurança executando o software do SIS. Nessa configuração, quando o CLP de segurança detecta uma situação de falha, ele atua sobre o sistema e comunica, através da rede de comunicação, ao CLP de controle BPCS que ele está atuando.

Na solução integrada, tanto o software do BPCS quanto do SIS estão programados no mesmo controlador facilitando assim alguns aspectos da programação e da montagem física que teria de ser feita. Os sinais também são concentrados em um único controlador dispensando a comunicação em rede entre dois CLPs.

No trabalho de (Liu, J. et al, 2008) é mostrado que em CLPs de segurança podem ser executados tanto o programa de controle BPCS como o de segurança no mesmo dispositivo. Além disso, é mostrado que com o uso de redes de segurança é possível à coexistência de dispositivos padrão com dispositivos de segurança na mesma rede.

No trabalho de (Marszal, E. M. et al, 2005) é feita uma análise comparando as duas arquiteturas possíveis. Nesse trabalho é mostrado que, para que a solução integrada seja viável, uma série de pré-requisitos deve ser atendida, o que muitas vezes inviabiliza essa solução.

Além disso, (Marszal, E. M. et al, 2005) mostra que um número grande de fontes que publicaram material sobre projeto de SIS recomendam o uso da solução convencional em detrimento da solução integrada por uma série de fatores como: minimizar os erros humanos provenientes

das atividades do BPCS no SIS, segurança de acesso e facilidade de testes separados do BPCS e SIS.

1.7 Metodologias para programação do SIS

Em (Squillante et al, 2011) é apresentada uma sistemática para projeto de um SIS baseada em quatro passos. Estes passos podem ser vistos na Figura 2.

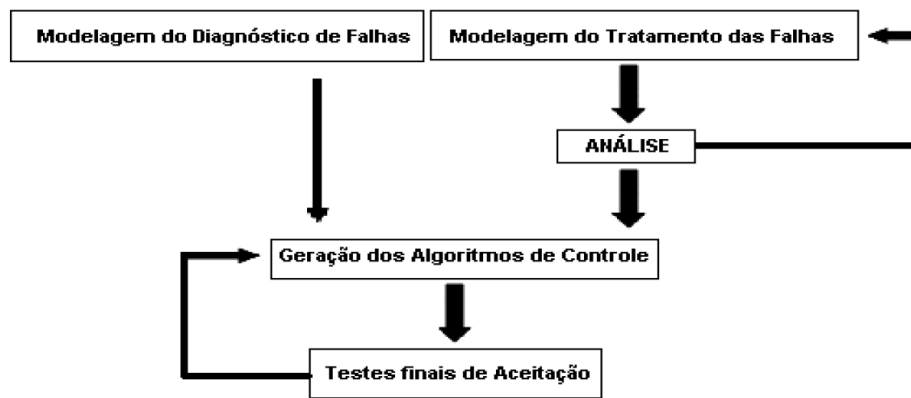


Figura 2: Sistemática apresentada de projeto de SIS. Fonte: Squillante et al, 2011

O primeiro passo é a modelagem do diagnóstico de falhas. Para isso é primeiramente elaborada uma matriz de causa-efeito que será a base de uma rede Bayesiana (BN) obtida com o auxílio do algoritmo K2. Após isso, a BN é convertida em uma rede de Petri comportamental (BPN).

O segundo passo é a modelagem do tratamento de falhas. Nesse passo é feita a análise de risco através de HazOp (Hazard and Operability) para se obter as SIFs, os seus respectivos SILs, os eventos iniciadores e os atuadores relevantes pra cada SIF.

Após isso, é construído um modelo para o tratamento de falha de cada SIF através de uma PN interpretada. Por fim, é criado um modelo em PN para coordenação das SIFs. Dessa forma quando uma falha é diagnosticada pelo modelo de diagnóstico de falhas a PN coordenadora chama a SIF específica que roda a sub-rotina de tratamento dessa falha.

O terceiro passo é a análise dos modelos. Nesse passo os modelos criados são analisados de forma a assegurar que não existem estados indesejados, como por exemplo, deadlocks. Isso pode ser feito utilizando ferramentas de simulação de PNs.

O quarto passo é a geração dos algoritmos de controle. Nesse passo todos os modelos em PN e BPN produzidos anteriormente são traduzidos para uma linguagem de programação de CLP, no caso desse trabalho será utilizado o código em Ladder.

1.8 Análise de risco

No trabalho de (Bobbio, A., 2001) são mostradas algumas ferramentas para análise de risco diferentes de HazOp, essas ferramentas são:

1. Modelo de árvore de falha do CLP

Essa ferramenta permite representar uma falha crítica como uma combinação booleana de eventos. A falha crítica é representada no topo da árvore e os eventos que levam a essa falha são representados por ramos. Os ramos são interligados por operadores booleanos do tipo AND e OR.

Esse modelo pode ser feito em duas etapas, a primeira é para uma análise qualitativa onde todas as combinações mínimas de eventos que levam a uma falha são determinadas. Após isso, uma análise quantitativa é realizada para determinar a probabilidade de falha baseado nas probabilidades dos eventos.

O maior ponto fraco dessa abordagem é que os eventos são considerados estatisticamente independentes uns dos outros, o que não é necessariamente verdade. Porém ela é uma abordagem bem simples o que permite fazer uma análise rápida e ter uma estimativa de probabilidade de falha.

2. Modelo do CLP em rede Bayesiana

Essa ferramenta permite representar a falha crítica através de uma rede Bayesiana. Essa abordagem traz uma série de vantagens com relação à árvore de falha, pois essa representação permite a inserção de incerteza no modelo através de dependência probabilística entre os componentes.

A rede Bayesiana pode ser encontrada através da aplicação de um algoritmo sobre o modelo de árvore de falhas como é mostrado em (Bobbio, A., 2001).

3. Modelo em Redes de Petri estocásticas

Essa ferramenta permite representar a falha crítica através de uma rede de Petri estocástica. Essa abordagem tem a vantagem de permitir representar as dependências temporais das variáveis de maneira muito clara, além de representar a interdependência das variáveis.

A rede de Petri também pode ser encontrada através da aplicação de um algoritmo sobre o modelo de árvore de falhas como é mostrado em (Bobbio, A., 2001).

1.9 Redes de comunicação de CLPs

O CLP usado para o BPCS, a princípio, pode se comunicar apenas em MPI, que é um protocolo fechado da Siemens para comunicação em RS 485 e é usado para a configuração inicial do CLP.

Pelo fato do MPI ser um protocolo fechado sua utilização é bem restrita sendo assim interessante passar a comunicação do CLP para PROFIBUS que é um protocolo aberto de RS 485. Para que o CLP em questão possa se comunicar utilizando esse protocolo foi necessário instalar nele um módulo de comunicação.

Também está instalado no CLP do BPCS um módulo de comunicação para a rede Actuator-Sensor Interface (AS-I). A AS-I é um sistema de rede padronizado (EN 50 295) e aberto, que interliga de maneira muito simples atuadores e sensores. Sendo assim, não são utilizadas portas I/O.

O CLP de segurança possui nele integrados já uma porta para PROFIBUS e uma porta para PROFINET, o PROFINET é um protocolo de ethernet industrial aberto. Essa rede pode ser usada junto com dispositivos de ethernet convencionais.

MATERIAIS E MÉTODOS

1.10 Descrição geral do sistema

O sistema que será utilizado neste trabalho é um sistema MPS da Festo. Ele é baseado em uma arquitetura modular em que cada parte do sistema produtivo cuida de uma tarefa. No sistema atual, o processo que está implementado é a da montagem de uma peça composta por um pino, uma mola, uma tampa e um cilindro (base).



Figura 3 - Componentes da peça a ser montada

O sistema está separado em quatro fábricas (módulos), cada um desempenhado um papel. São elas:

1. **Fábrica de alimentação:** tem como função alimentar o sistema com os cilindros (bases) da peça. As peças são colocadas na fábrica de teste.
2. **Fábrica de teste:** tem como função testar a base da peça fornecida pela fábrica de distribuição. Existem três tipos de cilindro, que podem ser montados em dois tipos de peças, cada uma com seus componentes. O objetivo deste teste é verificar se o cilindro fornecido é o necessário para a montagem da peça que será montada.
3. **Fábrica de transporte:** tem como função levar os cilindros testados da fábrica de teste para a fábrica de montagem, e da fábrica de montagem para o braço robótico. Este sistema é composto por uma esteira com diversas plataformas e atuadores pneumáticos.
4. **Fábrica de montagem:** tem como função montar a peça escolhida, pegando o cilindro da esteira de transporte, colocando a mola, colocando o pino correto, e fixando a tampa. Após a montagem completa da peça, ela é colocada na esteira.

No sistema atual, o papel de se retirar a peça montada final e de armazená-la em algum local é desempenhado por um braço robótico Kuka modelo KR 15/2. O controle do braço e o seu funcionamento junto à planta não fazem parte do escopo do trabalho.

Na Figura 3 é mostrada uma visão geral do sistema, com todos os seus componentes.



Figura 4 -Visão geral do sistema, com todos os seus componentes. São eles: 1- Distribuição; 2- Teste; 3- Transporte; 4- Montagem; 5- Braço robô

1.11 Fábrica de alimentação

1.11.1 Descrição geral

Esta fábrica tem como objetivo distribuir os cilindros da peça. Estes cilindros se encontram armazenados em um tubo que contem no máximo oito peças. Um cilindro pneumático de dupla ação empurra um cilindro por vez para fora do tubo e um braço rotacional pneumático retira a peça e a coloca na bancada de testes da fábrica 2.

Na Figura 5 são mostrados os componentes mecânicos dessa fábrica.

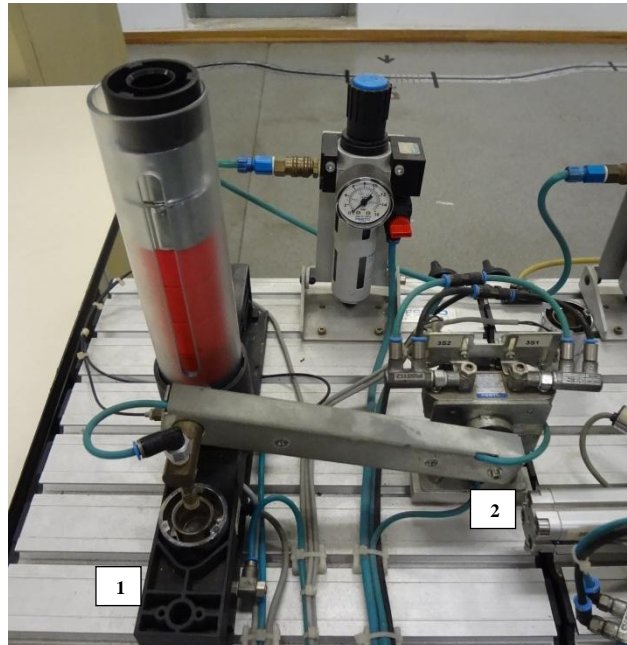


Figura 5 - Fábrica de distribuição; 1- bandeja de alimentação; 2- braço de alimentação

1.11.2 Especificações técnicas

- Pressão de operação: 600 kPa;
- Voltagem de alimentação: 24 V DC;
- Sete entradas digitais;
- Cinco saídas digitais;

1.11.3 Componentes

1. Bandeja de alimentação

A bandeja de alimentação é constituída por um cilindro de dupla ação com retorno por molas. Quando o cilindro se encontra recuado, uma nova peça entra na bandeja. Quando o cilindro avança a bandeja fica na posição de alimentação em que o braço rotacional pode retirar a peça.

Portas I/O:

- Dois sinais de sensores (I): um indicando se o cilindro de alimentação está recuado e outro indicando se o cilindro de alimentação está estendido.

- Um sinal de controle (O): sinal de controle para a válvula que controla o cilindro: se a saída estiver em 1 o cilindro avança, se a saída estiver em 0 o cilindro recua.

2. Braço de alimentação

É formado por um atuador rotacional pneumático, uma válvula de sucção e tem como função pegar e transportar as peças. O atuador rotacional realiza uma rotação de no máximo 180°. Micro switches são colocados nas posições finais do trajeto para indicar em qual posição se encontra. A válvula de sucção prende as peças por vácuo gerado por uma válvula pelo princípio de Venturi. A pressão pode ser regulada.

Portas I/O:

- Dois sinais de sensores (I): um sensor indicando se o braço de alimentação se encontra no lado da bandeja de alimentação e outro indicando se o braço de alimentação se encontra no lado da distribuição;
- Quatro sinais de controle (O): um sinal de controle para o braço de alimentação ir para o lado da bandeja de alimentação; um sinal para o braço de alimentação ir para o lado da distribuição; um sinal de controle para ligar a sucção; um sinal de controle para desligar a sucção;

1.11.4 Hardware de controle

O controle implementado na fábrica 1 é baseado em uma arquitetura distribuída, com o processamento sendo realizado no PC e os comandos sendo enviados a uma remota. O papel do CLP é realizado pelo PC através de uma placa “SIMATIC WINAC SLOT 412 V4.0” que emula o funcionamento de um CLP no PC.

Na fábrica 1 está instalada uma remota “SIMATIC ET200M”, essa remota possui dois cartões de I/Os digitais para aquisição e envio de dados. Esses dados trafegam por uma rede PROFIBUS entre a remota e o PC.

O PROFIBUS é usado na fábrica 1 para permitir que o programa que está rodando no PC possa se comunicar com a remota na fábrica. Dessa forma os dados dos sensores podem ser tratados pelo PC e os sinais de controle enviados para a remota.

Os sensores da fábrica 1 entram como inputs na remota e os sinais dos atuadores saem como outputs. Além disso, os sinais provenientes de diversos botões também entram como inputs na remota para que o operador interaja com o sistema.

Existe também um botão de emergência que está ligado tanto a remota como a um rele da Pilz. Quando esse botão de segurança é apertado os atuadores da fábrica 1 tem sua alimentação cortada pelo rele.

A Figura 6 esquematiza a topologia de rede dessa fábrica.

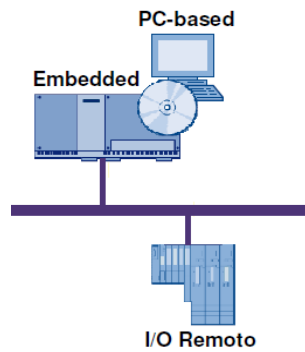


Figura 6 - Topologia de rede fábrica 1

Na Tabela 2 são listados todos os componentes que fazem parte do controle da fábrica 1. Estão presentes informações sobre os componentes e do estado em que se encontram estes componentes.

Tabela 2 - Tabela de hardware da fábrica 1

Nome	Código	Função	Estado
Simatic ET200M	153-1AA03-0XB0	Estação Remota	ok
SM323	323-1B401-0AA0	Cartão de expansão de I/Os	ok
SM323	323-1B401-0AA0	Cartão de expansão de I/Os	ok
SITOP SMART 24 V/5 A	6EP1333-2BA01	Fonte	ok
Rele Pilz	17753	Rele de segurança (botão de emergência)	ok

1.11.5 Software de controle

O software de controle da fábrica 1 foi criado seguindo a metodologia do PFS-MFG, após a obtenção do MFG o código em LD pode ser extraído e implementado de maneira sistemática.

O software da fábrica 1 lê os inputs dos sensores, define a ação a ser tomada com base no MFG implementado levando em conta todos os intertravamentos e toma essa ação através dos seus outputs. Para maior organização a lógica para realizar cada ação foi programada em um FC separado.

No programa estão implementados dois modos de operação distintos, esses modos são: tele operação e monitoração. No modo de monitoração a fábrica é operada localmente já no de tele operação a fábrica é comandada remotamente pelo OPC server, o OPC server serve para fazer a interface entre o CLP e a internet.

A Tabela 3 mostra uma relação de todos os inputs e outputs do programa.

Tabela 3 - Lista de todos os I/O utilizados no programa

Tipo	Endereço	Símbolo no programa anti-go	Nome	Função	Estado
I	0.0	iCilindro_Recuado	1B2	Indica se o cilindro de alimentação está recuado	ok
I	0.1	iCilindro_Estendido	1B1	Indica se o cilindro de alimentação está estendido	ok
I	0.2	iBraco_Alimentacao	3S1	Indica se o braço de alimentação está do lado da alimentação	ok
I	0.3	iBraco_Inspecao	3S2	Indica se o braço de alimentação está do lado da distribuição	ok
I	0.4	não utilizado	Não utilizado	não utilizado	não utilizado
I	0.5	iPeca_Ventosa	Não possui	Indica se uma peça está presa na ventosa	ok
I	0.6	iSensor_PecasBuffer	B4	Indica se existem peças no buffer de alimentação	ok

I	1.0	iLocal_Inicio	Botão Start	Indica se o botão de start foi apertado	ok
I	1.1	iLocalReset	B. Reset	Indica se o botão de reset foi apertado	ok
I	1.2	Não possui	B. Magazine	Indica se o botão de magazine foi apertado	ok
I	1.3	iModoLocal_Manu_Auto	Chave Auto/Man em Manual	Indica se a chave auto/manual está em manual	ok
I	1.4	iLocal_Stop	B. Stop	Indica se o botão de stop foi apertado	ok
I	1.5	Não possui	B. Emergência	Indica se o botão de emergência foi apertado	ok
I	1.6	iModo_Local_Teleoperacao	Chave Comunicação direta	Indica se a chave de comm está ligada	ok
Q	0.0	qEstende_Cilindro	1Y1	Faz o cilindro de alimentação se estender	ok
Q	0.1	qBraco_Alimentacao	3Y2	Faz o braço de alimentação ir para o lado da alimentação	ok
Q	0.2	qBraco_Inspecao	3Y1	Faz o braço de alimentação ir para o lado da distribuição	ok
Q	0.3	qDesliga_Ventosa	2Y2	Desliga ventosa	ok
Q	0.4	não possui	2Y1	Liga Ventosa	ok

1.12 Fábrica de teste

1.12.1 Descrição geral

Esta fábrica tem como função detectar as diferentes propriedades das peças que chegam a ela. Ela diferencia as peças que chegam através de três sensores: um óptico, um capacitivo e um indutivo. Se a peça que chegou passa pelo teste dos sensores a plataforma de testes sobe e um sensor analógico mede a altura da peça. Após a medição, um cilindro linear empurra a peça para a guia superior. Caso a peça não passe nos testes ela é empurrada pelo cilindro linear na guia inferior e é retirada do processo.

Na Figura 7 são mostrados os componentes mecânicos dessa fábrica.

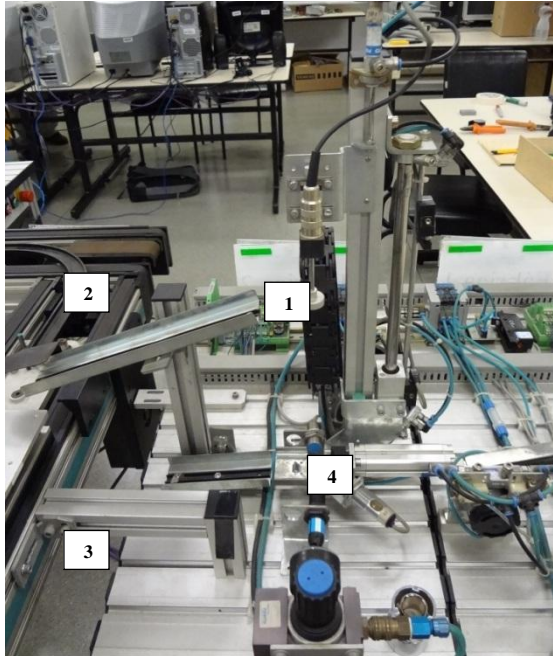


Figura 7 - fábrica de teste; 1- medidor de altura; 2- rampa superior; 3- rampa inferior; 4- base de sensores;

1.12.2 Especificações técnicas

- Pressão de operação: 600 kPa;
- Voltagem de alimentação: 24 V DC;
- Oito entradas digitais;
- Cinco saídas digitais;

1.12.3 Componentes

1. Base dos sensores

A base dos sensores é o local onde se identifica a peça colocada. A identificação da peça colocada é realizada por três sensores: um óptico, um capacitivo e um retro reflexivo. O sensor capacitivo é encarregado de identificar a presença de uma peça na base. O sensor indutivo é encarregado de detectar algum componente metálico. O sensor óptico é encarregado de detectar se a

peça reflete luz. Atualmente, são utilizados três tipos de base para as peças, preta, vermelha e metálica.

A Figura 8 descreve os tipos de base para as peças que serão montadas.



Figura 8 - tipos de base para a peça

Com os sinais destes sensores é possível identificar a peça de acordo com as suas características. Com isso foi sintetizada a Tabela 4.

Tabela 4 - Identificação das peças pelos sinais dos sensores

Sensor Capacitivo	Sensor Óptico	Sensor Indutivo	Peça
Ativo	Não ativo	Não ativo	Preta
Ativo	Ativo	Não ativo	Vermelha
Ativo	Ativo	Ativo	Metálica

Na plataforma de testes está fixo o sensor capacitivo, o cilindro linear para remoção da peça e o cilindro linear para elevar a plataforma. O cilindro linear utilizado para a remoção de peças é um cilindro com retorno por mola. O cilindro linear para mover a plataforma é um cilindro de dupla ação.

Portas I/O:

- Sete sinais de sensores (I): um sensor capacitivo; um sensor indutivo; um sensor óptico; um sensor que indica que a plataforma de distribuição está em baixo; um sensor que indica que a plataforma de distribuição está em cima; um sensor que indica se o pistão de remoção está recuado; um sensor que indica se o pistão de medição de altura está em baixo.
- Cinco sinais de controle (O): um sinal de controle que faz a plataforma subir; um sinal de controle que faz a plataforma descer; um sinal de controle que faz o pistão de remoção expulsar a peça; um sinal de controle para o cilindro de medição de altura descer.

1.12.4 Hardware de controle

O controle implementado na fábrica 2 é similar ao da fábrica 1. Ele é baseado em uma arquitetura distribuída, com o processamento sendo realizado no PC e os comandos sendo enviados a uma remota. O papel do CLP é realizado pelo PC através de uma placa “SIMATIC WINAC SLOT 412 V4.0” que emula o funcionamento de um CLP no PC.

Na fábrica 2 está instalada uma remota “SIMATIC ET200M”, essa remota possui dois cartões de I/Os digitais para aquisição e envio de dados digitais e um cartão de dados analógicos para receber a informação da altura da peça. Esses dados trafegam por uma rede PROFIBUS entre a remota e o PC.

O PROFIBUS é um protocolo de comunicação para RS 485. Ele é usado na fábrica 2 para permitir que o programa que está rodando no PC possa se comunicar com a remota na fábrica. Dessa forma os dados dos sensores podem ser tratados pelo PC e os sinais de controle enviados para a remota.

Os sensores da fábrica 2 entram como inputs na remota e os sinais dos atuadores saem como outputs. Além disso, os sinais provenientes de diversos botões também entram como inputs na remota para que o operador interaja com o sistema.

Existe também um botão de emergência que está ligado tanto a remota como a um rele da Pilz. Quando esse botão de segurança é apertado os atuadores da fábrica 2 tem a sua alimentação cortada pelo rele.

A Figura 9 esquematiza a topologia de rede dessa fábrica.

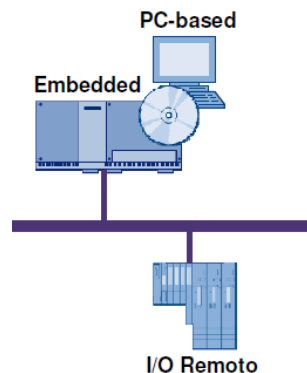


Figura 9 - Topologia de rede da fábrica 2

Na Tabela 5 estão listados todos os componentes que fazem parte do controle da fábrica 2. Estarão presentes informações sobre os componentes e do estado em que se encontram estes componentes.

Tabela 5 - Tabela de hardware da fábrica 2

Nome	Código	Função	Estado
Simatic ET200M	153-1AA03-0XB0	Estação Remota	ok
SM323	323-1B401-0AA0	Cartão de expansão de I/Os	ok
SM323	323-1B401-0AA0	Cartão de expansão de I/Os	ok
SM334	335-0CE01-0AA0	Cartão de expansão de I/Os analógico	
SITOP SMART 24 V/5 A	6EP1333-2BA01	Fonte	ok
Rele Pilz	17753	Rele de segurança (botão de emergência)	ok

1.12.5 Software de controle

O software de controle da fábrica 2 é similar ao da fábrica 1. Ele foi criado seguindo a metodologia do PFS-MFG, após a obtenção do MFG o código em LD pode ser extraído e implementado de maneira sistemática.

O software da fábrica 2 lê os inputs dos sensores, define a ação a ser tomada com base no MFG implementado levando em conta todos os intertravamentos e toma essa ação através dos seus outputs. Para maior organização a logica para realizar cada ação foi programada em um FC separado.

No programa estão implementados dois modos de operação distintos tele operação e monitoração. No modo de monitoração a fábrica é operada localmente já no de tele operação a fábrica é comandada remotamente pelo OPC Server, o OPC Server serve para fazer a interface entre o CLP e a internet.

A Tabela 6 mostra uma relação de todos os inputs e outputs do programa.

Tabela 6 - Lista de todos os I/O utilizados no programa

Tipo	Endereço	Símbolo no programa antigo	Nome	Função	Estado
I	0.0	iIndutivo	B5	Indica se uma peça de metal foi selecionada	ok
I	0.1	iCapacitivo	B6	Indica a presença de uma peça selecionada	ok

				da	
I	0.2	iOtico	B7	Indica se a peça selecionada reflete luz	ok
I	0.3	iPlataformaEmbaixo	1B2	Indica se a plataforma de distribuição está em baixo	ok
I	0.4	iPlataformaAcima	1B1	Indica se a plataforma de distribuição está em cima	ok
I	0.5	iCilindroPeca	2B1	Indica se o pistão de distribuição está recuado	ok
I	0.6	iCilindroAltura	3B1	Indica se o cilindro que mede a altura da peça está em baixo	ok
I	1.0	iLocal_Inicio	Botão Start	Indica se o botão de start foi apertado	ok
I	1.1	iLocal_Reset	Botão reset	Indica se o botão de reset foi apertado	ok
I	1.2	iLocal_NOSE	Botão adjust	Indica se o botão de ajuste foi apertado	ok
I	1.3	iModoLocal_Manual_Autom	Chave Auto/Man em Manual	Indica se a chave auto/manual está em manual	ok
I	1.4	iLocal_Stop	Botão stop	Indica se o botão de stop foi apertado	ok
I	1.5	Não possui	Não possui	Indica se o botão de emergência foi apertado	ok
I	1.6	iModo_Local_Remoto	Chave Communication direta	Indica se a chave de comm está ligada	ok
Q	0.0	qPlataformaEmbaixo		Faz a plataforma ir para baixo	ok
Q	0.1	qPlataformaAcima		Faz a plataforma ir	ok

				para cima	
Q	0.2	qTiraPeca		Faz o pistão de distribuição expulsar a peça	ok
Q	0.3	qAltura		Faz o cilindro de medir altura ir para baixo	Não funciona, válvula com vazamento

1.13 Fábrica de transporte

1.13.1 Descrição geral

Esta fábrica tem como função transportar os componentes e peças prontas entre as fábricas e o robô. Ela é composta por quatro esteiras transportadoras, cada uma acionada por um motor AC trifásico. Nestas esteiras, pallets de alumínio circulam entre os terminais de cada fábrica e do robô. Estes terminais têm como objetivo segurar os pallets na posição de operação durante o processo e evitar que pallets que não estejam sendo utilizados não colidam com os pallets que circulam pelas esteiras.

Existem quatro terminais na planta. São eles: Terminal da fábrica de testes; Terminal da fábrica de montagem; Terminal 3 (não utilizado); e o terminal do robô manipulador. A comunicação entre os elementos da fábrica 3 e o controlador é feita por uma rede AS-I.

A Figura 10 mostra os terminais da fábrica de transporte.

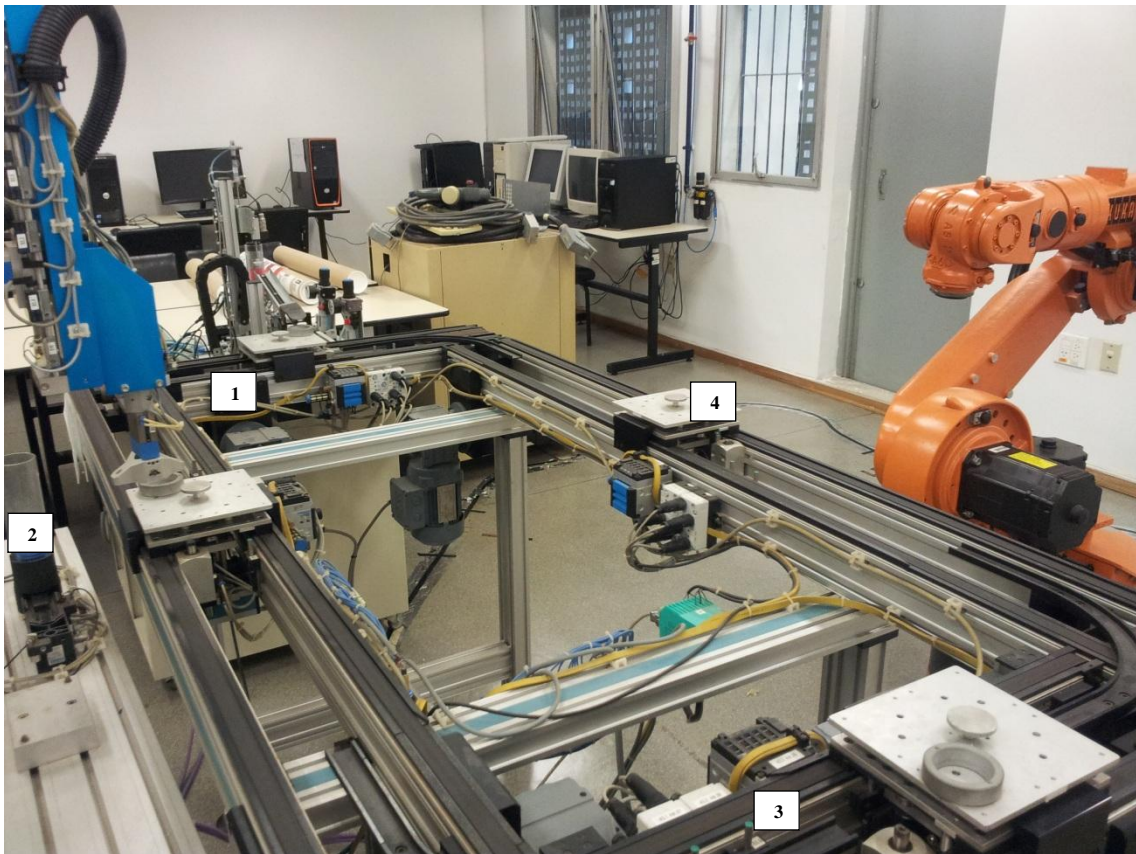


Figura 10 - fábrica de transporte; 1- terminal da fábrica de teste; 2- terminal da fábrica de montagem; 3- terminal não utilizado; 4- terminal do robô manipulador;

1.13.2 Especificações técnicas

- Pressão de operação: 600 kPa;
- Voltagem de alimentação: 24 V DC;

1.13.3 Componentes

1. Terminal

O terminal é o local em que ficam os pallets que estão sendo utilizados. Para manter o pallet no terminal, um pino pneumático forma uma barreira que não permite a circulação do pallet. Outro pino pneumático é utilizado para manter os demais pallets fora do terminal. Para liberar a passagem, o pistão é recuado. Cada pallet possui em sua parte inferior dois imãs e um identificador eletrônico. Os imãs são utilizados para detectar a presença do pallet. O identificador eletrônico é lido por um sensor localizado dentro do terminal.

A Figura 11 mostra os componentes de um terminal.

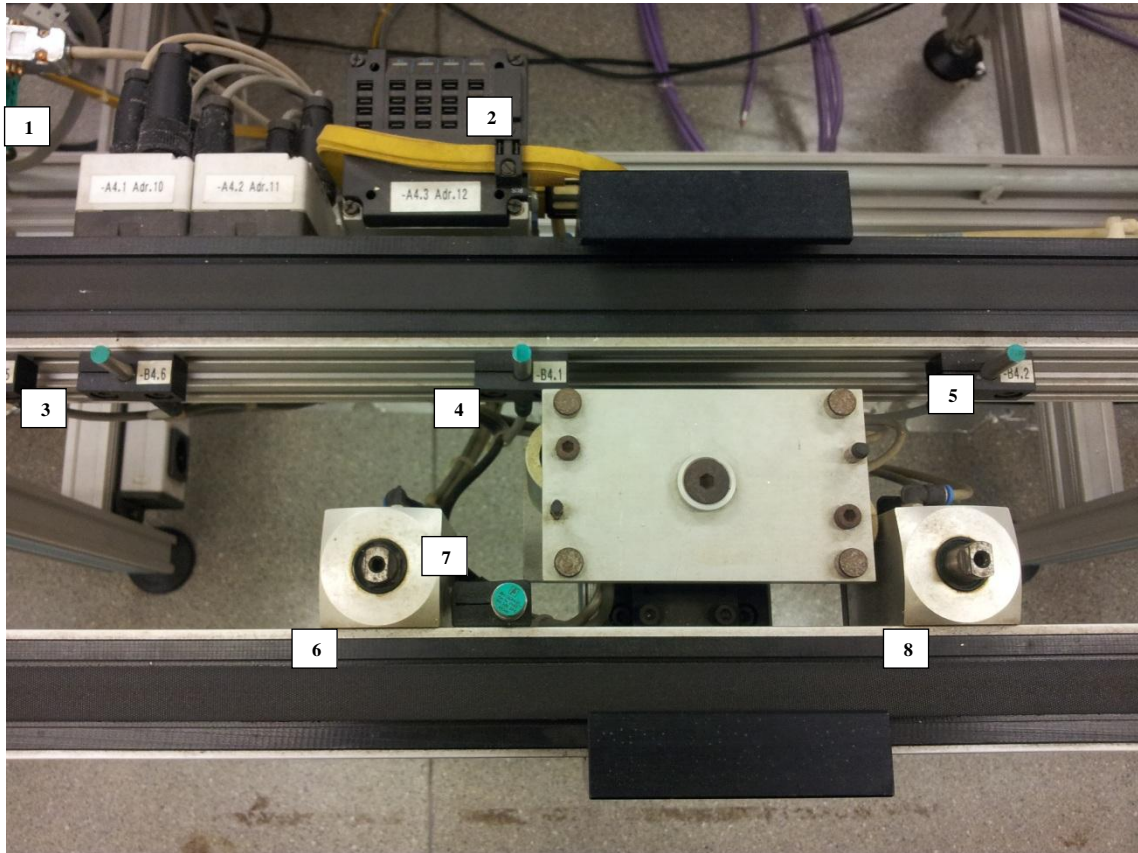


Figura 11 - terminal da fábrica de transporte; 1- ligação com a rede AS-I; 2- válvulas dos pistões pneumáticos; 3,4 e 5- sensores dos imãs; 6- pistão de entrada; 7- leitor do identificador do pallet; 8- pistão de saída;

Os sinais de controle e os sinais dos sensores são todos enviados e recebidos pela rede AS-I. Cada terminal está conectado à central da rede através de conectores. Esta central se comunica com o CLP através de um módulo para comunicação AS-I.

A Figura 12 mostra a central da rede AS-I de perto.

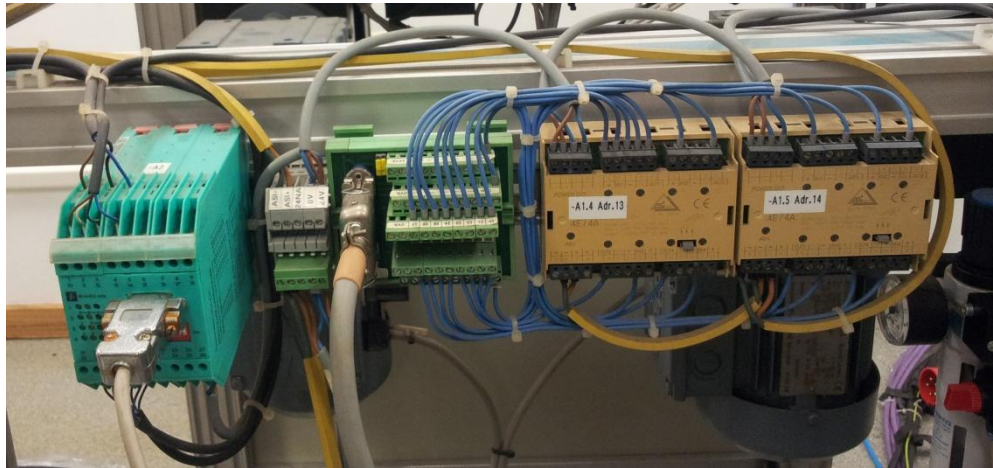


Figura 12 - central da rede AS-I

1.13.4 Hardware de controle

O hardware de controle da fábrica 3 é o mesmo hardware de controle da fábrica 4. Para passar as informações para o CLP na fábrica 4 usando a rede AS-I é usado um módulo de comunicação próprio para essa rede (CP342-2).

1.13.5 Software de controle

No software de controle da fábrica 4 cada ação está mapeada em um FC distinto para fins de organização. Uma ação pode ser, por exemplo, permitir a entrada de um pallet na estação 1. Nesses FCs são programados os intertravamentos que precisam ser respeitados para realizar a ação bem como a saída que precisa ser escrita. No início do ciclo são mapeados os inputs vindos da rede AS-I em no DB 10, em seguida uma ação é executada e a saída é gravada no DB 20, por fim as saídas são enviadas de volta para a rede AS-I.

1.14 Fábrica de montagem

1.14.1 Descrição geral

Esta fábrica tem como objetivo montar a peça final. Os componentes para a montagem da peça final podem ser divididos em duas categorias: os componentes que estão armazenados na própria fábrica, e os componentes que são fornecidos pela esteira de alimentação. Os elementos que estão armazenados na fábrica são: as molas, os pinos e as tampas. O elemento fornecido pela esteira é a base cilíndrica.

Para a montagem da peça, primeiramente, retira-se o pallet que se encontra na esteira e o posiciona na área de espera. Retira-se o cilindro base da peça de dentro do pallet e o coloca na área de trabalho, fixando-o com uma válvula a vácuo para que a montagem possa começar, como mostra a Figura 13.



Figura 13 - área de trabalho; 1-válvula a vácuo

Após o posicionamento e fixação da base cilíndrica, a unidade de distribuição da mola empurra uma mola e a garra a coloca no cilindro. Em seguida, a unidade de distribuição de pinos seleciona um pino de acordo com a peça que será montada (pino preto ou prata) e a garra o posiciona na base cilíndrica. Para finalizar a montagem, a unidade de distribuição de tampas empurra uma tampa e a garra a prende na base cilíndrica, formando a peça final.

A Figura 14 mostra a fábrica de montagem de perto.



Figura 14 - Fábrica de montagem

1.14.2 Especificações técnicas

- Pressão de operação: 600 kPa;
- Voltagem de alimentação: 24 V DC;

1.14.3 Componentes

1. Garra de manipulação de três eixos

A garra de manipulação é o componente responsável pelo transporte e fixação dos componentes que serão montados na peça. Seus eixos de atuação são os eixos X, Y e Z. A atuação nos eixos X e Y são realizadas por servo motores DC fixos em guias lineares. Para a calibragem dos servo motores, as guias possuem dois sensores que servem de referência para o controlador. A Figura 15 mostra a posição desses sensores e o motor.

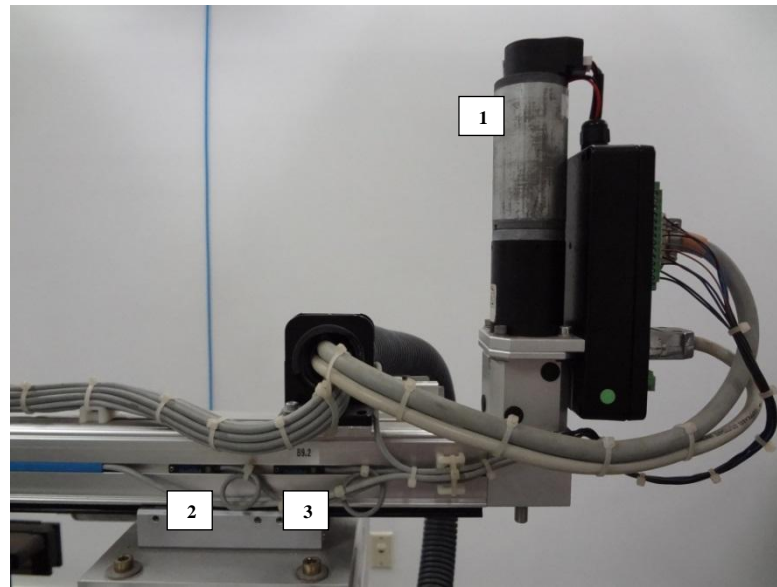


Figura 15 - Detalhe do eixo X com: 1 - servo motor; 2 e 3 - Sensores de calibração do controlador;

O eixo Z possui acionamento por um motor DC comum, e o seu controle de posição é feito com o auxílio de sensores posicionados em quatro posições. Estas posições são definidas de acordo com o processo que será realizado, e o controlador deverá apenas posicionar o eixo em uma destas posições. O posicionamento dos sensores e do eixo Z pode ser visto na Figura 16.

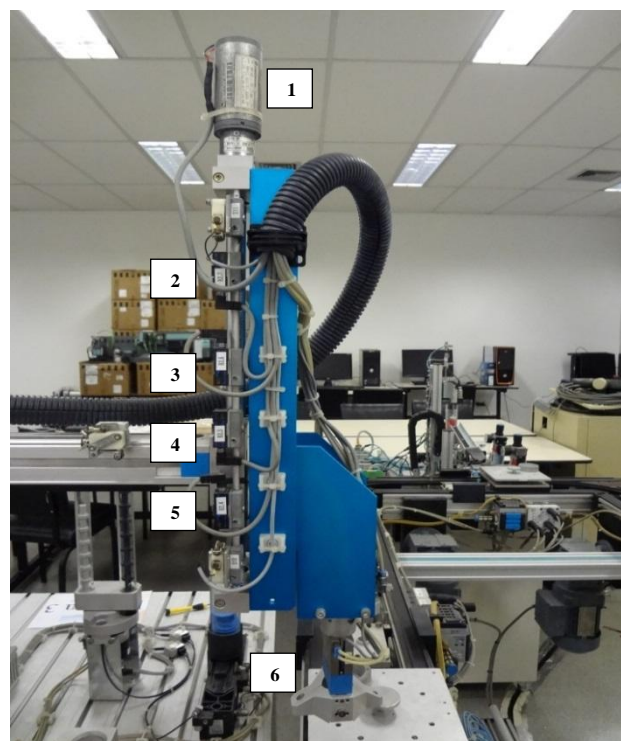


Figura 16 - Eixo Z com: 1 - motor DC; 2, 3, 4, 5 - sensores de posição; 6 - Garra;

A garra do sistema é formada por dois atuadores pneumáticos, um rotacional e outro linear. O atuador rotacional Gira a garra de 0o a 270o e possui dois sensores que podem ser posicionados em qualquer ângulo (manualmente). No caso do sistema atual estes sensores estão posicionados nos ângulos de 0o e 270o, que são os ângulos utilizados na operação. O atuador linear tem como função abrir e fechar a garra, possuindo sensores para determinar se a garra se encontra fechada ou aberta.

O acoplamento entre a guia do eixo Z e a garra é realizado por duas guias e permite que a garra deslize, eliminando a necessidade de um controle rigoroso para o posicionamento da garra.

Portas I/O:

- Oito sinais de sensores (I): um sensor para indicar se a garra está aberta; um sensor para indicar se a garra está fechada; dois sensores de posição angular na garra; quatro sensores de posição no eixo Z; Os sensores de calibragem dos eixos X e Y não estão listados como uma entrada (I), já que são ligados diretamente no controlador do servo e não são utilizados no programa;
- Seis sinais de controle (O): um sinal de controle para fechar a garra; um sinal de controle para abrir a garra; um sinal de controle para a garra girar para 0°; um sinal de controle para a garra virar para 270°; um sinal de controle para subir a garra no eixo Z; um sinal de controle para a garra descer no eixo Z;

2. Unidade de distribuição de molas

Esta unidade tem como objetivo distribuir as molas da peça. As molas se encontram armazenadas em um tubo. A unidade de distribuição de molas é constituída por um cilindro de dupla ação. Quando o cilindro se encontra recuado, uma mola entra na bandeja. Quando o cilindro avança, a bandeja fica na posição de alimentação em que a garra pode retirar a mola. Um micro switch que se encontra no final do curso detecta se a mola foi retirada. A Figura 17 mostra a distribuidora de molas.

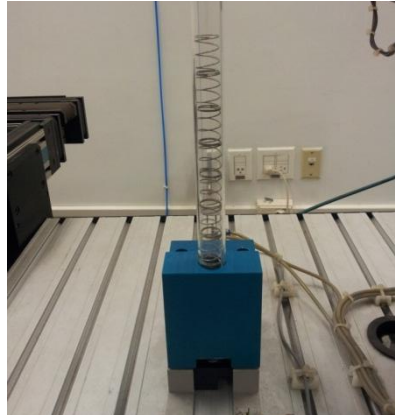


Figura 17 - Distribuidora de molas

Portas I/O:

- Dois sinais de sensores (I): um indicando se o cilindro de alimentação está recuado e outro indicando se o cilindro de alimentação está estendido com uma mola (caso não tenha, este sensor não é ativado).
- Dois sinais de controle (O): um sinal de controle para estender a bandeja; um sinal de controle para retrain a bandeja.

3. Unidade de distribuição de tampas

Esta unidade tem como objetivo distribuir as tampas da peça. As tampas se encontram armazenadas em um tubo. A unidade de distribuição de tampas é constituída por um cilindro de dupla ação. Quando o cilindro se encontra recuado, uma tampa entra na bandeja. Quando o cilindro avança, a bandeja fica na posição de alimentação em que a garra pode retirar a tampa. Um sensor indica se há tampas quando a bandeja se encontra na posição de alimentação. A Figura 18 mostra a unidade distribuidora de tampas.

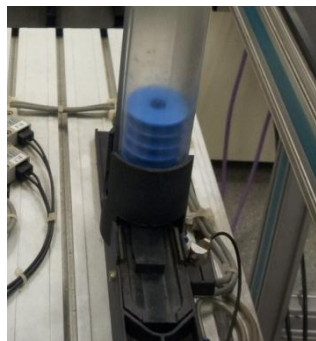


Figura 18 - Distribuidora de tampas

Portas I/O:

- Três sinais de sensores (I): um indicando se o cilindro de alimentação está recuado; um indicando se o cilindro de alimentação está estendido; um indicando se há uma tampa na bandeja de alimentação.
- Dois sinais de controle (O): um sinal de controle para estender a bandeja; um sinal de controle para retrain a bandeja.

4. Unidade de distribuição de pinos

Esta unidade tem como objetivo distribuir os dois diferentes tipos de pino da peça. Os pinos se encontram armazenados em dois tubos, um para cada tipo de pino. A bandeja de distribuição é fixa em um atuador rotacional pneumático, rotacionando a bandeja entre duas posições definidas. Esta bandeja tem formato de um arco circular e contém dois furos, um em cada extremo do arco. Deste modo enquanto um furo está abaixo do tubo recebendo um pino, o outro furo se encontra na posição de retirada. Desta forma as definidos dois estados: um em que o pino preto está disponível para a montagem e o furo do pino prata está sendo alimentado, e outro que o pino prata está disponível para a montagem enquanto o furo do pino preto está sendo alimentado. Há um sensor na posição em que os pinos se encontram prontos para a montagem que é ativado quando o furo fica vazio. Assim é possível saber se acabaram os pinos de um determinado tipo ou se eles foram retirados pela garra. A Figura 19 mostra a unidade distribuidora de pinos.

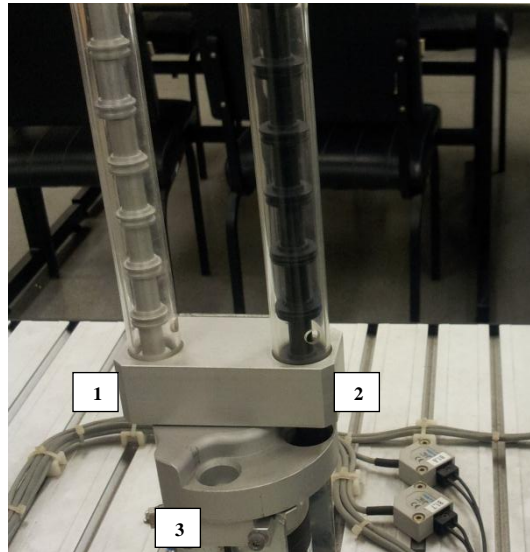


Figura 19 - distribuidora de pinos na posição de fornecimento do pino prata; 1 e 2 - sensores de posição; 3- sensor para verificar presença de pinos;

Portas I/O:

- Três sinais de sensores (I): um sensor indicando se a bandeja está com um pino preto para ser retirado; um sensor indicando se a bandeja está com um pino prata para ser retirado; um sensor indicando se há algum pino para ser retirado.
- Dois sinais de controle (O): um sinal de controle para a bandeja fornecer o pino preto; um sinal para a bandeja fornecer o pino prata;

5. Hardware do Sistema Instrumentado de Segurança

Foram instalados sensores específicos para o SIS. Eles serão os responsáveis pela detecção de falhas no BPCS. Na fábrica de montagem, os sensoriamentos foram realizados pelos:

1. Sensores de fim de curso

Indicarão se os eixos passaram do limiar considerado seguro para sua operação. Foram instalados nos eixos X, Y e Z.



Figura 20: Sensores de fim curso

2. Cortinas de luz

Indicarão se ocorreu invasão no volume de trabalho na fábrica 4. Foram instalados dois pares de cortinas de luz em torno da fábrica 4.

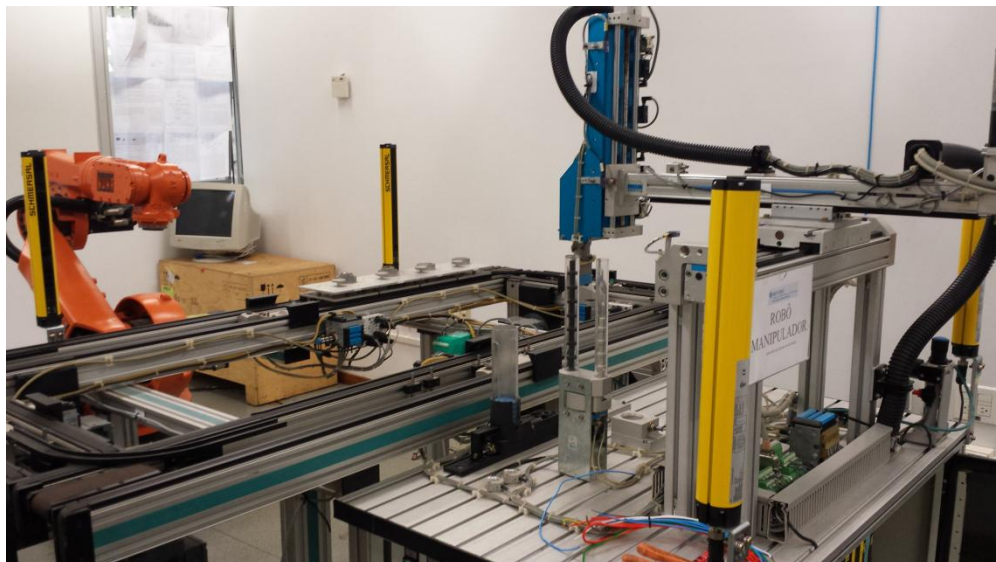


Figura 21- Fábrica 4 com as cortinas de luz

1.14.4 Hardware de controle

O hardware de controle da fábrica 4 é formado por um CLP “SIMATIC S7 315”, um módulo de comunicação CP 343-5 para comunicação em PROFIBUS, 2 módulos de controle de servo motor para controlar os eixos X e Y da garra de manipulação, 3 módulos de I/O digitais para aquisição e envio de sinais, 1 módulo de comunicação em RS232 e 1 módulo de comunicação ASI para a comunicação com a esteira transportadora.

A fábrica 4 possui um CLP físico e, portanto a lógica de controle dessa planta é feita nele, todos os sensores dessa fábrica são ligados nos módulos de I/O desse CLP bem como os atuadores pneumáticos.

O CLP controla os servos motores através das placas FM354, e se comunica com o PC em PROFIBUS através do CP 343-5. A comunicação com o PC é necessária para passar o programa para o CLP e para passar os dados do OPC Server.

A fábrica 4 também possui um botão de segurança ligado a um rele de segurança da Pilz, quando o botão é apertado os atuadores são desenergizados. Os eixos da garra possuem fins de curso nas extremidades, esses fins de curso também estão ligados no rele de segurança de forma que a garra seja desenergizada em caso de falha.

A Tabela 7 lista todo o hardware da fábrica 4.

Tabela 7 - Tabela de hardware da fábrica 4

Nome	Código	Função	Estado
Simatic S7-315	315-1AF01-0AB0	CLP que controla as fábricas 3 e 4	ok
Simaticnet CP 343-5	343-5FA00-0XE0	Cartão de comunicação em PROFIBUS	ok
FM354	354-1AH01-0AE0	Modulo de controle do servo motor	ok
FM354	354-1AH01-0AE0	Modulo de controle do servo motor	Queimado
SM323	323-1B401-0AA0	Cartão de expansão de I/Os	ok
SM323	323-1B401-0AA0	Cartão de expansão de I/Os	ok
SM323	323-1B401-0AA0	Cartão de expansão de I/Os	ok
CP340	340-1AH02-0AE0	Cartão de comunicação em RS232	ok
CP342-2	422-AH01A-AXA0	Cartão de comunicação AS-I	ok
PS307 5A 24V	307-1EA00-0AA0	Fonte	ok
Pilz PNOZ	474695	rele de segurança	ok

1.14.5 Software de controle

O software de controle da fábrica 4 foi criado seguindo a metodologia do PFS-MFG, após a obtenção do MFG o código em LD pode ser extraído e implementado de maneira sistemática.

O software da fábrica 4 lê os inputs dos sensores, define a ação a ser tomada com base no MFG implementado levando em conta todos os intertravamentos e toma essa ação através dos

seus outputs. Para maior organização a logica para realizar cada ação foi programada em um FC separado.

No programa estão implementados dois modos de operação distintos tele operação e monitoração. No modo de monitoração a fábrica é operada localmente já no de tele operação a fábrica é comandada remotamente pelo OPC server, o OPC server serve para fazer a interface entre o CLP e a internet.

Além disso, para controlar os motores servos é necessário parametrizar os FM 354 com os dados do encoder, motor, guia e PID. Para comandar os servos motores foram criados dois DBs que guardam as informações necessárias para o movimento dos servos, um para cada eixo, essas informações são então passadas a cada ciclo do programa para os FM354.

Na Tabela 8 são listadas todas as entradas e saídas do programa.

Tabela 8 - Lista de todos os I/O utilizados no programa

Tipo	Endereço	Símbolo no programa anti-go	Nome	Função	Estado
I	20.0	iPinoPreto	B1.0	Indica que o alimentador de pinos está com um pino preto	OK
I	20.1	iPinoPrata	B1.1	Indica que o alimentador de pinos está com um pino prata	Falhou
I	20.2	iCilindroMolaRecuado	B1.2	Indica se o pistão de alimentação das molas está recuado	OK
I	20.3	iforneceMola	B1.3	Indica se o pistão de alimentação das molas está alimentando	OK
I	20.4	iCilindrotampaRecuado	B1.4	Indica se o pistão de alimentação das tampas está recuado	OK
I	20.5	iCilindroTampaEstendido	B1.5	Indica se o pistão de alimentação das tampas está alimentando	OK
I	20.6	iForneceTampa	B1.6	Indica se há tampa para ser montada	OK
I	20.7	iFornecePino	B1.7	Indica se há pino para ser montado	OK
I	16.0	iFechadaGarra	B2.0	Indica que a garra está fechada	Falhou
I	16.1	iAbrirGarra	B2.1	Indica que a garra está aberta	Falhou
I	16.2	iGarra0	B2.2	Indica que o ângulo de posicionamento da garra está em 0°	OK
I	16.3	iGarra270	B2.3	Indica que o ângulo de posicionamento da garra	Falhou

				está em 270°	
I	16.4	iGarraZ1	B2.4	Indica que a garra está na posição no eixo Z superior	OK
I	16.5	iGarraZ2	B2.5	Indica que a garra está na posição no eixo Z intermediaria superior	OK
I	16.6	iGarraZ3	B2.6	Indica que a garra está na posição no eixo Z intermediaria inferior	OK
I	16.7	iGarraZ4	B2.7	Indica que a garra está na posição no eixo Z inferior	OK
I	12.0	mRemoto		Define o Modo de tele operação Remoto	
I	12.1	mLocal		Define o modo de tele operação Local	
Q	16.0	qFecharGarra	-	Atuador para fechar garra	
Q	16.1	qAbrirgarra	-	Atuador para abrir garra	
Q	16.2	qGarra0	-	Atuador para colocar a garra em 0°	
Q	16.3	qGarra270	-	Atuador para colocar a garra em 270°	
Q	16.4	qSubirZ	-	Atuador para subir a garra	
Q	16.5	qBaixarZ	-	Atuador para baixar a garra	
Q	20.0	qPinoPreto	-	Atuador para tirar o pino preto	
Q	20.1	qPinoPrata	-	Atuador para tirar o pino prata	
Q	20.2	qRecuarCilindroMola	-	Atuador para recuar cilindro mola	
Q	20.4	qRecuarCilindroTampa	-	Atuador para recuar cilindro tampa	
Q	20.5	qEstenderCilindroTampa	-	Atuador para estender cilindro de tampa	
Q	20.7	qTravaCorpo	-	Atuador para estender seguro	

1.15 Método para projeto do sistema de controle

O sistema de controle projetado foi implementado de forma modular e distribuída: um módulo correspondente ao sistema de controle BPCS em CLP específico e um módulo correspondente ao sistema de controle SIS em um CLP de Segurança.

No caso do BPCS, um novo sistema de controle foi modelado utilizando uma metodologia de projeto de sistemas de controle baseada em redes de Petri (Miyagi, 1996) conforme mostrado

no anexo A. A metodologia em questão baseia-se em seis etapas para o desenvolvimento do projeto de um sistema de controle. São elas:

1. Análise das necessidades;
2. Definição das necessidades;
3. Projeto do sistema de controle;
4. Projeto do software de controle;
5. Desenvolvimento (produção) do software;
6. Testes;

As etapas 1 a 3 não foram realizadas por se tratar de um sistema que já existe, sendo feito em seu lugar o comissionamento do sistema. A etapa 4 foi realizada de acordo com a metodologia PFS/MFG. A etapa 5 foi realizada no programa Step7 da Siemens e foi utilizada uma linguagem de programação chamada GRAPH no qual o código produzido se assemelha a representação MFG. A etapa 6 foi realizada na planta no laboratório MT-15C.

Para cada uma das fábricas foi aplicada a metodologia de projeto descrita acima.

Quanto ao projeto do módulo SIS foi utilizada a sistemática proposta em (Squillante et al, 2011) de acordo com o item 2.5. A sistemática propõe a utilização de redes Bayesianas e redes de Petri para o diagnóstico e tratamento das falhas que serão tratadas pelo SIS. Ela consiste em quatro etapas que serão detalhadas a seguir para identificar todos os procedimentos que foram executadas para a correspondente implementação:

1. Modelagem do Diagnóstico de Falhas:
 - 1.1. Definição da matriz causa-efeito das falhas;
 - 1.2. Definição da rede Bayesiana com base na matriz causa-efeito;
 - 1.3. Conversão da rede Bayesiana em uma rede de Petri;
2. Modelagem do Tratamento de Falhas:
 - 2.1. Realizar uma análise de riscos para se obtenção das funções instrumentadas de segurança (SIFs) e seus respectivos níveis de integridade de segurança (SIL);
 - 2.2. Definição do modelo de tratamento de cada SIF por uma rede de Petri;
 - 2.3. Definição do modelo de coordenação das SIFs;
3. Análise dos Modelos;
4. Geração dos Algoritmos de Controle:
 - 4.1. Geração do programa de controle em uma linguagem de programação definida na norma IEC 61131-3;

4.2. Geração do programa de tratamento de falhas e coordenação em uma linguagem de programação definida na norma IEC 61131-3;

No trabalho desenvolvido o SIS foi aplicado apenas na fábrica de montagem.

RESULTADOS

1.16 Sistema de controle - módulo BPCS

1.16.1 Estrutura Geral do Programa de Controle BPCS

Na estrutura do novo projeto existem apenas dois controladores, um para as fábricas de alimentação e teste, chamadas no programa de F1 e F2 respectivamente, e outro para as fábricas de transporte e montagem chamadas no programa de F3 e F4 respectivamente.

As fábricas de alimentação e teste são agora controladas por apenas um computador, esse computador se conecta ao mesmo tempo com as duas remotas através da rede PROFIBUS. As fábricas de transporte e montagem continuam sendo controladas pelo mesmo PLC, assim como era no programa antigo.

O programa de cada um desses controladores foi implementado de maneira modular: cada fábrica foi dividida em um bloco de funções dentro do seu controlador. Esses blocos de funções são então chamados no ciclo principal de varredura do programa como sub-rotinas de controle.

Os programas dos blocos de função que controlam as fábricas foram feitos em GRAPH de modo a facilitar a programação e o entendimento do código. Esses blocos de função possuem uma única entrada, essa entrada permite retornar o programa para o estado inicial do GRAPH.

Assim, o programa de controle foi feito de forma que a fábrica sempre seja colocada no seu estado inicial seguro a partir do estado inicial do GRAPH e depois entre em espera. Dessa forma, para colocar uma fábrica em um estado seguro basta mudar o valor da entrada do seu bloco de função para um.

1.16.2 Fábrica de Alimentação

1.16.2.1 Projeto do Software de controle

O projeto do software da fábrica de alimentação foi desenvolvido através da metodologia PFS/MFG. Esta metodologia requer a definição de macro eventos e a sua subsequente ampliação. Na fábrica de alimentação estes macro eventos foram:

- Estado Inicial Seguro;

- Cilindro Alimenta Peça;
- Braço Leva Peça;

Podemos então formar o seguinte diagrama PFS mostrado na Figura 20:

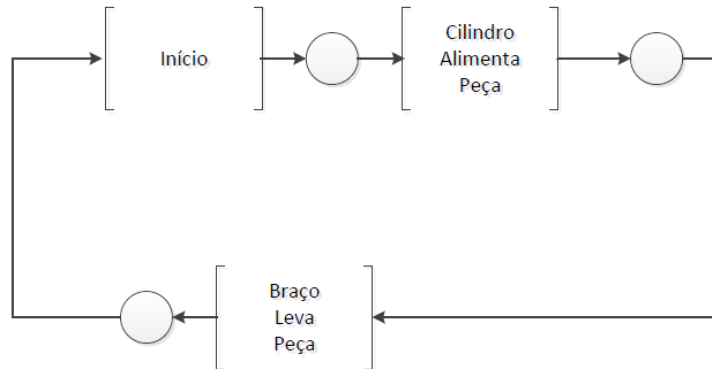


Figura 22- Diagrama PFS fábrica 1

Para cada macro evento do PFS foi realizado o detalhamento das ações e transições de cada estado. O estado inicial seguro é o estado em que a fábrica inicia qualquer ciclo de operação e quando o botão de reset for pressionado. No caso da fábrica de alimentação, o estado inicial é:

- Braço de alimentação na posição de alimentação;
- Cilindro recuado;

As demais ações e as condições de transição de cada estado interno foram modeladas conforme foi descrito no Capítulo 3. No apêndice A são mostrados os diagramas MFG detalhados de cada macro evento do diagrama PFS da fábrica 1.

1.16.2.2 Desenvolvimento do software

O programa do ciclo principal de varredura para o controlador da fábrica de alimentação se encontra no apêndice E, e o programa do bloco de funções da fábrica de alimentação se encontra no apêndice F.

1.16.2.3 Testes

Todos os testes de comissionamento foram desenvolvidos com base no anexo F. Para análise off-line, foram verificadas a alcançabilidade e a presença de *deadlocks* nos modelos. Com isso pode se estabelecer se o controle projetado atinge todos os estados e se consegue retornar ao

ciclo partindo de qualquer estado. Os testes físicos de comissionamento realizados na fábrica 1 mostraram que, para o propósito para o qual foi desenvolvido a fábrica está funcionando corretamente.

1.16.3 Fábrica de teste

1.16.3.1 Projeto do Software de controle

O projeto do software da fábrica de teste foi desenvolvido através da metodologia PFS/MFG. Os macro eventos considerados foram:

- Estado Inicial Seguro;
- Identifica Peça;
- Aceita Peça;
- Rejeita Peça;

Podemos então formar o seguinte diagrama PFS mostrado na Figura 21:

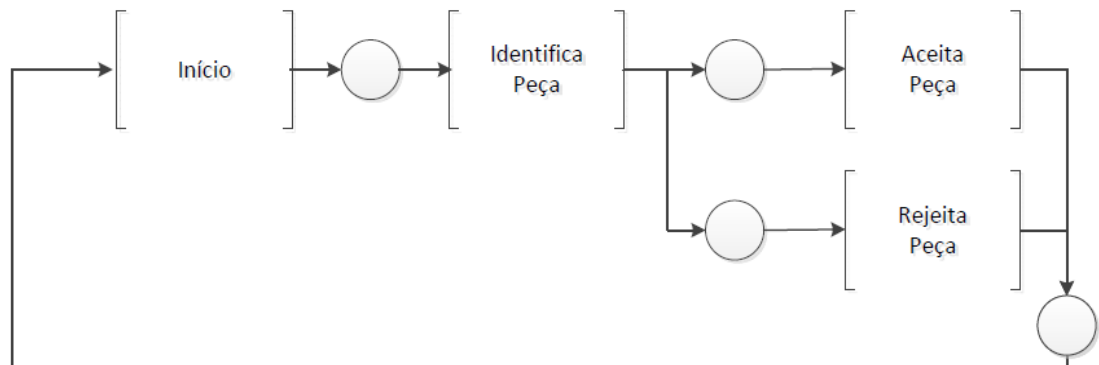


Figura 23 – diagrama PFS Fábrica 2

Para cada macro evento do PFS foi realizado o detalhamento das ações e transições de cada estado. O estado inicial seguro, ou apenas inicial, é o estado em que a fábrica tem que iniciar qualquer ciclo de operação e quando o botão de reset for pressionado. No caso da fábrica de teste, o estado inicial é:

- Plataforma na posição inferior;
- Cilindro recuado;

As demais ações e as condições de transição de cada estado interno foram modeladas conforme foi descrito no capítulo 3. No apêndice B são mostrados os diagramas MFG detalhados de cada macro evento do diagrama PFS da fábrica 2.

1.16.3.2 Desenvolvimento do software

O programa do ciclo principal de varredura para o controlador da fábrica de alimentação se encontra no apêndice E, e o programa do bloco de funções da fábrica de alimentação se encontra no apêndice G.

1.16.3.3 Testes

Os testes físicos de comissionamento realizados na fábrica 2 mostraram que a fábrica funciona corretamente de acordo com as especificações.

1.16.4 Fábrica de transporte

1.16.4.1 Projeto do Software de controle

O projeto do software da fábrica de transporte foi desenvolvido através da metodologia PFS/MFG. Na fábrica de transporte estes macro eventos foram:

- Estado Inicial Seguro;
- Estação 2 (fábrica 2);
- Estação 3 (fábrica 3);

Podemos então formar o seguinte diagrama PFS mostrado na Figura 22:

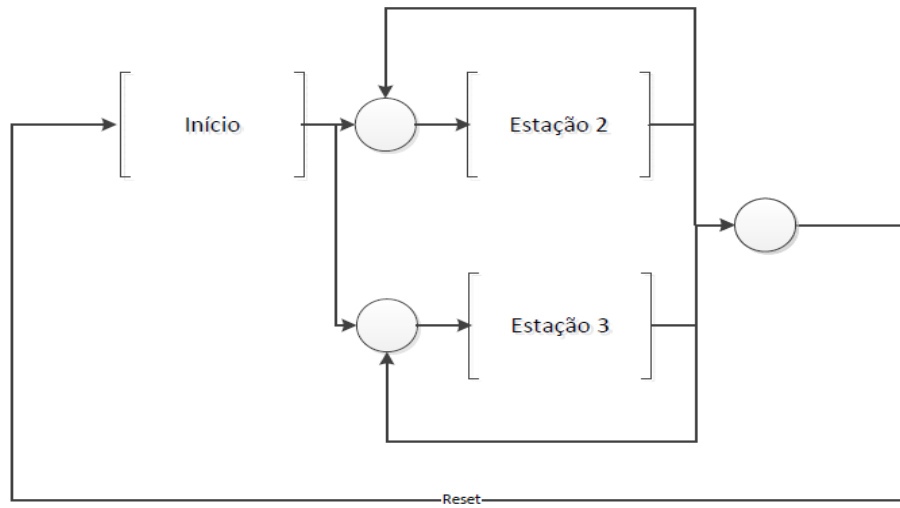


Figura 24 – diagrama PFS Fábrica 3

Para cada macro evento do PFS foi realizado o detalhamento das ações e transições de cada estado. O estado inicial seguro, ou apenas inicial, é o estado em que a fábrica tem que iniciar qualquer ciclo de operação e quando o botão de reset for pressionado. No caso da fábrica de transporte, o estado inicial é:

- Todos os carros na fila da estação 2;
- Cilindros recuados, com exceção ao da entrada da fábrica 2;

As demais ações e as condições de transição de cada estado interno foram modeladas conforme foi descrito no Capítulo 3. No apêndice C são mostrados os diagramas MFG detalhados de cada macro evento do diagrama PFS da fábrica 3.

1.16.4.2 Desenvolvimento do software

O programa do ciclo principal de varredura para o controlador da fábrica de transporte se encontra no apêndice H, e o programa do bloco de funções da fábrica de transporte se encontra no apêndice I.

1.16.4.3 Testes

Os testes físicos de comissionamento realizados na fábrica 2 mostraram que a fábrica está funcionando corretamente para o propósito para o qual foi desenvolvida.

1.16.5 Fábrica de montagem

1.16.5.1 Projeto do Software de controle

O projeto do software da fábrica de montagem foi desenvolvido através da metodologia PFS/MFG. Nesta fábrica os macro eventos foram:

- Estado Inicial Seguro;
- Carrega;
- Posiciona Cilindro;
- Posiciona mola;
- Posiciona Pino;
- Posiciona Tampa;
- Descarrega;

Podemos então formar o seguinte diagrama PFS mostrado na Figura 23:

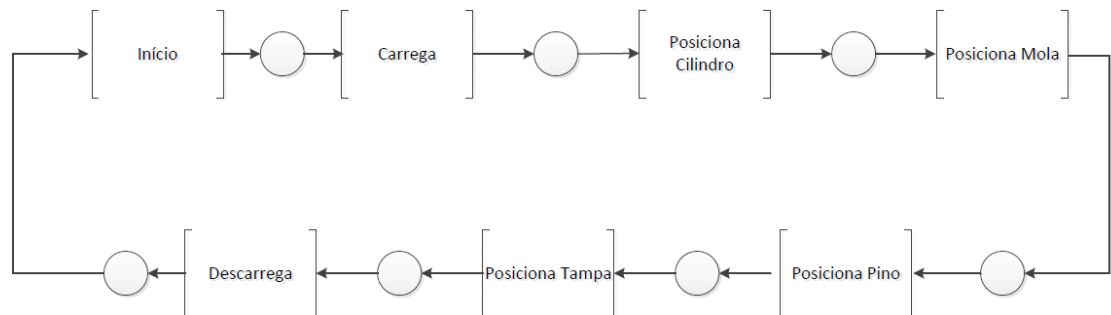


Figura 25 – diagrama PFS da Fábrica 4

Para cada macro evento do PFS foi realizado o detalhamento das ações e transições de cada estado. O estado inicial seguro, ou apenas inicial, é o estado em que a fábrica tem que iniciar qualquer ciclo de operação e quando o botão de reset for pressionado. No caso da fábrica de montagem, o estado inicial é:

- Garra na posição superior;
- Garra posicionada sobre a esteira;
- Garra aberta;
- Garra com 0° ;

As demais ações e as condições de transição de cada estado interno foram modeladas conforme foi descrito no capítulo 3. No apêndice D são mostrados os diagramas MFG detalhados de cada macro evento do diagrama PFS.

1.16.5.2 Desenvolvimento do software

O programa do ciclo principal de varredura para o controlador de montagem se encontra no apêndice H, e o programa do bloco de funções da fábrica de montagem se encontra no apêndice J.

1.16.5.3 Testes

Os testes físicos de comissionamento foram realizados nos eixos X e Z e o resultado foi positivo.

1.17 Sistema de controle - módulo SIS

1.17.1 Estrutura Geral do Programa

Na estrutura do projeto do SIS existe apenas um CLP de Segurança e ele está alocado na fábrica de montagem. Nesse controlador foram implementadas as rotinas de detecção de falha, de coordenação das SIFs e das próprias SIFs.

Cada rede de Petri gerada através da sistemática proposta em (Squillante et al, 2011) foi traduzida para LD e programada na forma de bloco de função no controlador. Essas funções são então executadas ciclicamente pelo controlador a cada 100ms.

Dessa forma, a cada 100ms, as rotinas de detecção checam se existe alguma situação de risco. Se houver, a rotina de coordenação executa a SIF responsável por aquela situação e, assim, o sistema é posto em um estado seguro, enquanto espera um sinal de reconhecimento do usuário.

1.17.2 Fábrica de montagem

1.17.2.1 Projeto do Software de controle

Para o projeto do software de controle da fábrica de montagem foi desenvolvido utilizando-se a sistemática descrita na seção 2.5. Como descrito na sistemática, foi desenvolvido em quatro passos:

1. *Modelagem do Diagnóstico de Falhas:*
 - 1.1. *Definição da matriz causa-efeito de falhas*

Neste passo são identificadas e construídas as matrizes de causa-efeito para cada caso de falha no sistema. O sistema da fábrica de montagem é constituído por um manipulador de três eixos. Sendo assim serão diagnosticadas as falhas no movimento nos três eixos do manipulador. Para isso são colocados sensores de segurança nos extremos de cada eixo. São parte do sistema duas cortinas de luz para detectar se nenhuma pessoa invade a área de trabalho do manipulador.

Com base nestas informações e na configuração da planta foram construídas as matrizes de causa-efeito de cada caso, como pode ser visto nas Tabelas 9 a 12.

Na matriz causa-efeito da Tabela 9 os sensores de final de curso no eixo X são os sensores S19.1 e S19.2. Nesta Tabela estão relacionados todos os casos no qual o SIS detecta uma falha no controle do eixo X.

Tabela 9: Matriz causa-efeito “Falha Eixo X”

Matriz Causa-Efeito Falha Eixo X			
Caso	Falha_Eixo_X	S19.1	S19.2
1	1	1	0
2	1	0	1
3	1	1	1

Na matriz causa-efeito da Tabela 10 os sensores de final de curso no eixo Y são os sensores S18.1 e S18.2. Nesta Tabela estão relacionados todos os casos no qual o SIS detecta uma falha no controle do eixo Y.

Tabela 10: Matriz causa-efeito “Falha Eixo Y”

Matriz Causa-Efeito Falha Eixo Y			
Caso	Falha_Eixo_Y	S18.1	S18.2
1	1	1	0
2	1	0	1
3	1	1	1

Na matriz causa-efeito da Tabela 11 os sensores de final de curso no eixo Z são os sensores S111 e S110. Nesta Tabela estão relacionados todos os casos no qual o SIS detecta uma falha no controle do eixo Z.

Tabela 11: Matriz causa-efeito “Falha Eixo Z”

Matriz Causa-Efeito Falha Eixo Z			
Caso	Falha_Eixo_Z	S111	S110
1	1	1	0
2	1	0	1
3	1	1	1

Na matriz causa efeito da Tabela 12 as cortinas de luz são os sensores R1 e R2. Nesta Tabela estão relacionados todos os casos no qual o SIS detecta uma invasão na área de trabalho.

Tabela 12 : Matriz causa-efeito “Invasão Vol. Trabalho”

Matriz Causa-Efeito Invasão Vol. de Trabalho			
Caso	Falha_Vol_Trab	R1	R2
1	1	1	0
2	1	0	1
3	1	1	1

1.2. Definição da rede Bayesiana com base na matriz causa-efeito

Com as matrizes de causa-efeito obtidas no passo 1.1 podemos obter as redes Bayesianas. As redes para a falha no eixo X, falha no eixo Y, falha no eixo Z e para a invasão do volume de trabalho estão representadas na Figura 24.

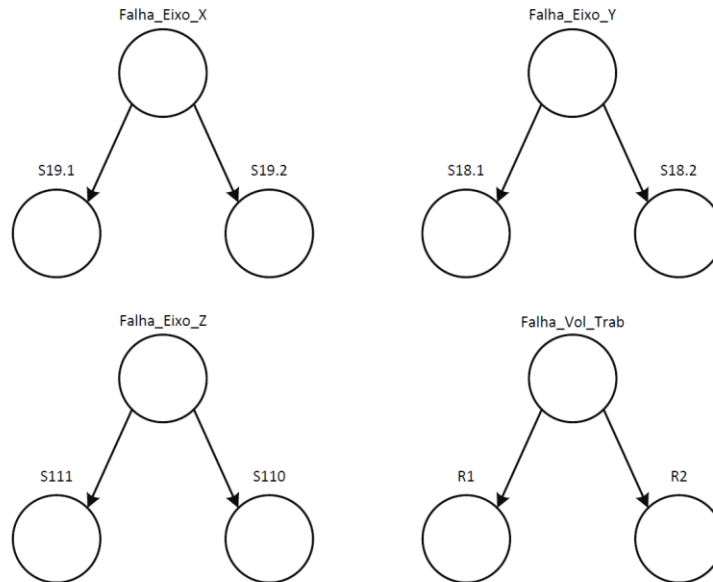


Figura 26: Redes Bayesianas para detecção de falhas

1.3. Conversão da rede Bayesiana em uma rede de Petri

Com as redes Bayesianas obtidas no passo 1.2 podemos convertê-las em redes de Petri. A rede para a falha no eixo X, falha no eixo Y, falha no eixo Z e invasão do volume de trabalho estão representada na Figura 25.

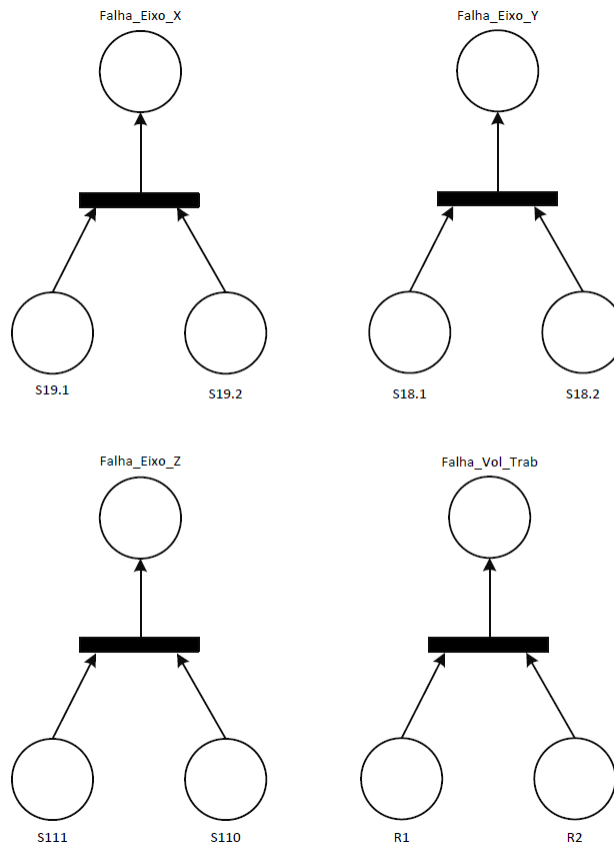


Figura 27: Redes de Petri para detecção de falhas de Modelagem do Tratamento de Falhas

2. Modelagem do Tratamento de Falhas

2.1. Análise de riscos

Para a análise de riscos e determinação do SIL de cada SIF foram utilizadas malhas definidas pelo modelo de HazOp. Foram utilizadas para cada malha critérios da norma. São eles:

- Frequência esperada de demanda;
- Segurança pessoal;
- Perda de produção e danos a equipamentos;
- Meio ambiente;

No anexo E são apresentadas as Tabelas e as malhas referentes a cada um destes critérios. Com base neste método, podemos sintetizar as análises e os resultados para cada SIF nas Tabelas 13, 14, 15 e 16 abaixo.

De acordo com a Tabela 13, para a SIF 1 o nível de SIL encontrado é o maior entre os três. No Caso SIL 2.

Tabela 13: Definição do SIL da SIF 1

Determinação do SIL	Frequências de Demanda	Risco	Grau de presença humana	Exposição ao risco	Resultado	SIL
PERDA DE PRODUÇÃO OU DANOS AOS EQUIPAMENTOS	W3	L4	N/A	N/A	IV	2
POTENCIAL DE DANOS AO MEIO AMBIENTE	W1	E0	N/A	N/A	N.D.	0
SEGURANÇA PESSOAL	W2	S2	A2	G1	III	1

De acordo com a Tabela 14, para a SIF 2 o nível de SIL encontrado é o maior entre os três. No Caso SIL 2.

Tabela 14: Definição do SIL da SIF 2

Determinação do SIL	Frequências de Demanda	Risco	Grau de presença humana	Exposição ao risco	Resultado	SIL
PERDA DE PRODUÇÃO OU DANOS AOS EQUIPAMENTOS	W3	L4	N/A	N/A	IV	2
POTENCIAL DE DANOS AO MEIO AMBIENTE	W1	E0	N/A	N/A	N.D.	0
SEGURANÇA PESSOAL	W2	S2	A2	G1	III	1

De acordo com a Tabela 15, para a SIF 3 o nível de SIL encontrado é o maior entre os três. No Caso SIL 2.

Tabela 15: Definição do SIL da SIF 3

Determinação do SIL	Frequências de Demanda	Risco	Grau de presença humana	Exposição ao risco	Resultado	SIL
PERDA DE PRODUÇÃO OU DANOS AOS EQUIPAMENTOS	W3	L4	N/A	N/A	IV	2
POTENCIAL DE DANOS AO MEIO AMBIENTE	W1	E0	N/A	N/A	N.D.	0
SEGURANÇA PESSOAL	W2	S2	A2	G1	III	1

De acordo com a Tabela 16, para a SIF 4 o nível de SIL encontrado é o maior entre os três. No Caso SIL 2.

Tabela 16: Definição do SIL da SIF 4

Determinação do SIL	Frequências de Demanda	Risco	Grau de presença humana	Exposição ao risco	Resultado	SIL
PERDA DE PRODUÇÃO OU DANOS AOS EQUIPAMENTOS	W3	L4	N/A	N/A	IV	2
POTENCIAL DE DANOS AO MEIO AMBIENTE	W1	E0	N/A	N/A	N.D.	0
SEGURANÇA PESSOAL	W2	S2	A2	G1	III	1

Podemos ver nos quatro casos que o maior perigo encontrado é de perda de produção e danos ao equipamento.

2.2. Definição do modelo de tratamento de cada SIF

Neste passo são definidos os modelos de tratamento de cada falha. A modelagem de cada função SIF é feita utilizando redes de Petri.

2.2.1. Rede de Petri da SIF “Falha Eixo X”

No tratamento da falha no eixo X o SIS desligará a alimentação do servo motor do eixo X. Esta ação causará a parada do motor e evitará danos ao equipamento. O modelo desenvolvido que realiza a função descrita pode ser visto na Figura 26

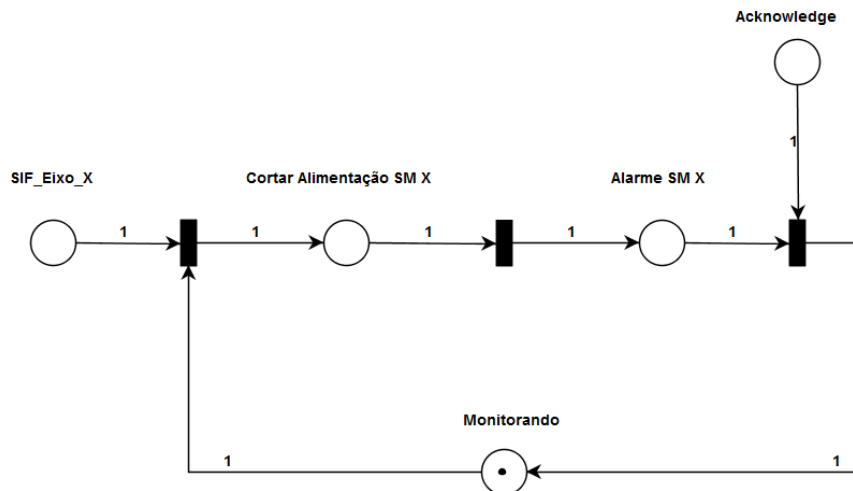


Figura 28: Modelo de Tratamento da SIF 1

2.2.2. Rede de Petri da SIF “Falha Eixo Y”

No tratamento da falha no eixo Y o SIS desligará a alimentação do servo motor do eixo Y. Esta ação causará a parada do motor e evitará danos ao equipamento. O modelo desenvolvido que realiza a função descrita pode ser vista na Figura 27.

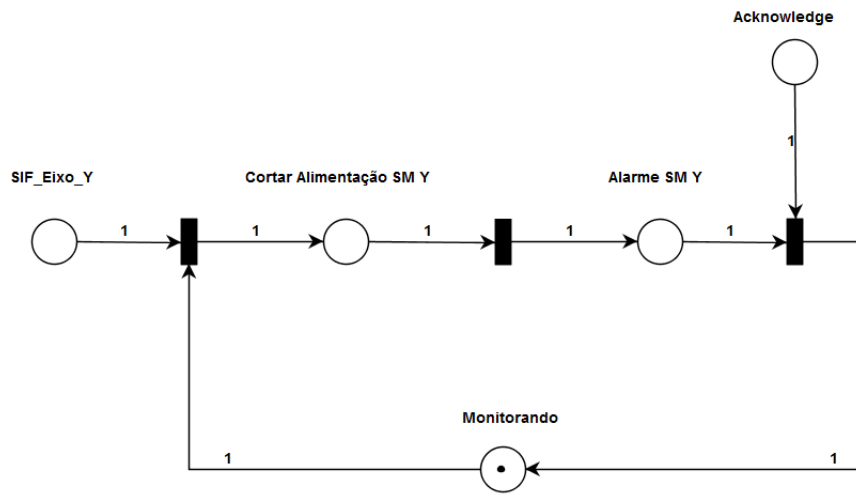


Figura 29: Modelo de Tratamento da SIF 2

2.2.3. Rede de Petri da SIF “Falha Eixo Z”

No tratamento da falha no eixo Z o SIS desligará a alimentação do servo motor do eixo Z. Esta ação causará a parada do motor e evitará danos ao equipamento. O modelo desenvolvido que realiza a função descrita pode ser vista na Figura 28.

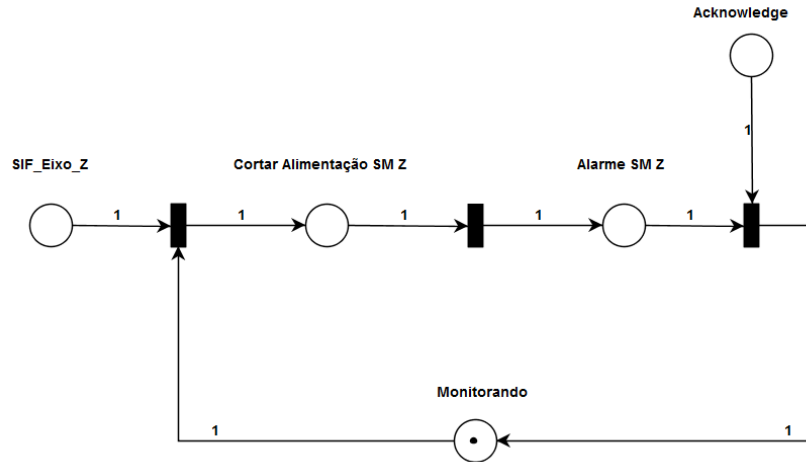


Figura 30: Modelo de Tratamento da SIF 3

2.2.4. Rede de Petri da SIF “Invasão Vol. Trabalho”

No tratamento da invasão do volume de trabalho, o Sistema SIS desligará a alimentação dos servo motores dos eixos X, Y e Z. Esta ação causará a parada dos motores e evitará ferimentos à pessoa e danos ao equipamento. O modelo desenvolvido que realiza a função descrita pode ser vista na Figura 29.

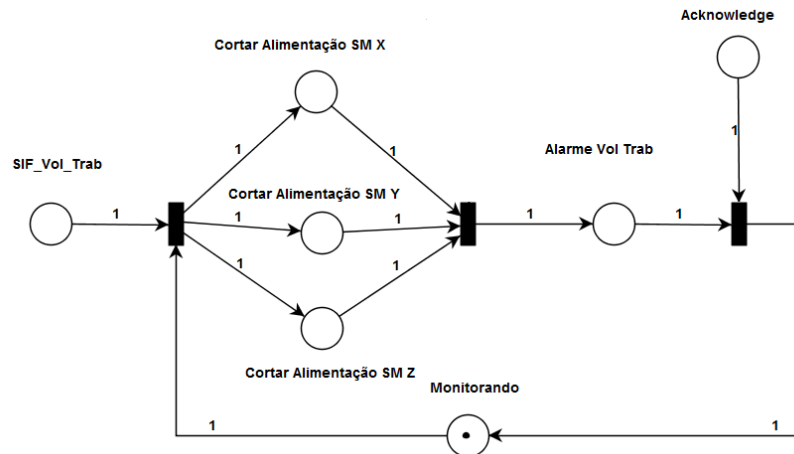


Figura 31: Modelo de Tratamento da SIF 4

2.3. Definição do modelo de coordenação das SIF

Neste passo é definido o modelo do coordenador das SIFs. Este modelo tem como função determinar qual SIF será chamada em função do diagnóstico de falha. Para a construção deste coordenador são utilizados os modelos de detecção de falhas desenvolvidos no passo 1.3 como sinais de entrada. Como sinais de saída tem-se a chamada das funções de SIF desenvolvidas no passo 2.2. Temos então:

- Falha Eixo X -> SIF 1;
- Falha Eixo Y -> SIF 2;
- Falha Eixo Z -> SIF 3;
- Invasão no Volume de Trabalho -> SIF 4;

Com base nestas informações foi desenvolvido o modelo de coordenação em rede de Petri da Figura 30.

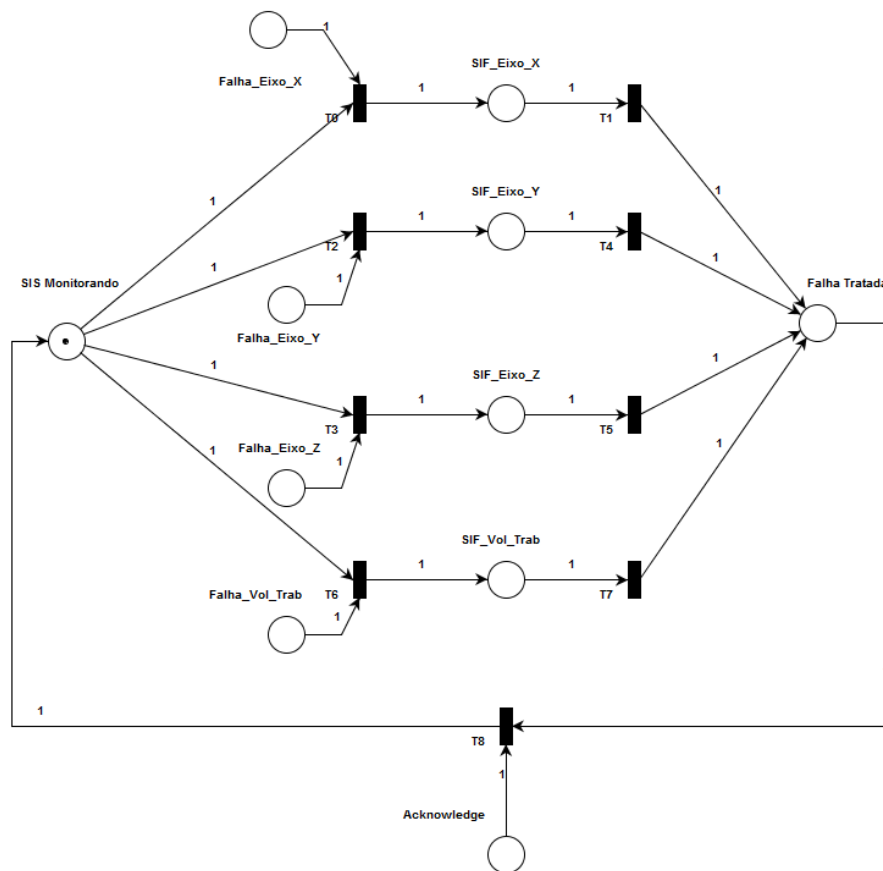


Figura 32: Modelo de coordenação das SIFs

3. Análise dos Modelos

A análise dos modelos encontrados para o tratamento e para a coordenação das SIFs foram testados no software PIPE v4.3.0. Eles foram analisados para a ocorrência de *deadlocks* e se funcionam corretamente. Os modelos apresentados não apresentaram nenhum problema.

4. Geração dos Algoritmos de Controle

4.1. Geração do programa de controle em uma linguagem de programação definida na norma IEC 61131-3

Ver apêndice G.

4.2. Geração do programa de tratamento de falhas e coordenação em uma linguagem de programação definida na norma IEC 61131-3

Ver apêndice H.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho foram: documentação, modelagem, programação e implementação dos módulos BPCS e SIS que compõem o sistema de controle da planta modelo do laboratório PMR-LSA.

Por meio da documentação do projeto foi possível gerar um material no qual dados relevantes de hardware como entradas e saídas do sistema estejam facilmente acessíveis. Isto permitiu que a modelagem fosse feita de maneira rápida e segura. Também foi possível identificar problemas de hardware que precisavam ser concertados. Outro aspecto positivo é que durante a documentação do sistema foi possível também compreender como o sistema havia sido projetado inicialmente. Isso foi importante, pois ajudou a identificar os pontos nos quais teríamos mais problemas no futuro, pontos que podiam ser melhorados e pontos que já estavam otimizados.

Para modelar o BPCS foi utilizada a metodologia PFS-MFG. Com a planta devidamente documentada, foi possível avaliar o desempenho da planta. Portanto, redes de Petri são importantes quando se deseja obter dados de análise qualitativa e/ou quantitativa.

O formalismo adotado durante o procedimento de modelagem foi útil para evitar retrabalhos, ainda que no início tenha sido necessário dispendir maior esforço para realização dos modelos. Além disso, foi possível testar o modelo adquirido através dessa metodologia em ambiente virtual, através de softwares de simulação, antes de gerar o programa de controle, ou seja, isso permitiu que os modelos fossem validados e verificados.

Inicialmente, para o projeto do SIS foram encontradas varias dificuldades, tanto pela complexidade da norma IEC 61508 como pela liberdade que a norma prove ao projetista para definir os métodos. Dessa forma, foi necessário procurar na literatura da área ferramentas que possibilitassem realizar o projeto do SIS de maneira satisfatória. A partir do momento em que para modelar-se o SIS foi utilizada a sistemática proposta em (Squillante et al, 2011), estas dificuldades foram sanadas. Essa sistemática foi muito importante para esse trabalho, pois apesar da norma IEC 61508 ser adequada para definir os requisitos que um SIS deve possuir, a mesma não define métodos para alcançar as especificações necessárias. Utilizando essa sistemática foi possível atingir todos os requisitos da norma de forma clara, utilizando modelos matemáticos como

redes de Petri e redes Bayesianas. Isso permitiu que os modelos do SIS fossem testados e validados.

Após os modelos estarem prontos e validados a tarefa de programação dos ciclos principais nos controladores se mostrou rápida e eficiente, já que bastou traduzir os modelos obtidos para as linguagens de programação dos controladores.

As maiores dificuldades durante a etapa de programação foram relativas à comunicação entre as fábricas, configurações de hardware e controle dos motores da fábrica de montagem.

Para realizar a comunicação entre as fábricas foi necessária a utilização de um software intermediário, pois os controladores não utilizam os mesmos protocolos de comunicação. Os outros problemas foram resolvidos após consultar os manuais e materiais de suporte do fabricante.

Após os controladores terem sido programados foi possível realizar testes virtuais, utilizando os próprios controladores, antes de ativar as saídas físicas dos mesmos. Esses testes foram realizados mudando os valores das entradas físicas através do programa de simulação, e observando os valores das saídas e das variáveis internas do controlador. Através dessas simulações foi possível realizar uma última verificação antes de habilitar as saídas físicas.

As simulações virtuais mostraram situações que não foram previstas no projeto inicial, dessa forma foi necessário ainda ajustar os modelos e o algoritmo de controle para atender a essas situações.

Depois de realizados todos os ajustes no código, as plantas reais puderam ser testadas. Durante os testes as plantas 1, 2 e 3 se comportaram assim como modeladas, porém a fábrica 4 não pode ser testada totalmente já que o hardware que controla o eixo X do braço manipulador estava danificado. No entanto, o eixo Y se comportou como esperado e, por analogia, quando os problemas de hardware forem corrigidos, o eixo X também se comportará como esperado.

O algoritmo de controle do SIS foi implementado de maneira similar ao do BPCS. Cada SIF foi testado separadamente para validar o funcionamento do sistema. Durante os testes foi possível comprovar a eficácia do sistema e a sua segurança.

Assim, pudemos verificar que os resultados foram válidos.

CONCLUSÃO

Ao se analisar os resultados do trabalho desenvolvido pode-se observar que os algoritmos de controle desenvolvidos atendem aos requisitos de projeto e da Norma IEC 61508.

O controle BPCS desenvolvido conseguiu realizar a tarefa de coordenação das atividades de uma maneira mais eficiente que a implementada anteriormente. Com ele, a eficiência na produção foi melhorada com a realização de atividades em paralelo.

O controle de segurança foi capaz de atuar no caso de falhas no sistema básico, evitando assim danos aos equipamentos e pessoas. Ele interrompe o movimento dos motores e sinaliza ao sistema de controle BPCS de que ele tomou uma ação.

Foi possível, com a execução deste trabalho, verificar a eficácia e praticidade da utilização da norma IEC 61508, a metodologia PFS/MFG e da sistemática proposta por (Squillante et al, 2011). Elas possibilitaram a execução da modelagem e desenvolvimento dos algoritmos de controle de uma maneira estruturada e linear. Mesmo com a maior demora na construção dos modelos, tornaram a parte de programação mais rápida e eficiente.

Foram implementados os controles básico em todas as fábricas. Nas fábricas 1, 2 e 3 foi possível comprovar por meio de testes que o controle desenvolvido funciona. Na fábrica 4 foram encontrados problemas no controlador do servo motor do eixo X e por isso a implementação ficou comprometida, não possibilitando o teste por completo. O mesmo ocorre com a implementação do sistema de segurança que possui como objeto de controle a fábrica 4. Nos modelos que não puderam ser implementados por completo foram realizados simulações por software. Estes modelos realizaram as ações especificadas.

Por fim, durante a realização do projeto foi produzida uma documentação detalhada do funcionamento e características do sistema estudado que poderá ser utilizada em projetos futuros. Como sugestão para trabalhos futuros pode ser feito um controle distribuído com a possibilidade de se controlar remotamente e o teste completo do controle da fábrica 4.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOBBIO, A., BOLOGNA, S., CIANCAMERLA, E., FRANCESCHINIS, G., GAETA, R., MINICHINO, M., PORTINALE, L., 2001. Comparison of methodologies for the safety and dependability assessment of an industrial programmable logic controller. In: Proceedings of European Safety and Dependability Conference, pp. 411–418

DILTS D M, BOYD N P, AND WHORMS H H, "The evolution of control architectures for automated manufacturing systems. Journal of Manufacturing Systems", 1991, 10(1): 79-93

FREY, G.; LITZ, L., "Formal methods in PLC programming," Systems, Man, and Cybernetics, 2000 IEEE International Conference on , vol.4, no., pp.2431,2436 vol.4, 2000 doi: 10.1109/ICSMC.2000.884356

G. COOPER, E. HERSKOVITS. "A Bayesian method for the induction of probabilistic networks from data". Machine Learning. 9(4):309-347, 1992

GALL, H., "Functional safety IEC 61508 / IEC 61511 the impact to certification and the user," Computer Systems and Applications, 2008. AICCSA 2008. IEEE/ACS International Conference on , vol., no., pp.1027,1031, March 31 2008-April 4 2008

IEC SAFETY ZONE. Available: http://www.iec.ch/zone/fsafety/fsafety_entry.htm

ISA. Available: <http://www.isanet.org/>

JING LIU; CHENGYIN YUAN; FANGMING GU; BILLER, S., "Functional safety certification: Practice and issues," Automation Science and Engineering, 2008. CASE 2008. IEEE International Conference on , vol., no., pp.412,417, 23-26 Aug. 2008

MARSZAL, E. M.; WEIL, C. P., "Implementing Protective Functions in BPCS An Combined Systems", ISA Safety Papers, 2005.

MIYAGI, PAULO EIGI, "Controle Programável: fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos" 1ª edição – São Paulo. 1996

MURPHI, K. "Bayes net toolbox for Matlab", 2007. <http://code.google.com/p/bnt/>

NAKAMOTO, F.Y. ; MIYAGI, P.E. ; DOS SANTOS FILHO, D.J. "Systematization of the project of the production system control" ,Industrial Electronics, 2003. ISIE '03. 2003 IEEE International Symposium on Volume: 2

S. RUSSELL, P. NORVIG, J. F. CANNY, J. MALIK, AND D. D. EDWARDS, "Artificial Intelligence: A Modern Approach", 2nd ed., Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall/Pearson Education, 2003

SARMENTO, C.A.; SANTOS FILHO, D.J.; MIYAGI, P.E., "Extending the verification coverage for PLC control programs: A functional safety approach," IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society , vol., no., pp.2833,2838, 25-28 Oct. 2012

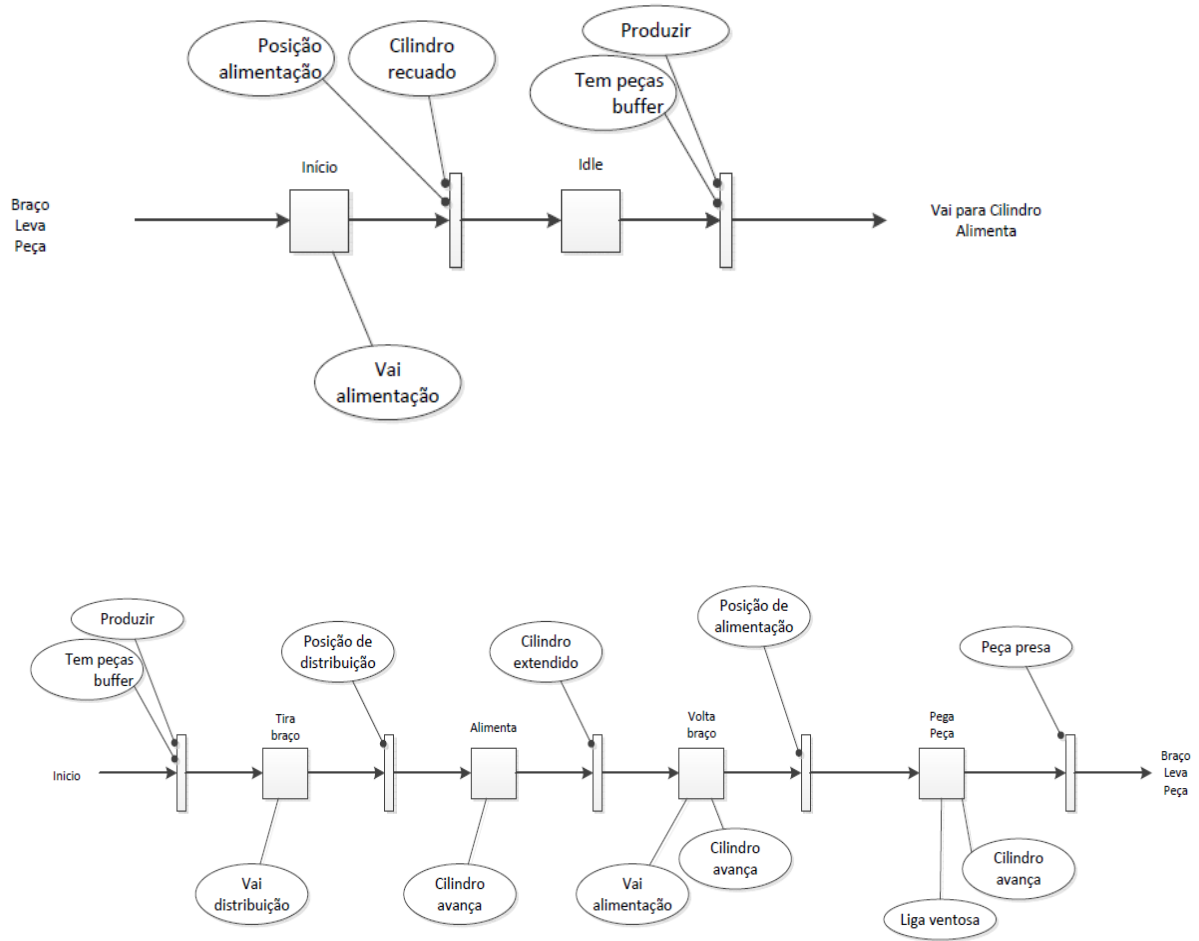
SQUILLANTE, R.; FILHO, D.J.S.; JUNQUEIRA, F.; MIYAGI, P.E., "Development of Control Systems for Safety Instrumented Systems," Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina) , vol.9, no.4, pp.451,457, July 2011

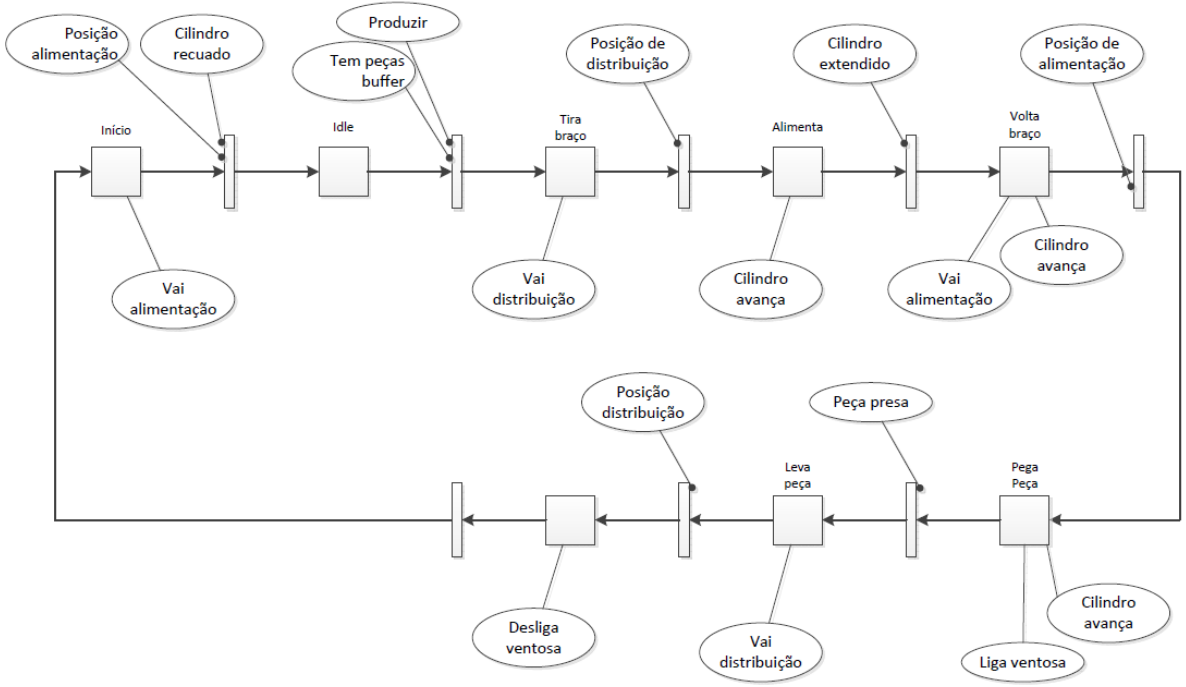
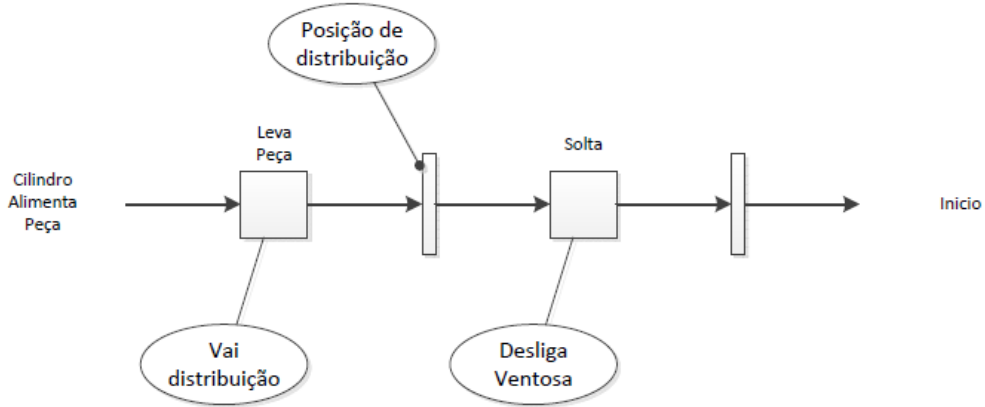
VON KROSIGK, H., "Functional safety in the Field of industrial automation. The influence of IEC 61508 on the improvement of safety-related control systems," Computing & Control Engineering Journal , vol.11, no.1, pp.13,18, Feb. 2000
doi: 10.1049/cce:20000102

WIGHTKIN, N., BUY, U. AND DARABI, H. "Formal modeling of sequential function charts with time Petri nets" IEEE Transactions on Control Systems, Vol. 99, pp. 1–10, 2010

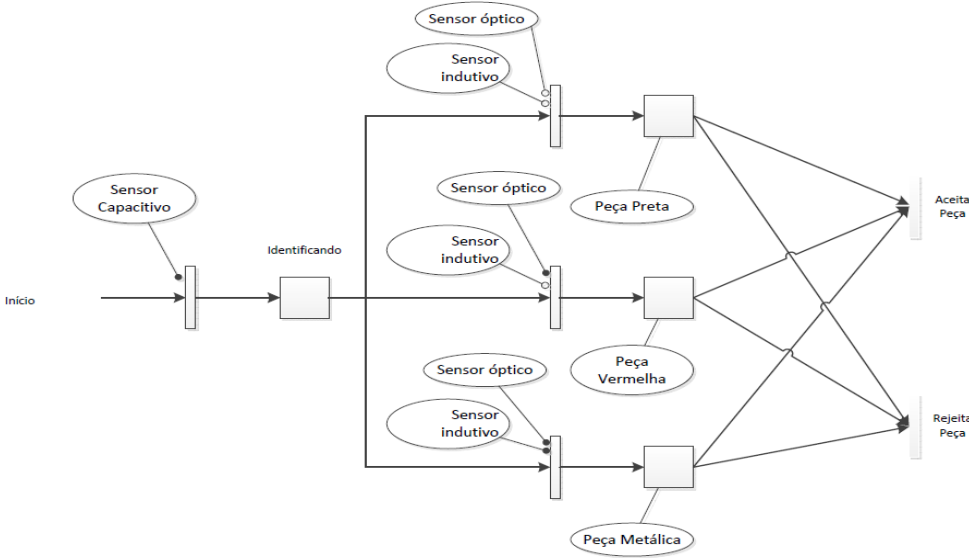
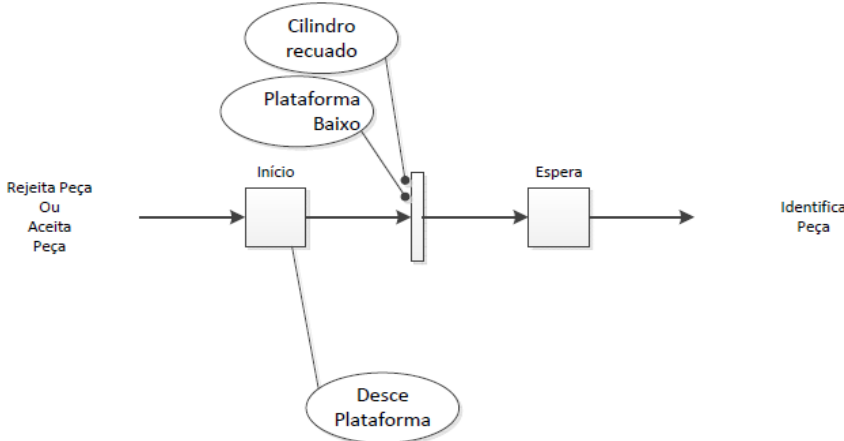
WOLFGANG REISIG: "Petri Nets: An Introduction". Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series 4, Springer 1985, ISBN 3-540-13723-8

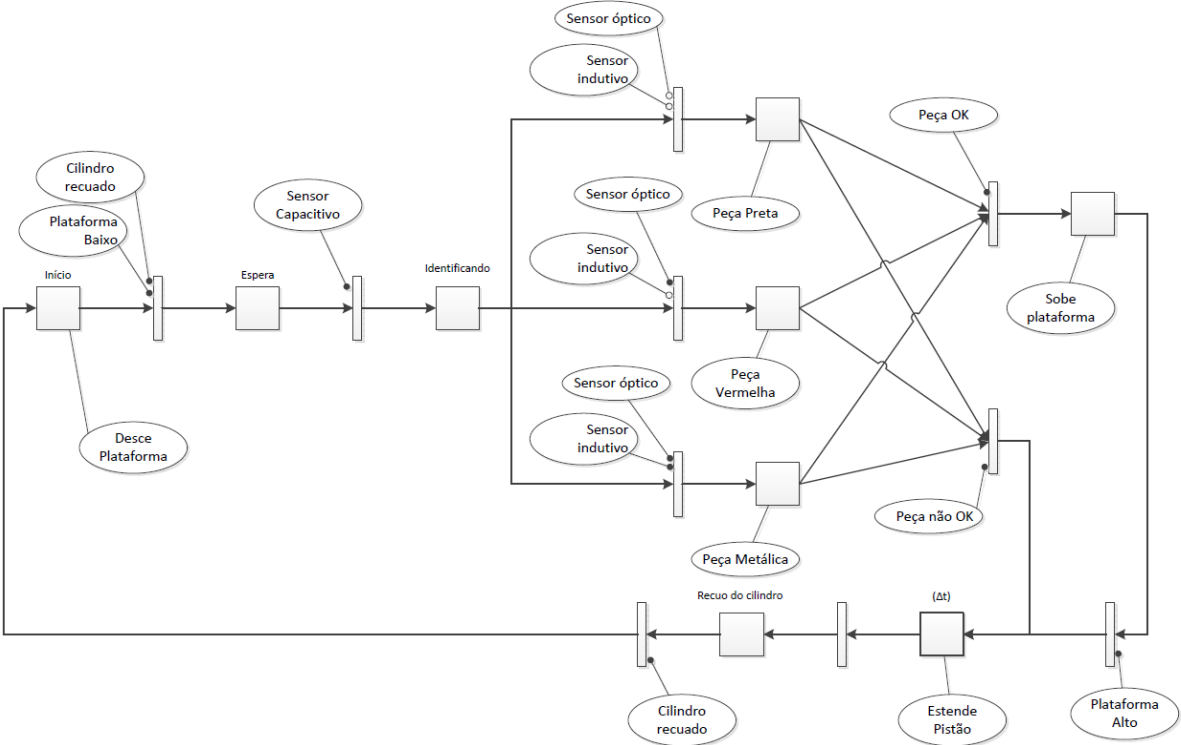
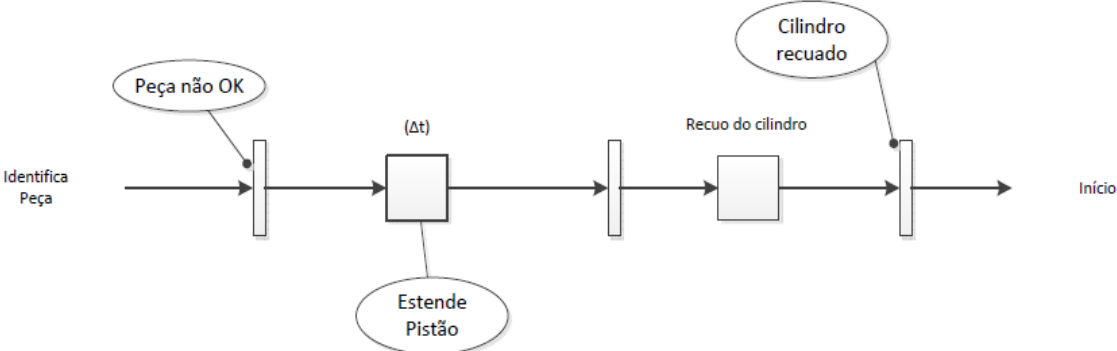
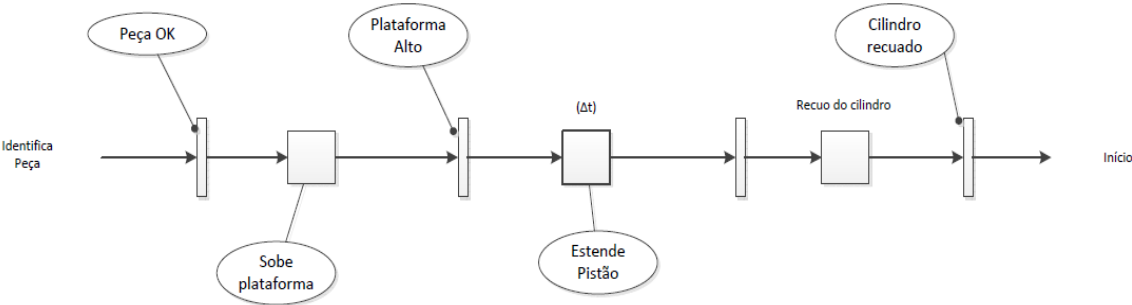
APÊNDICE A - MFG FÁBRICA 1



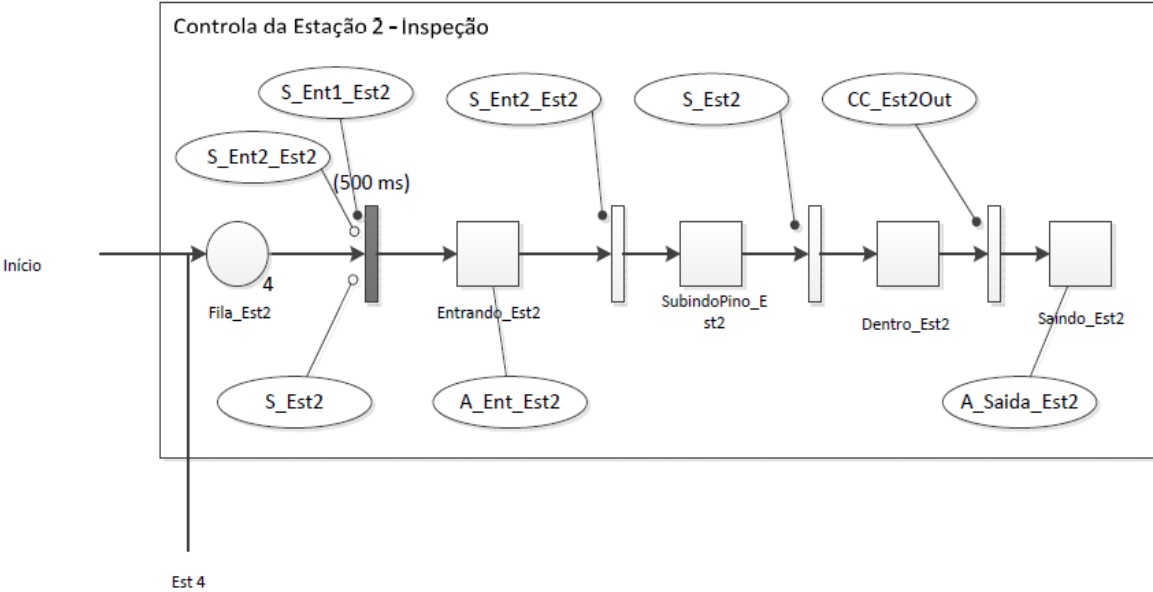
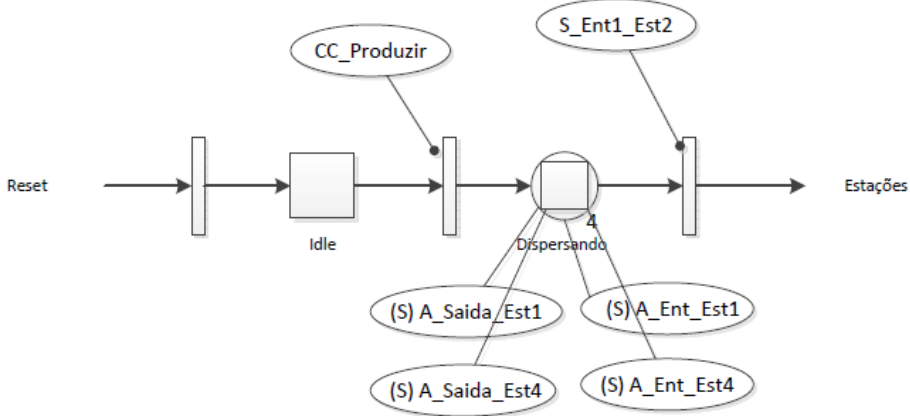


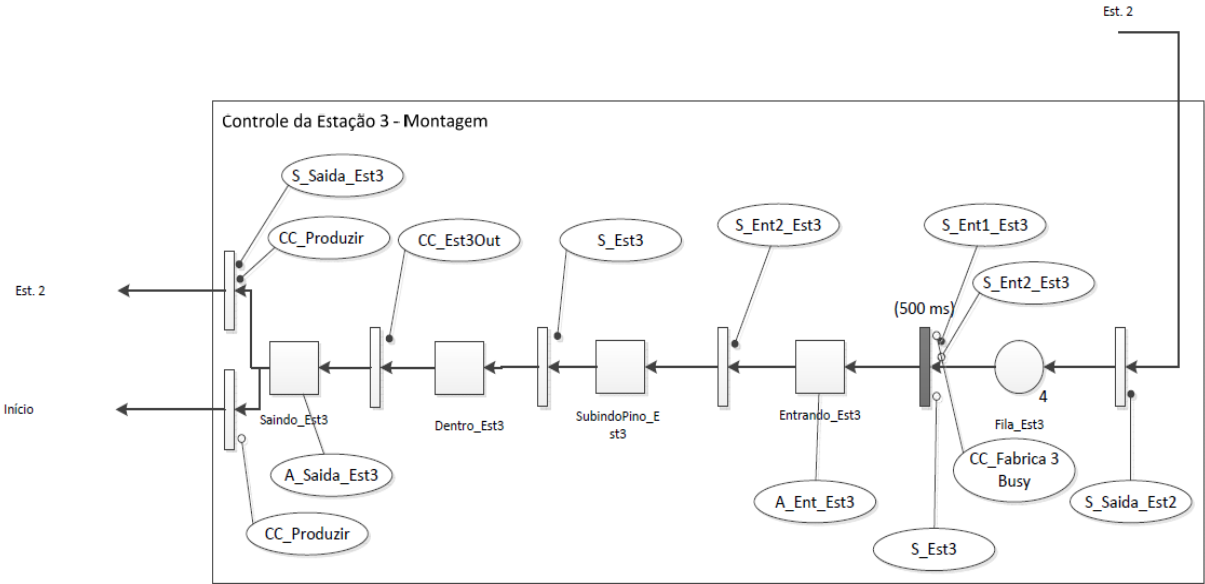
APÊNDICE B - MFG FÁBRICA 2



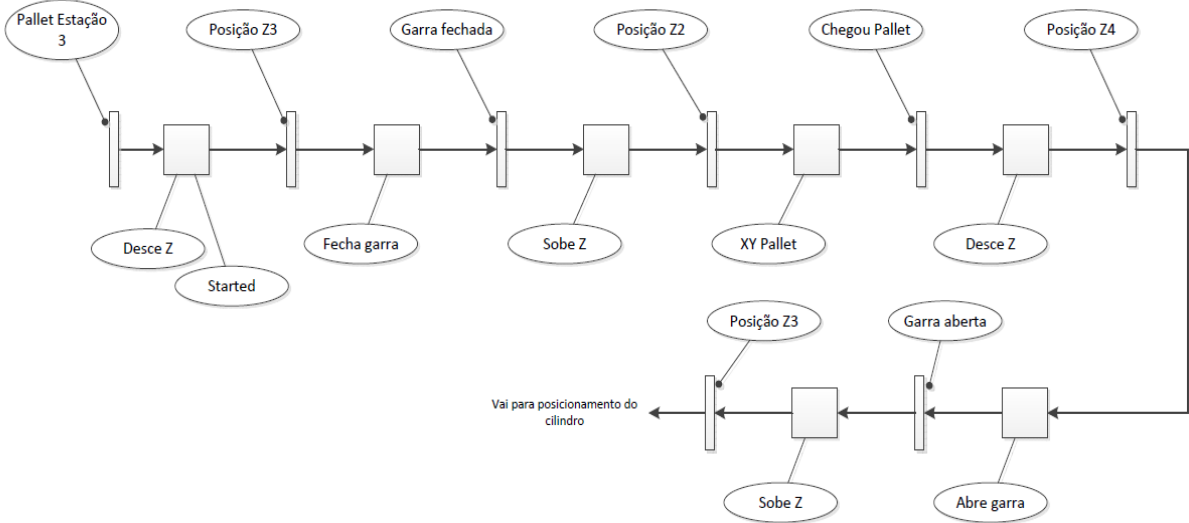
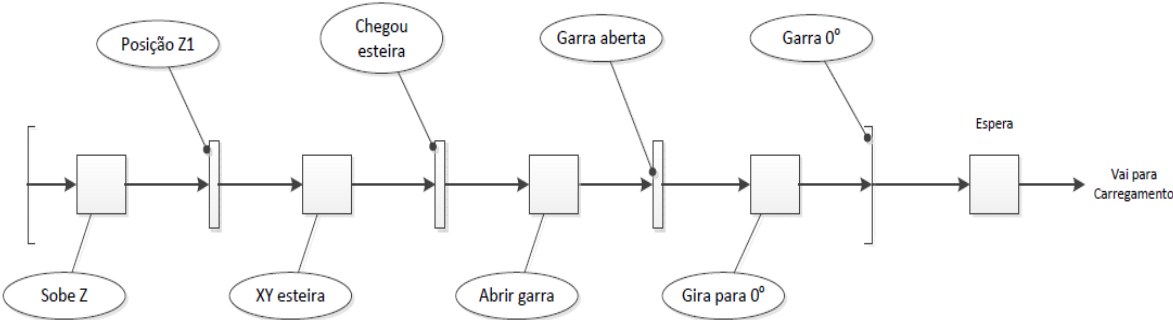


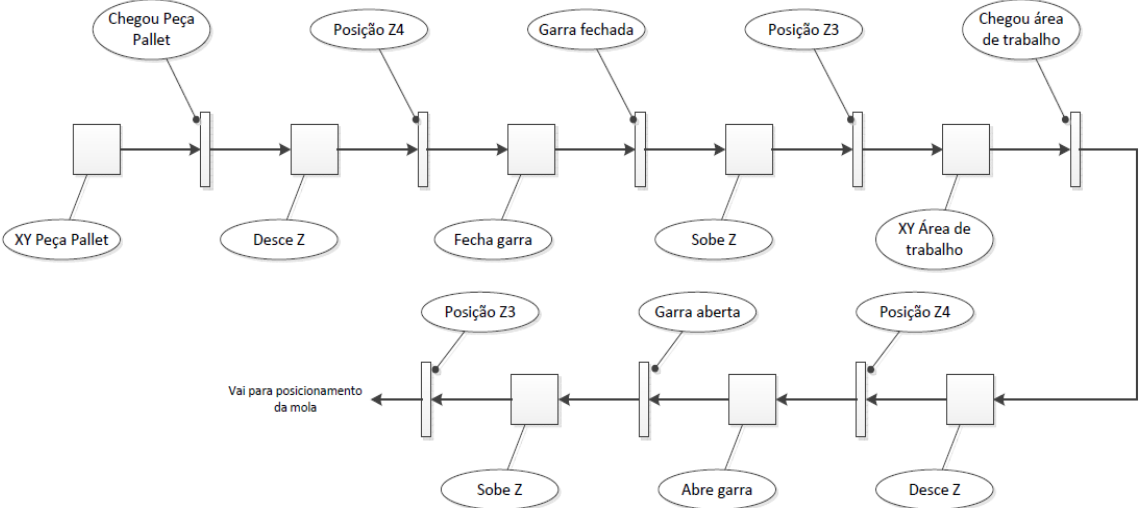
APÊNDICE C - MFG FÁBRICA 3

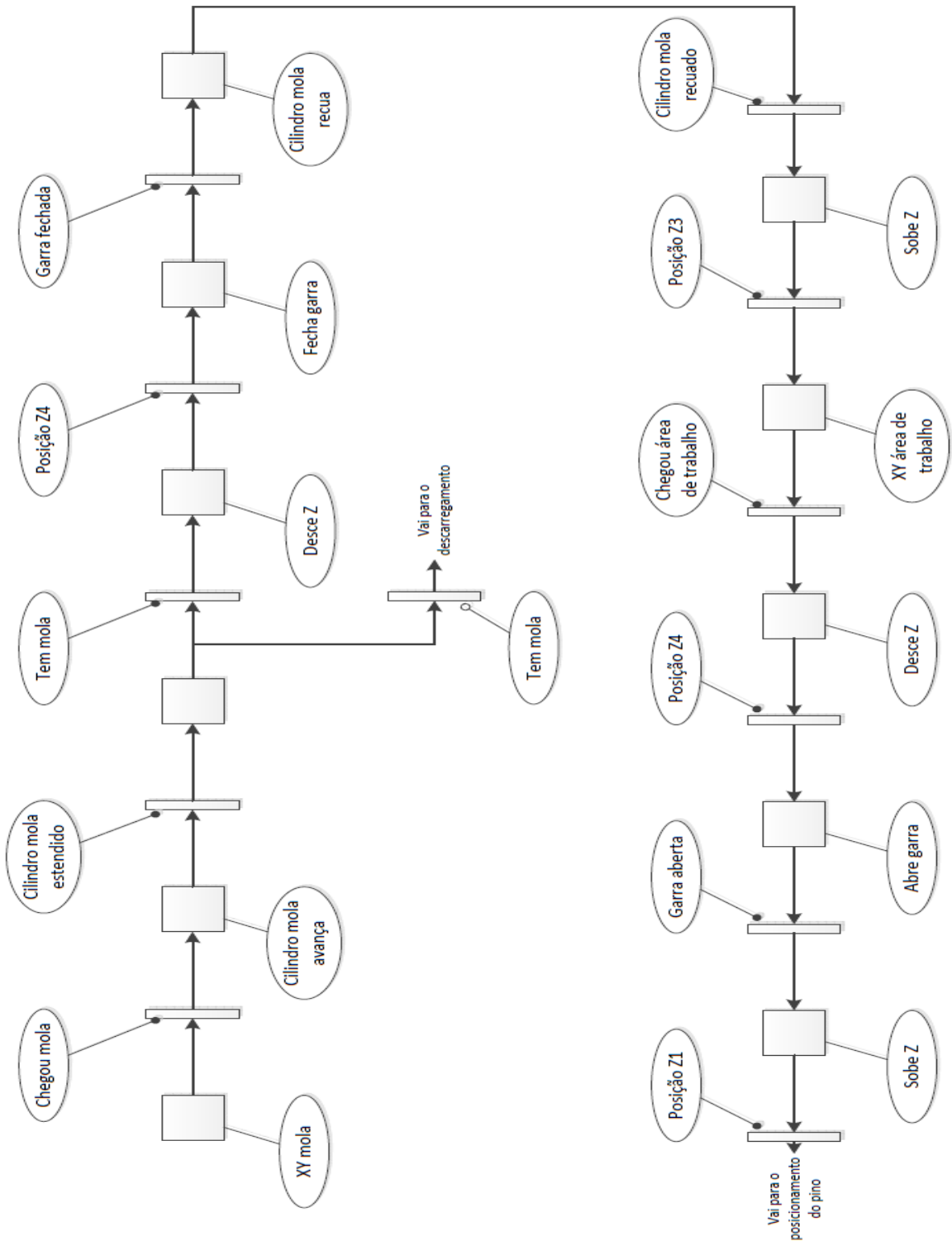




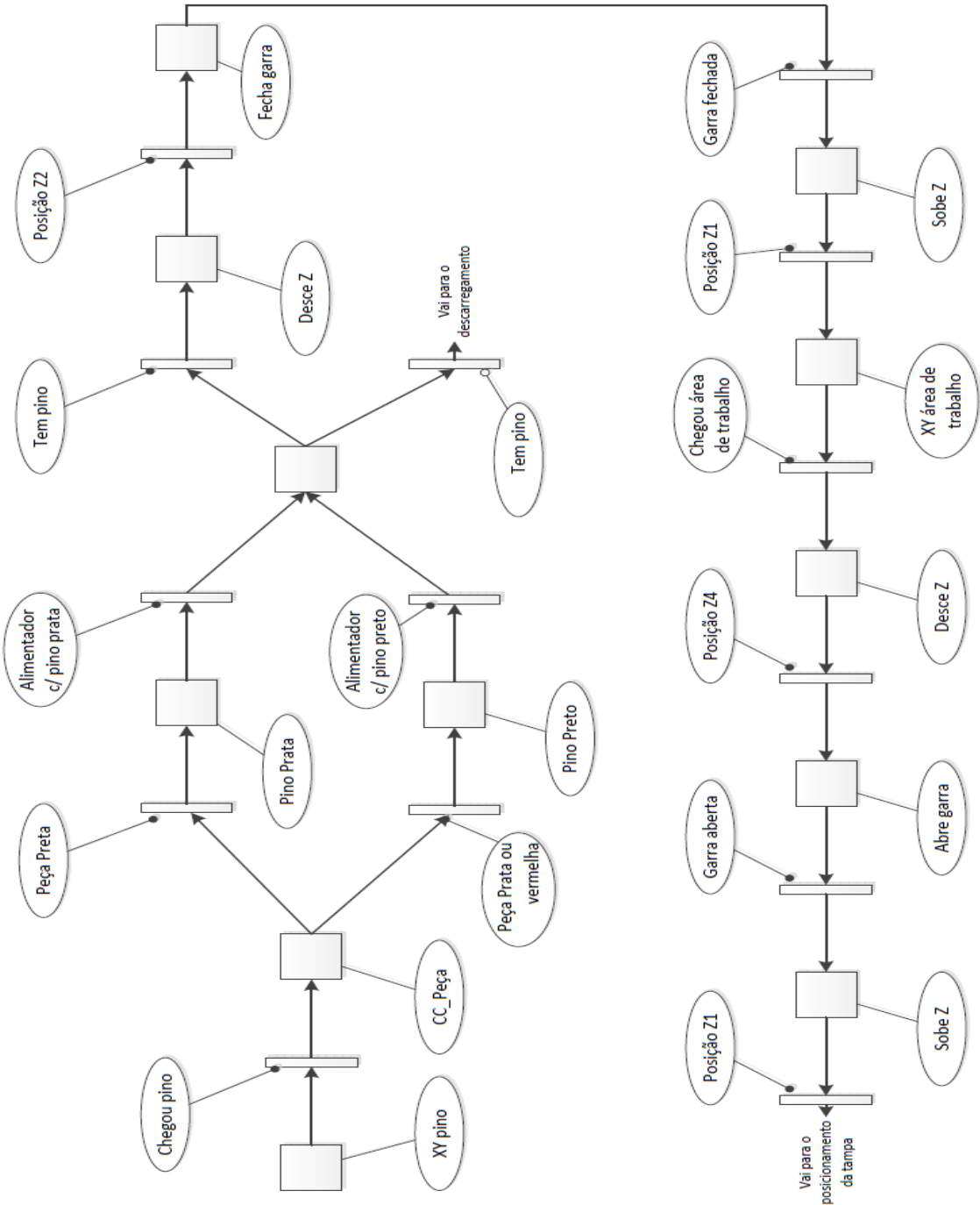
APÊNDICE D - MFG FÁBRICA 4

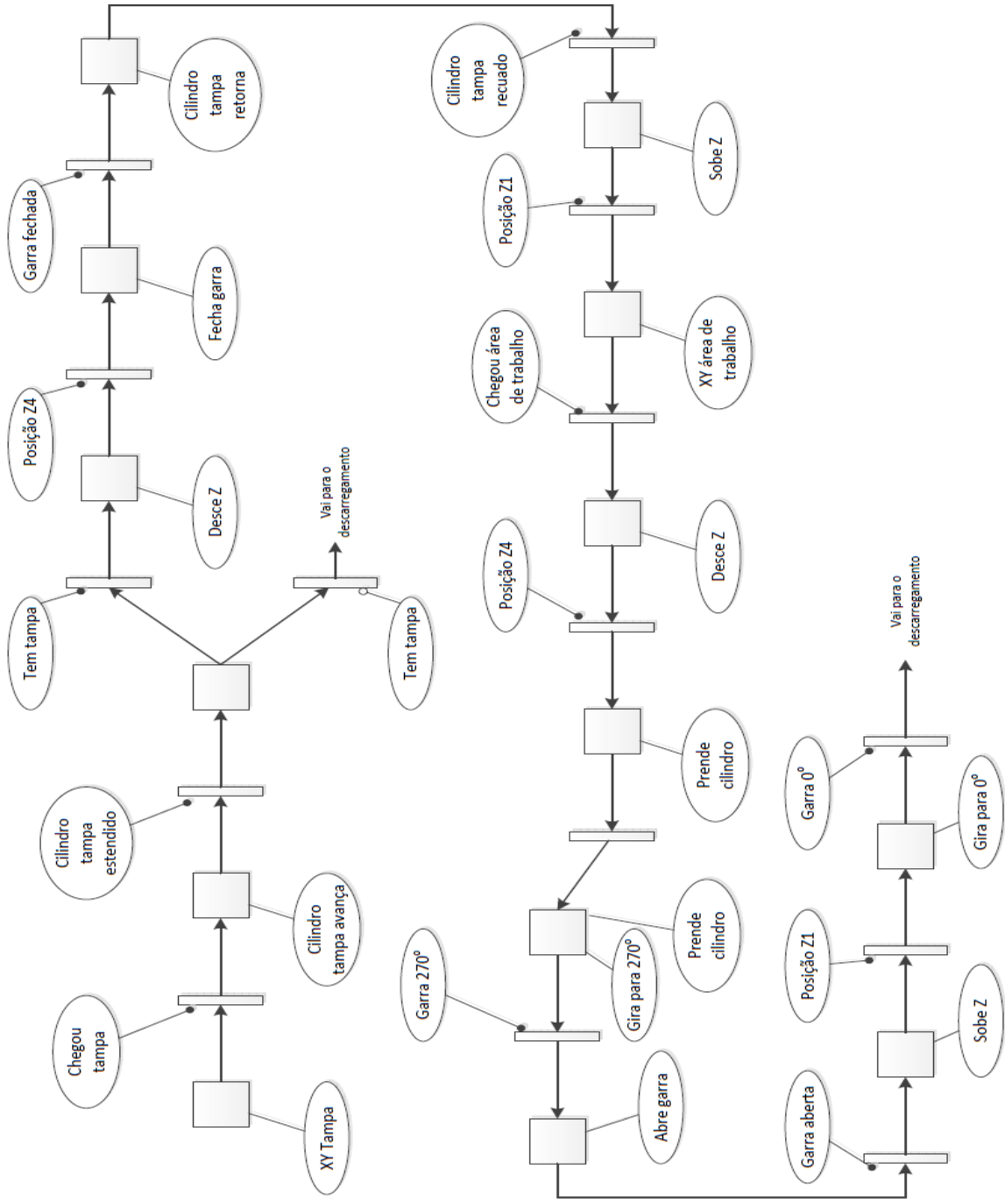






Críticos





APÊNDICE E - CÓDIGO DO CICLO DAS FÁBRICAS 1 E 2

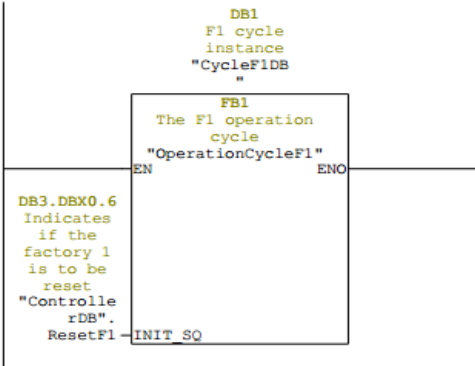
SIMATIC ProjetoTCC\ 10/03/2013 03:31:56 AM
 Factories 1 and 2\WinLC RTX\...\OB1 - <offline>

OB1 - <offline>
 "Main" Main cyclic program block
 Name: Main Family:
 Author: Version: 1.0
 Block version: 2
 Time stamp Code: 10/02/2013 11:29:39 PM
 Interface: 02/15/1996 04:51:12 PM
 Lengths (block/logic/data): 00284 00144 00026

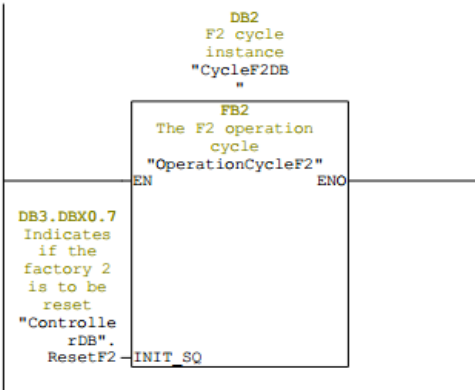
Name	Data Type	Address	Comment
TEMP		0.0	
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0	1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0	1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0	Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0	Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0	Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB1 started

Block: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"
 F1 and F2 main cycle

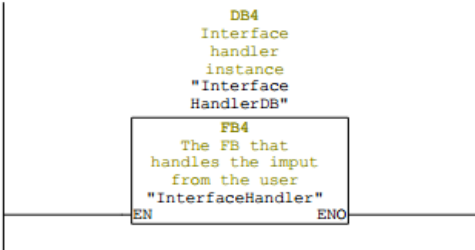
Network: 1 Factory 1 Cycle
 Call to the FB where the F1 cycle is programmed



Network: 2 Factory 2 Cycle
Call to the FB where the F2 cycle is programmed



Network: 3 Interface Handler
Call to the FB that handles the input from the user



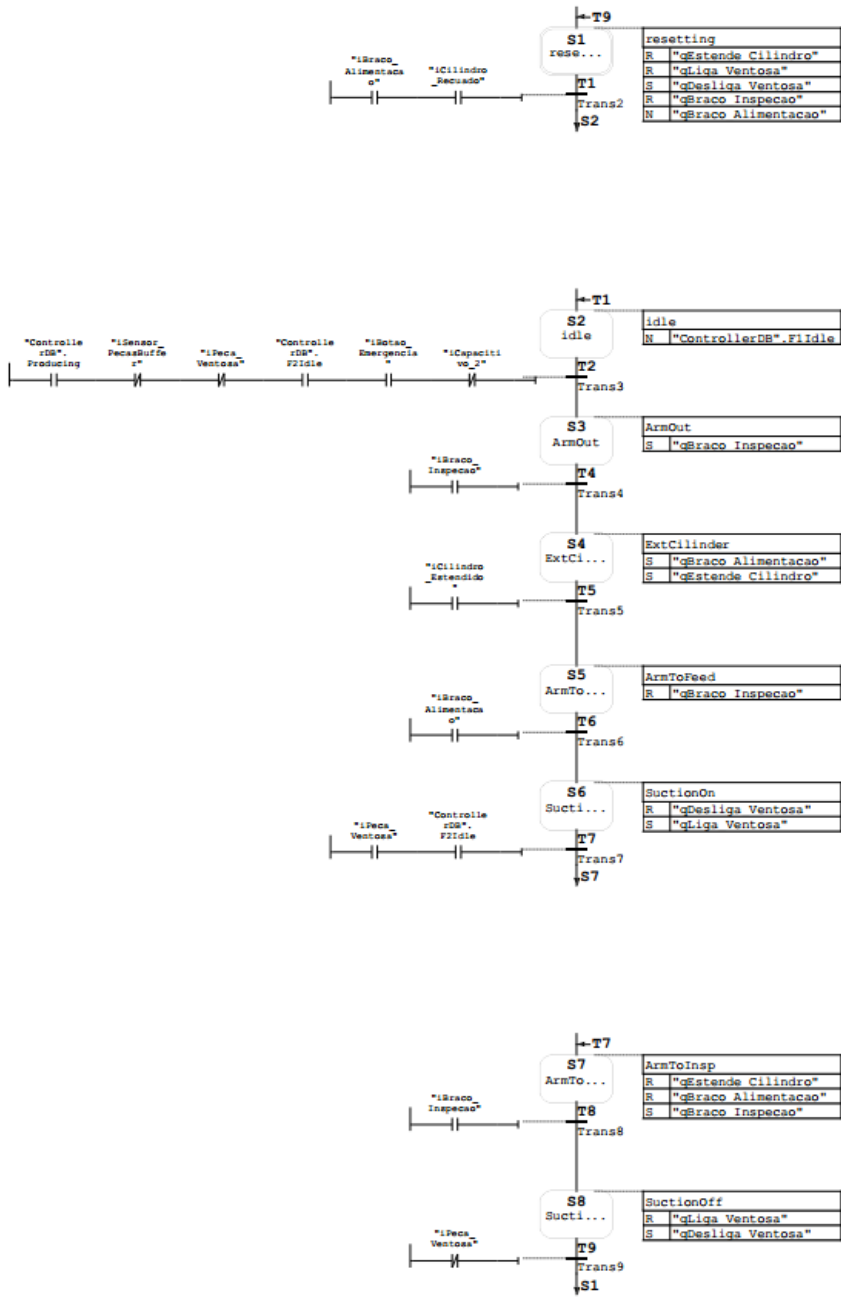
APÊNDICE F - CÓDIGO DA FÁBRICA 1

SIMATIC

ProjetoTCC\Factories
1 and 2\WinLC RTX\...\FB1, DB1 - <Offline>

10/03/2013 03:32:11 AM

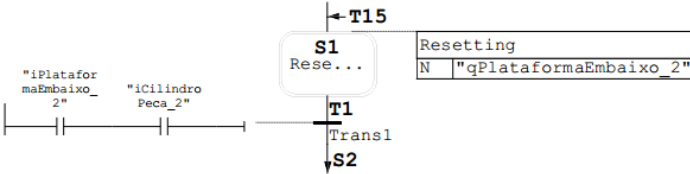
Factory 1



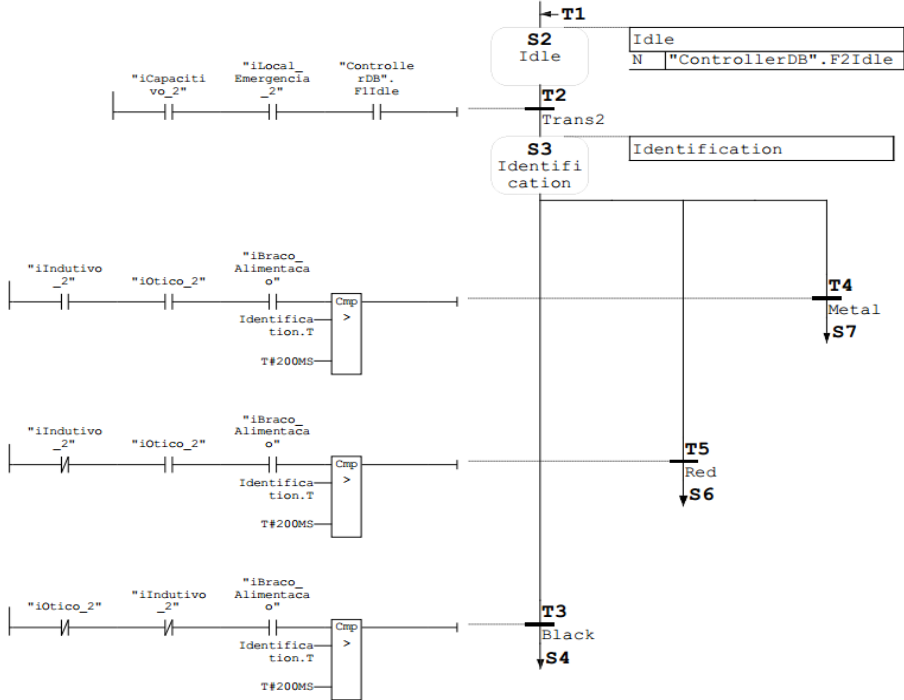
APÊNDICE G - CÓDIGO DA FÁBRICA 2

ProjetoTCC\Factories 1 and 2\WinLC RTX\...\FB2, DB2 - <Offl

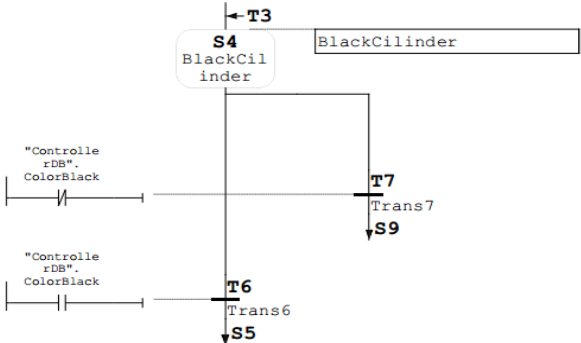
Factory 2



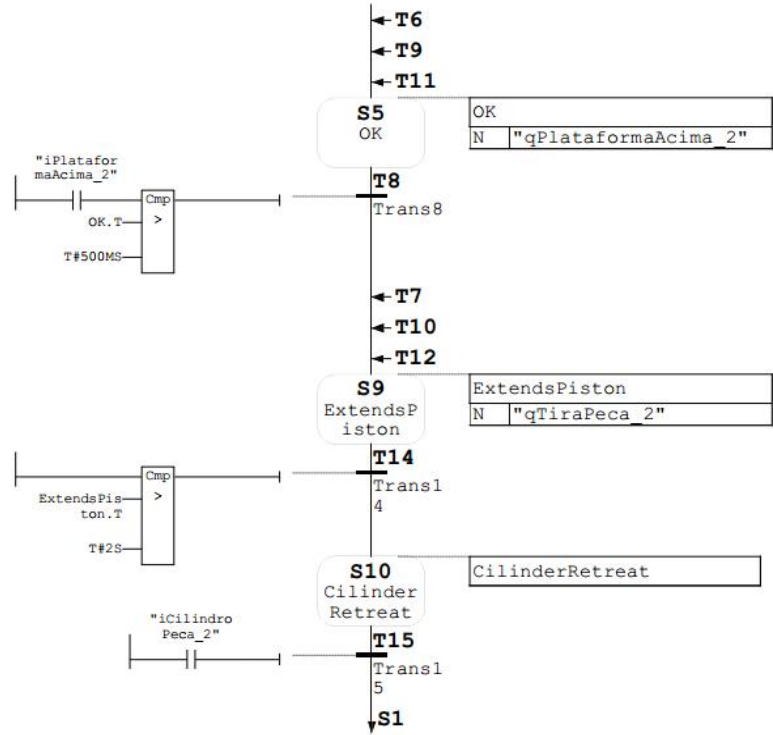
Factory 2



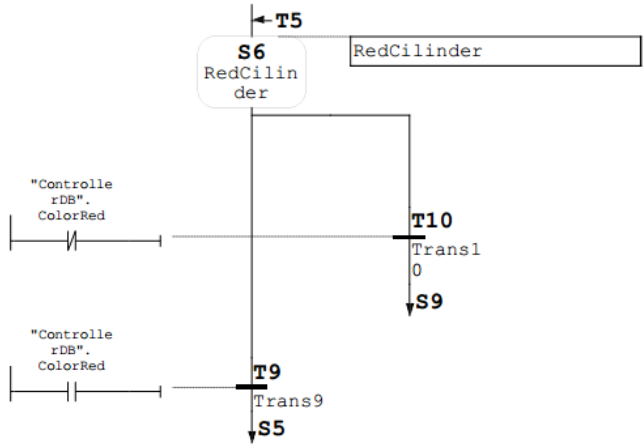
Factory 2



Factory 2

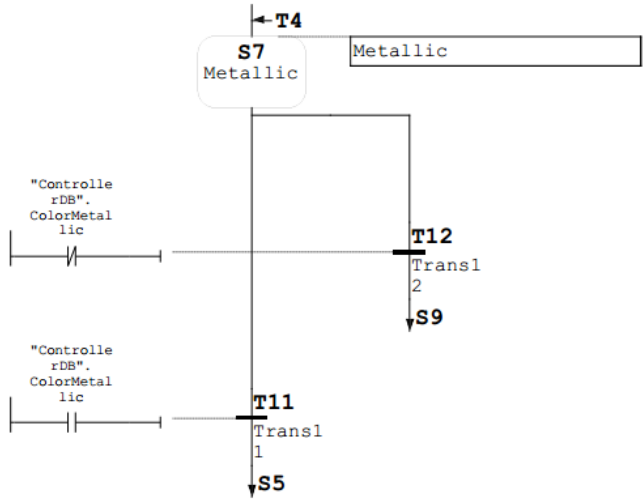


Factory 2



ProjetoTCC\Factories 1 and 2\WinLC RTX\...\FB2, DB2 - <Offl

Factory 2



APÊNDICE H - CÓDIGO DO CICLO DAS FÁBRICAS 3 E 4

SIMATIC ProjetoTCC\ 10/03/2013 03:19:21 AM
factories 3 e 4\CPU 315\...\OB1 - <offline>

OB1 - <offline>
"Main" Main control cycle
Name: Family:
Author: Version: 0.1
Block version: 2
Time stamp Code: 10/03/2013 03:09:57 AM
Interface: 02/15/1996 04:51:12 PM
Lengths (block/logic/data): 00240 00122 00026

Name	Data Type	Address	Comment
TEMP		0.0	
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0	1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0	1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0	Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0	Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0	Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB1 started

Block: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"

Network: 1 ASi Sensors Reading Routine
This function reads the sensors on the ASi network and write their status to the internal memory of the CLP

```

FC11
Mapeamen
to dos
sensores
na
memoria
interna
"fcLeitu
ra"
EN      ENO

```

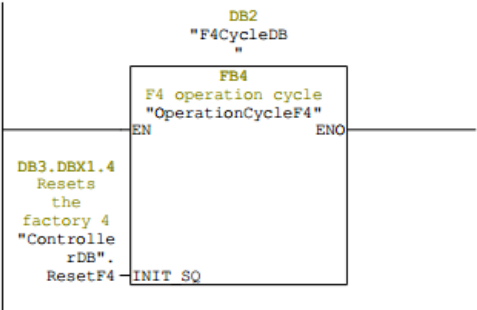
Network: 2 F3 Operation Cycle
Call to the F3 operation cycle FB

```

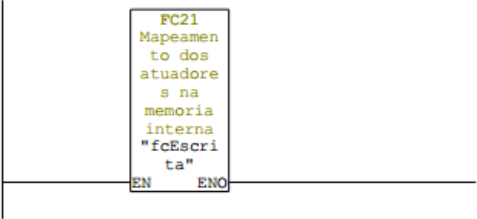
DB1
"F3CycleDB"
"
FB3
F3 operation cycle
"OperationCycleF3"
EN      ENO

```

Network: 3 F4 Operation Cycle
Call to the F4 operation cycle FB



Network: 4 ASi Actuator Writing Routine
This function writes the values from the internal memory of the CLP into the actuators on the ASi network



APÊNDICE I - CÓDIGO DA FÁBRICA 3

SIMATIC

ProjetoTCC\
factories 3 e 4\CPU 315\...\FB3 - <offline>

10/03/2013 03:19:59 AM

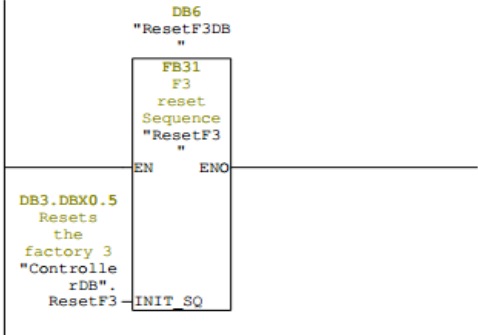
FB3 - <offline>

"OperationCycleF3" F3 operation cycle
Name: Family:
Author: Version: 0.1
Block version: 2
Time stamp Code: 10/03/2013 12:56:51 AM
Interface: 10/03/2013 12:56:51 AM
Lengths (block/logic/data): 00286 00184 00006

Name	Data Type	Address	Initial Value	Comment
IN		0.0		
OUT		0.0		
IN_OUT		0.0		
STAT		0.0		
TEMP		0.0		

Block: FB3

Network: 1 Reset F3
Call to the F3 Reset sequence FB

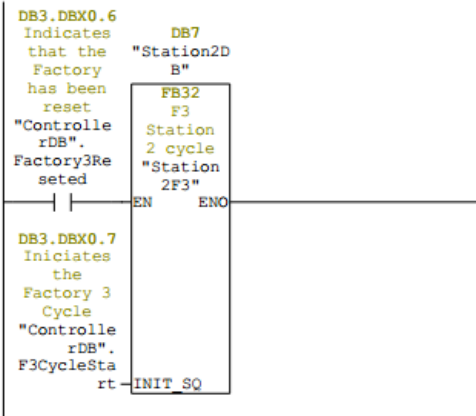


SIMATIC

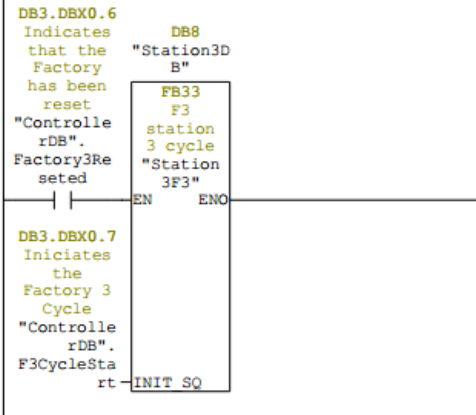
ProjetoTCC\
factories 3 e 4\CPU 315\...\FB3 - <offline>

10/03/2013 03:19:59 AM

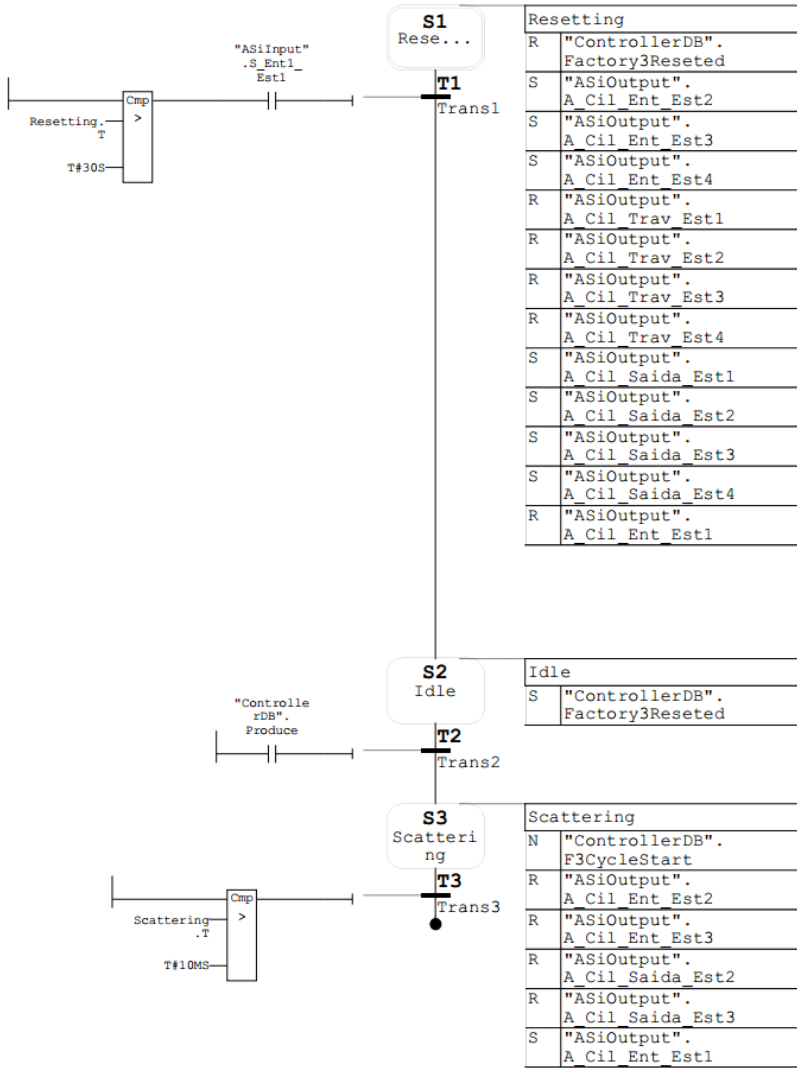
Network: 2 Station 2 Cycle
Call to the station 2 cycles FB



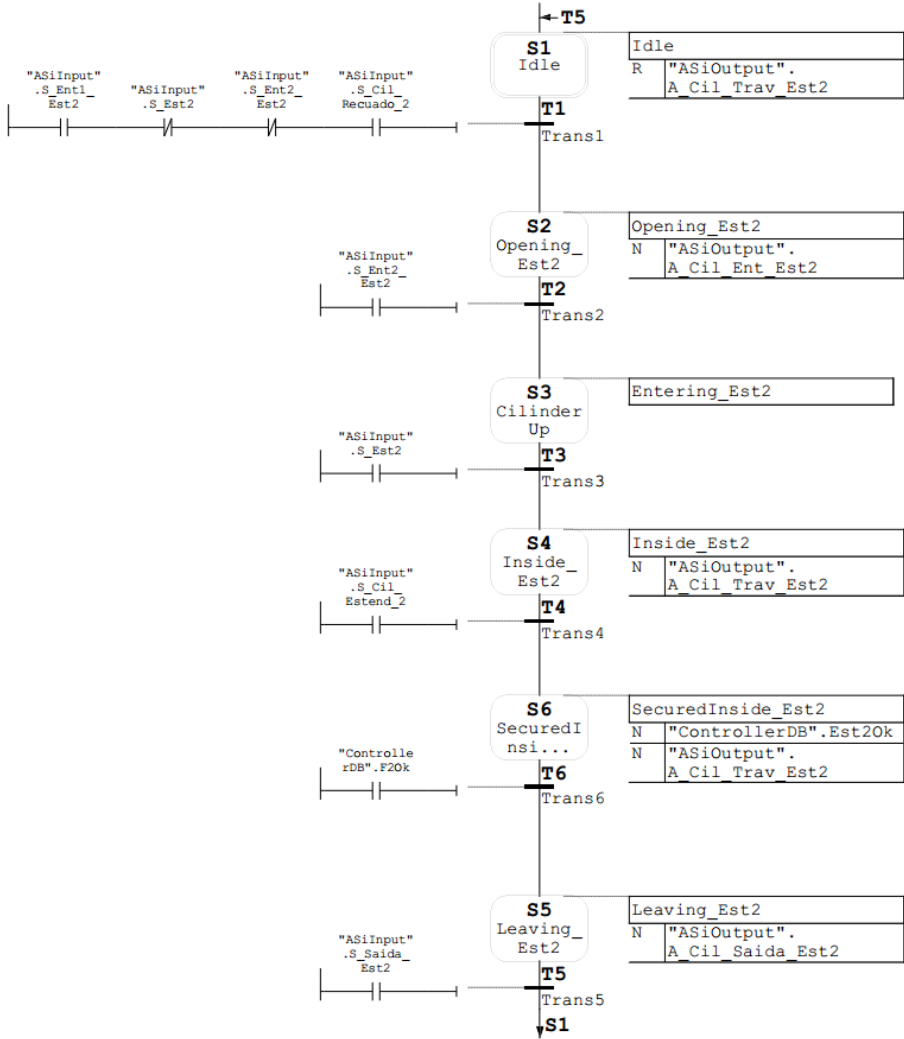
Network: 3 Station 3 Cycle
Call to the station 3 cycles FB



Reset Sequence

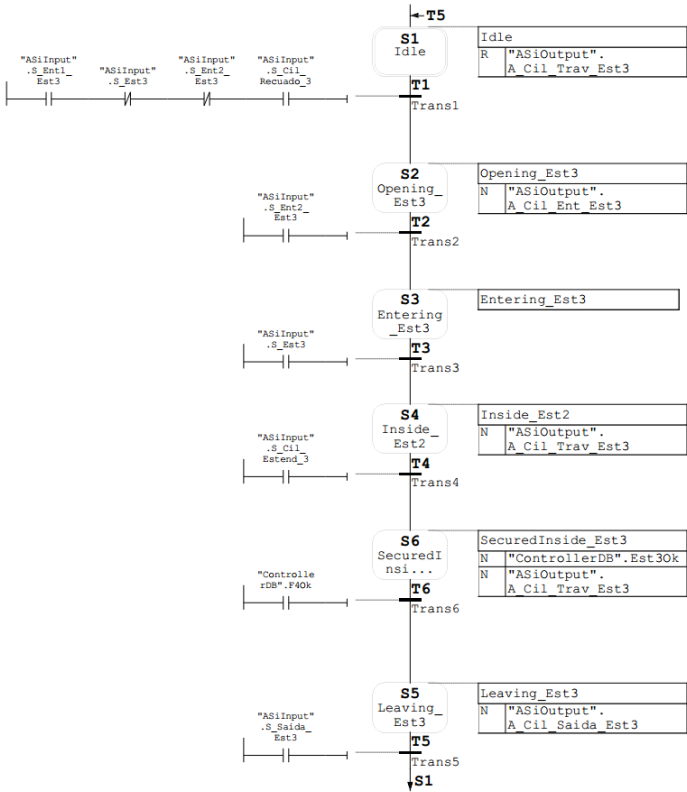


Station 2



ProjetoTCC\factories 3 e 4\CPU 315\...\FB33, DB33 - <Offline>

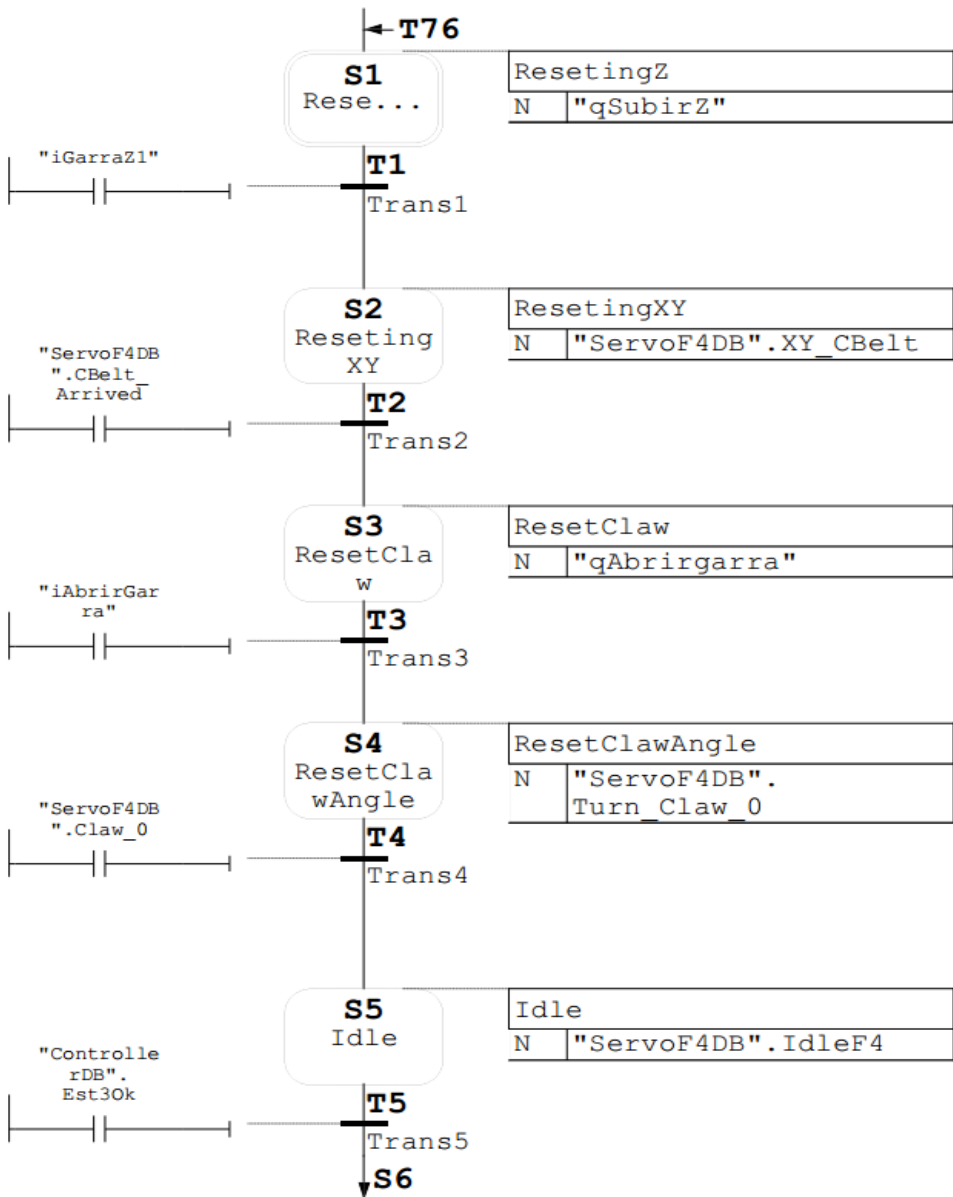
Station 3



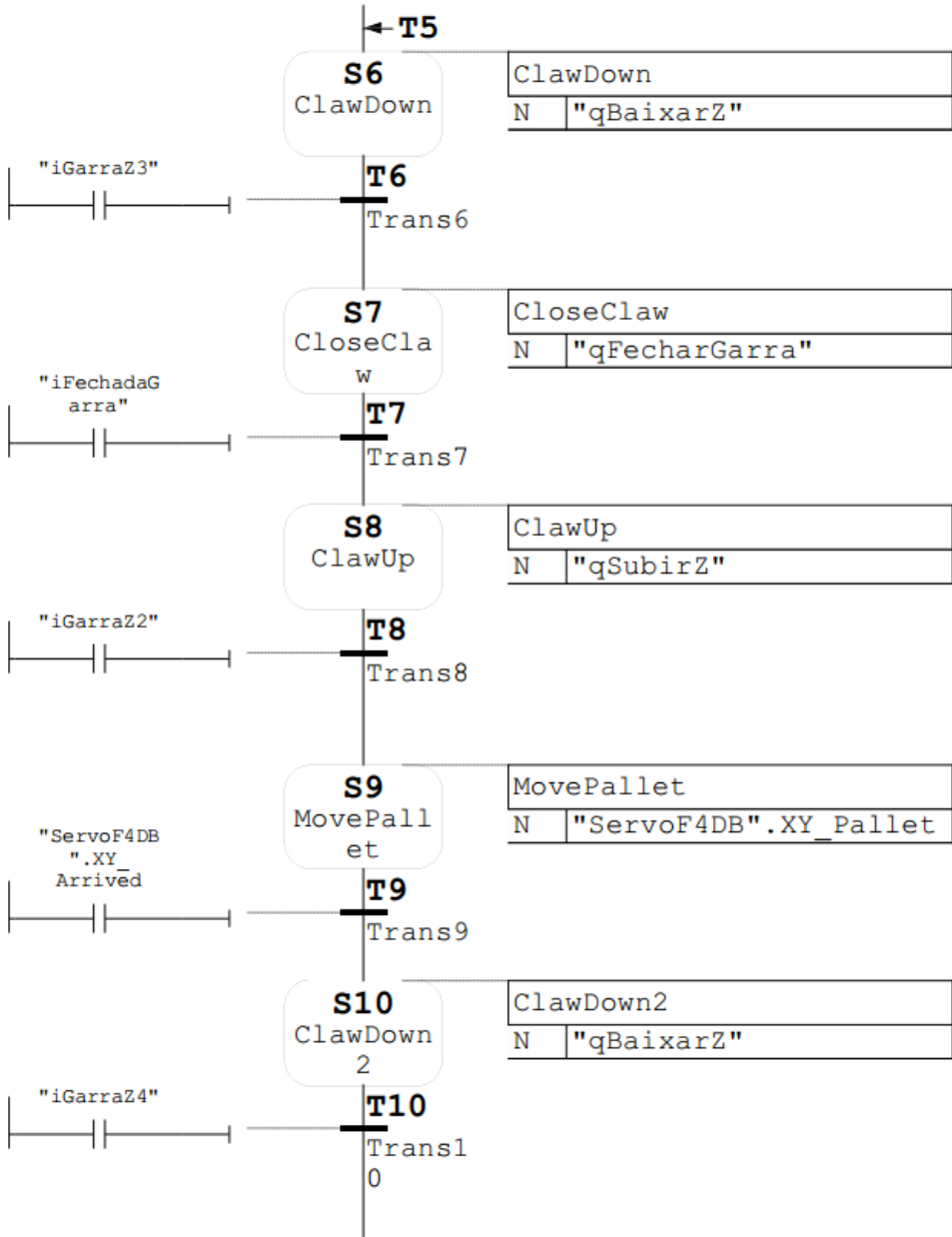
APÊNDICE J - CÓDIGO DA FÁBRICA 4

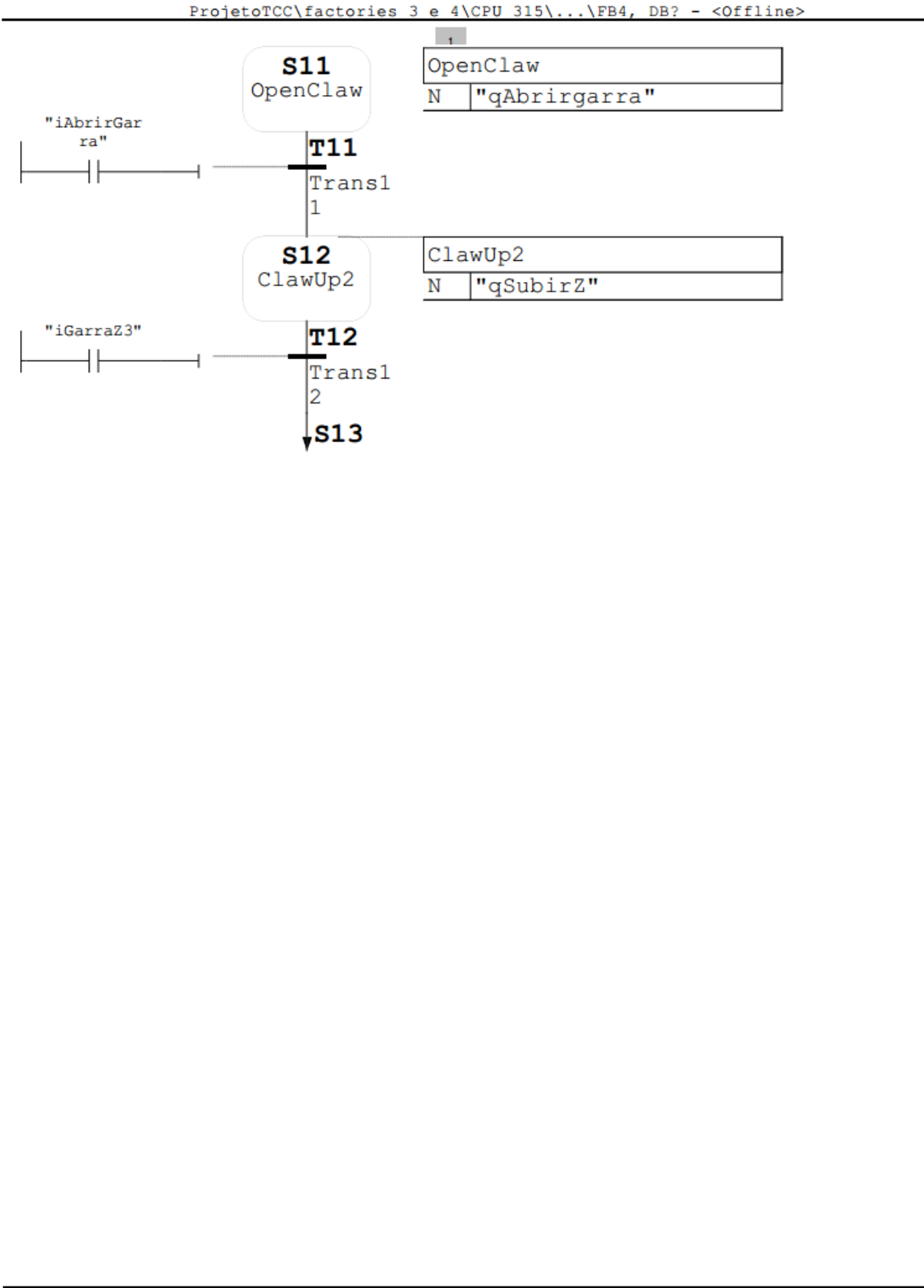
ProjetoTCC\factories 3 e 4\CPU 315\...\FB4, DB? - <Offline>

Factory 4

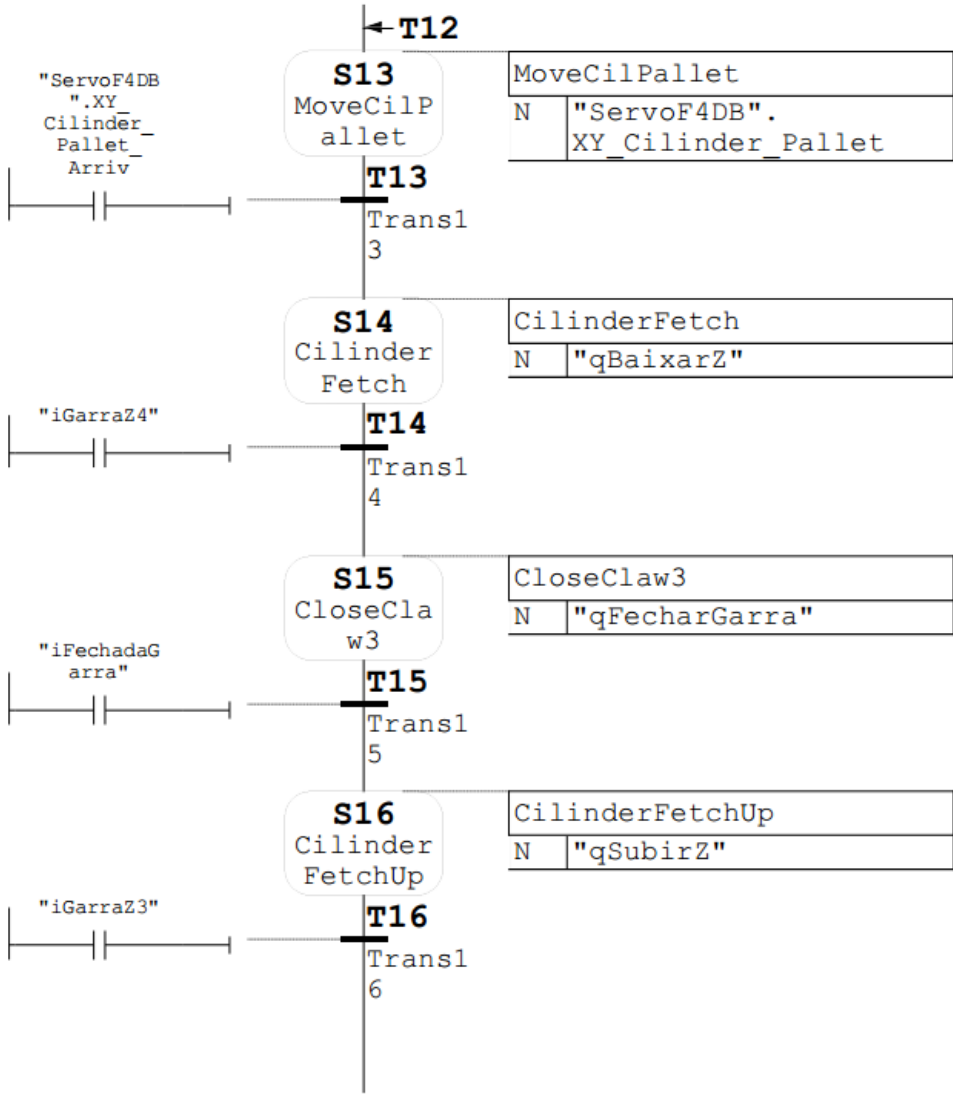


Factory 4

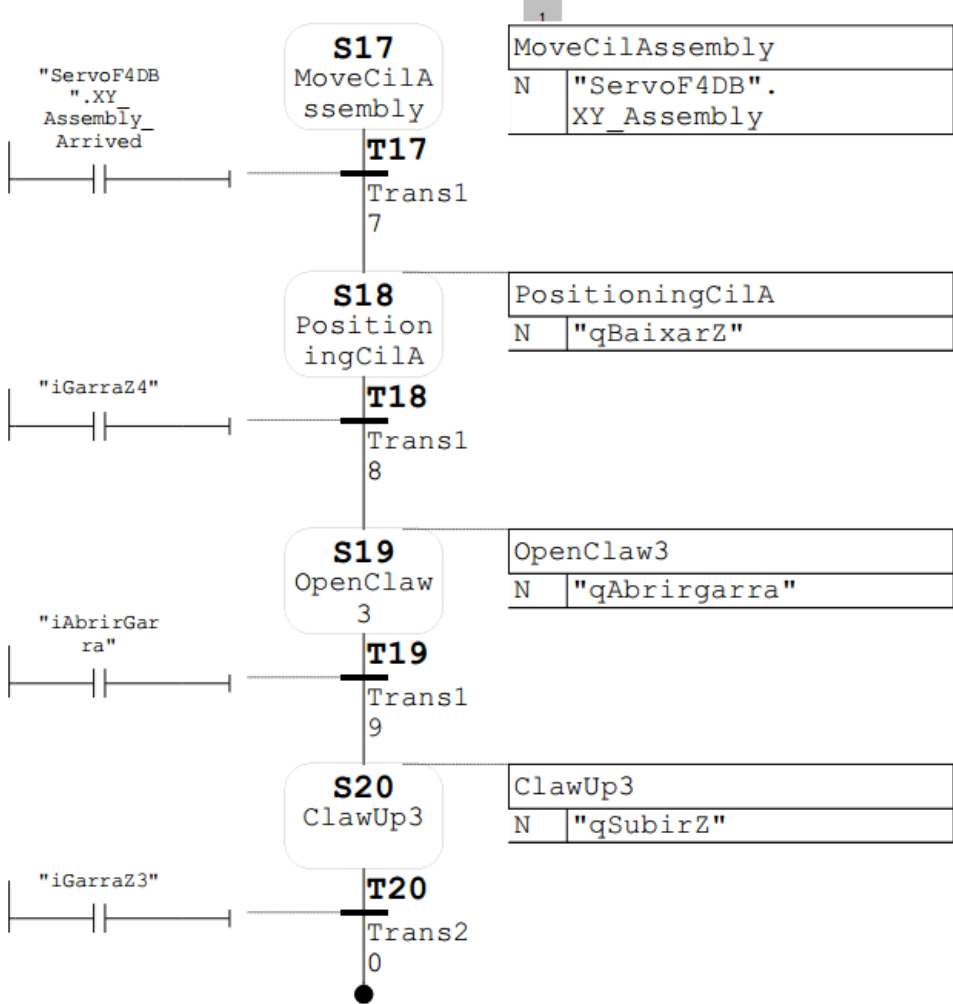




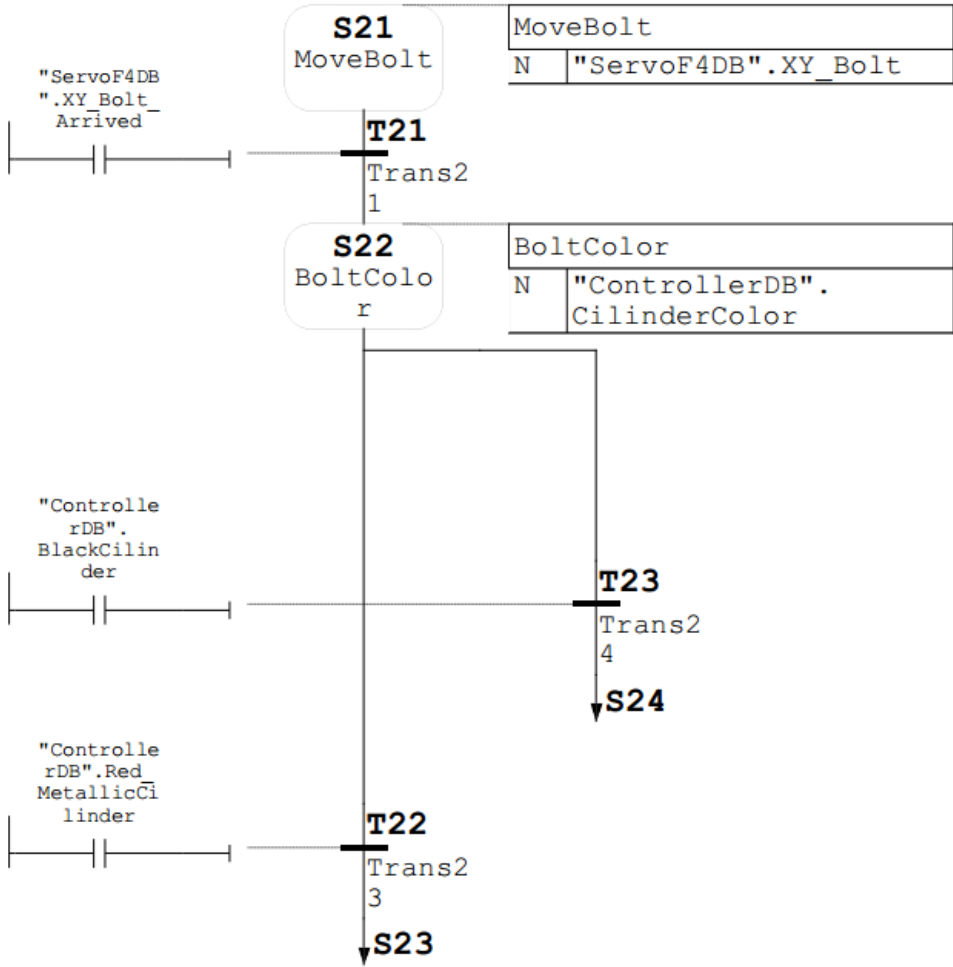
Factory 4



ProjetoTCC\factories 3 e 4\CPU 315\...\FB4, DB? - <Offline>

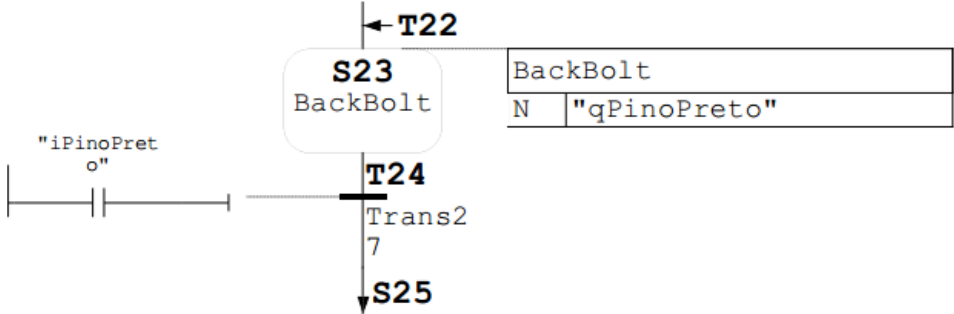


Factory 4



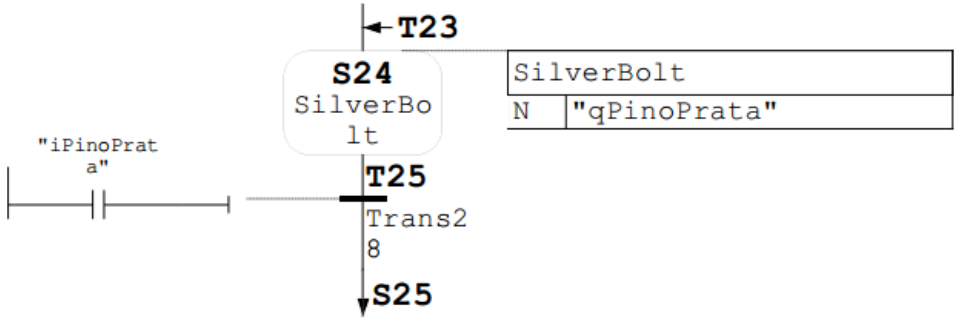
ProjetoTCC\factories 3 e 4\CPU 315\...\FB4, DB? - <Offline>

Factory 4

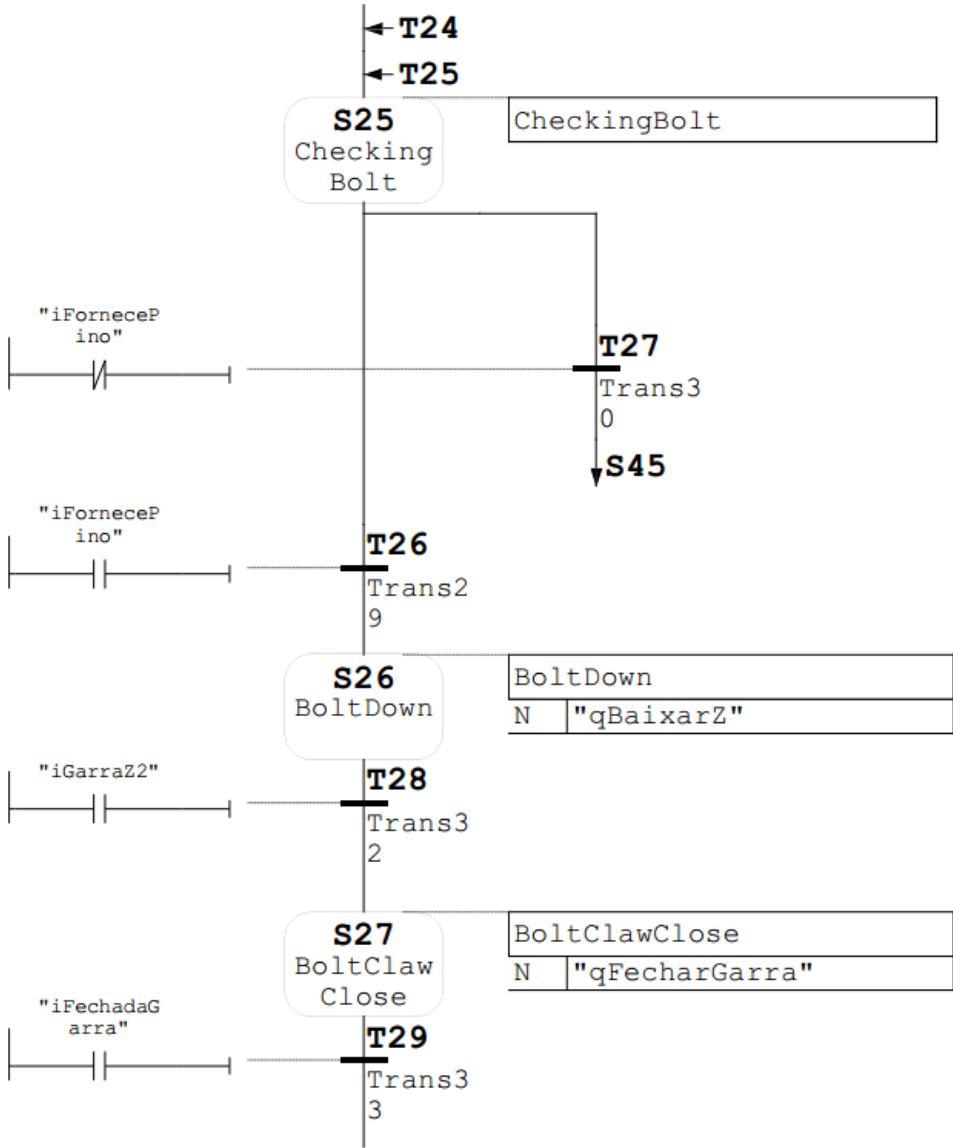


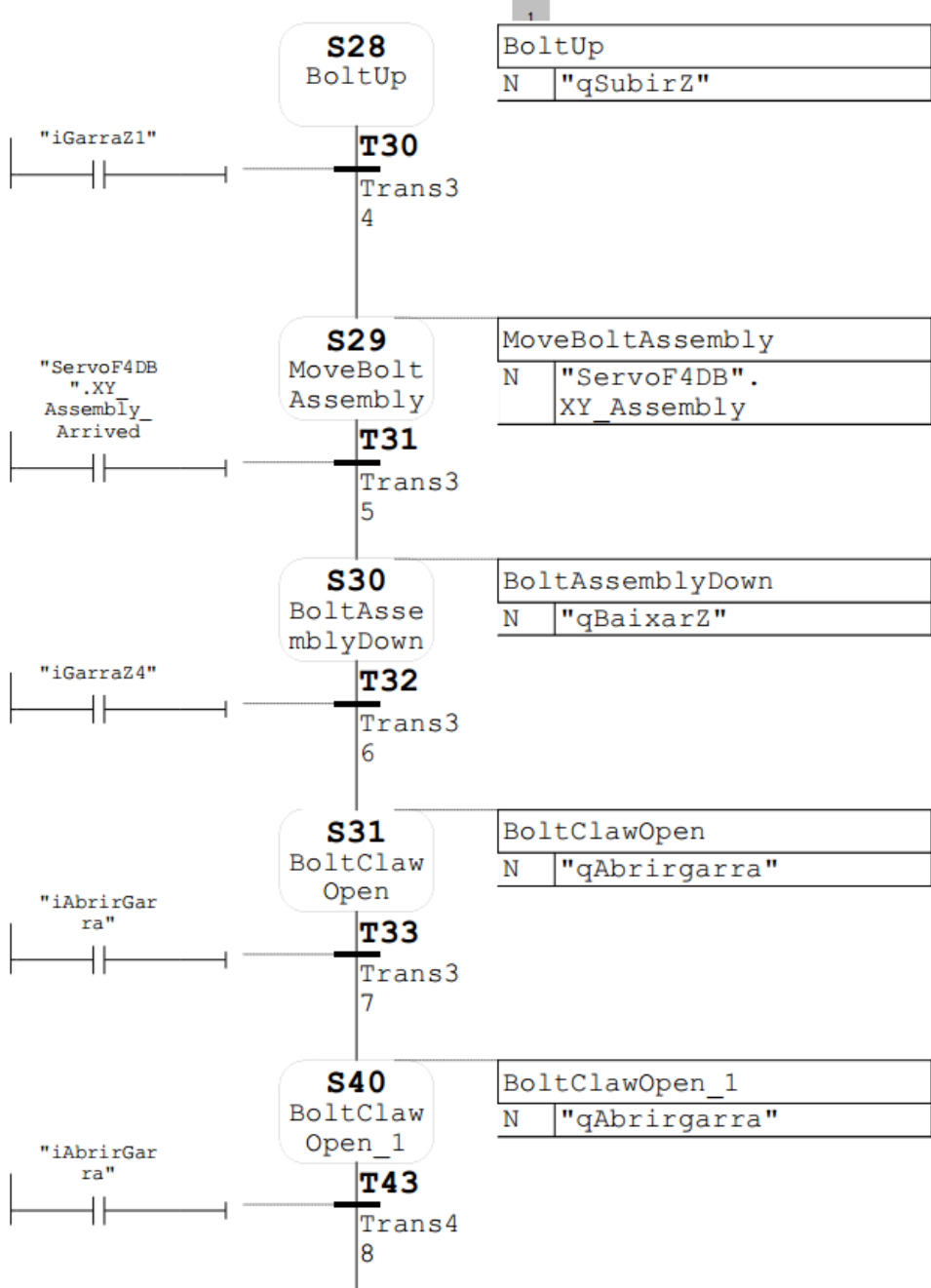
ProjetoTCC\factories 3 e 4\CPU 315\...\FB4, DB? - <Offline>

Factory 4

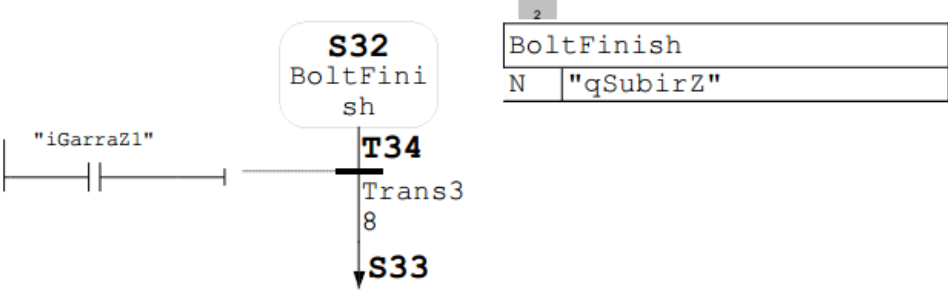


Factory 4

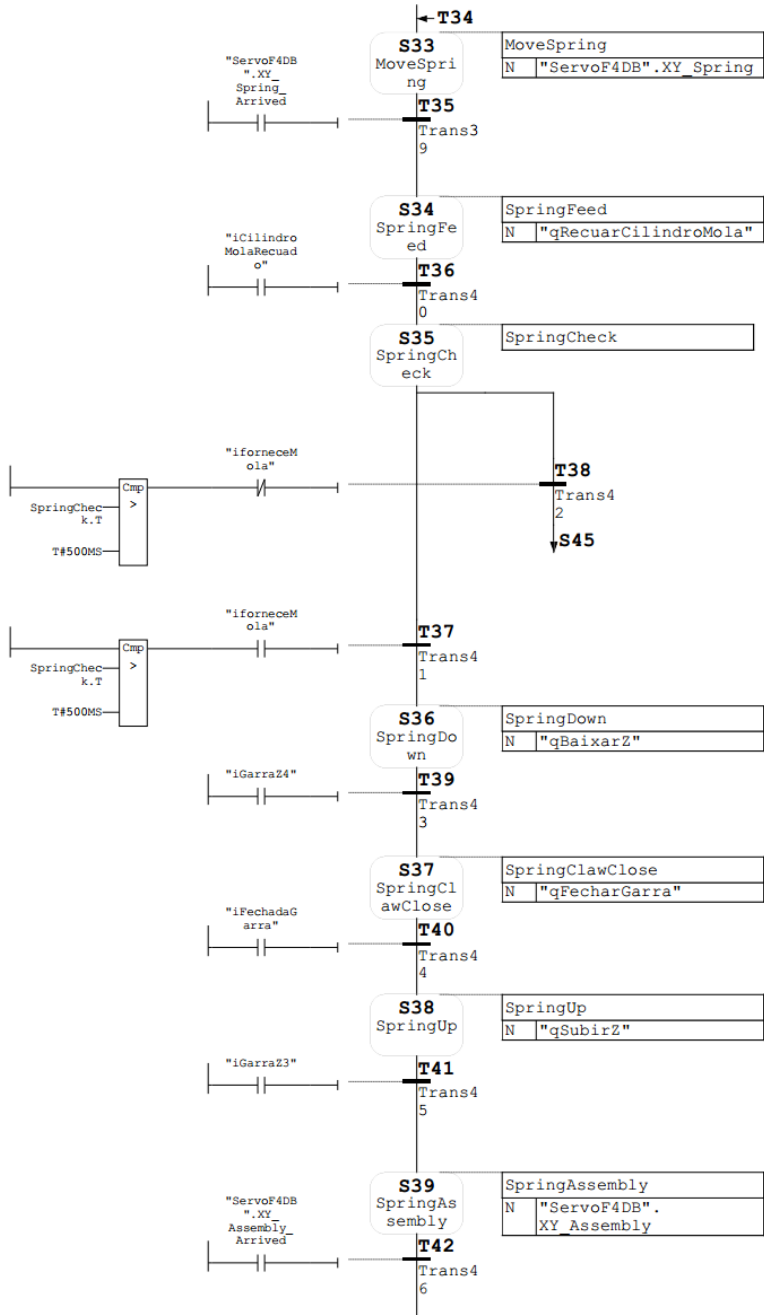




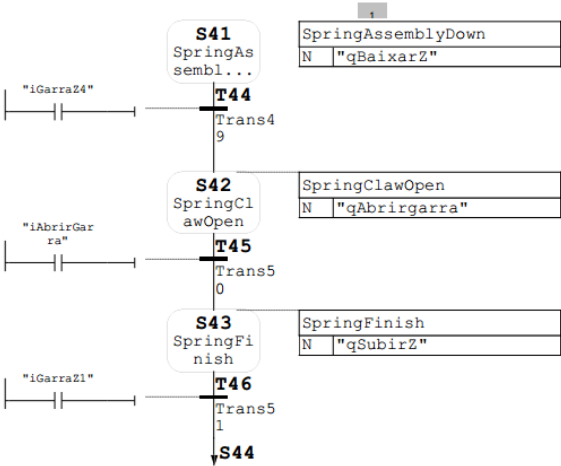
ProjetoTCC\factories 3 e 4\CPU 315\...\FB4, DB? - <Offline>



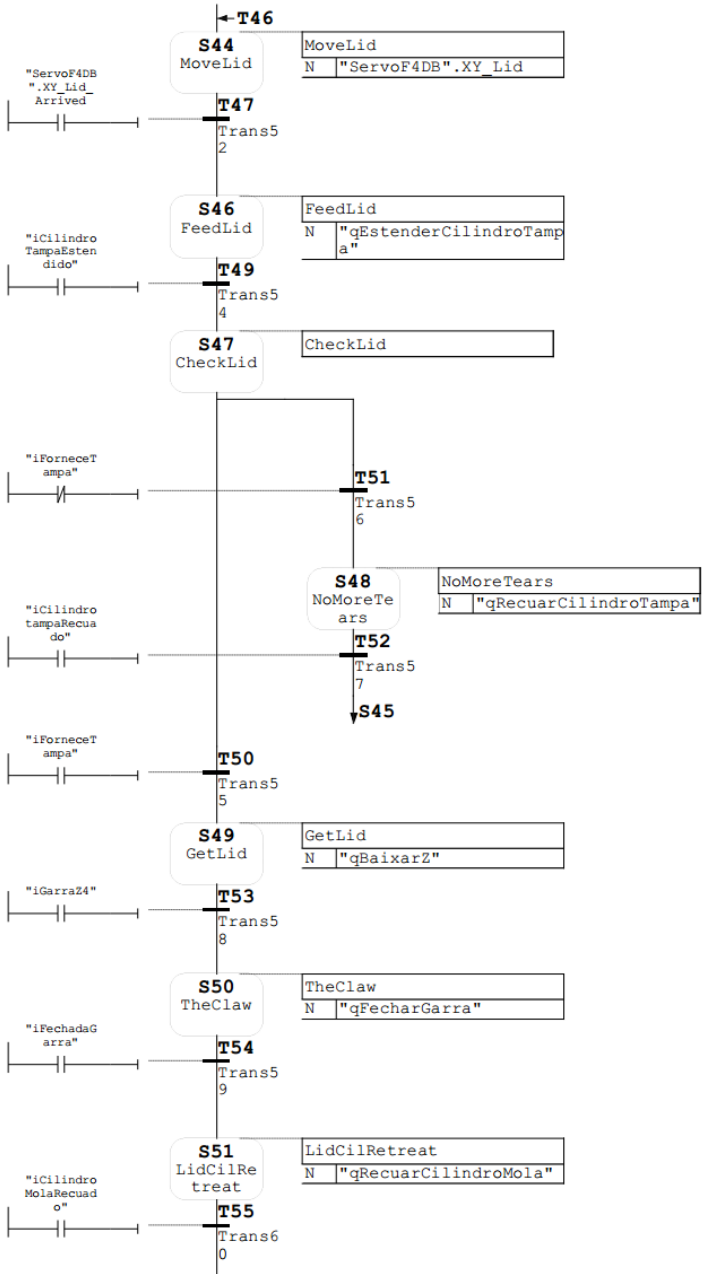
Factory 4

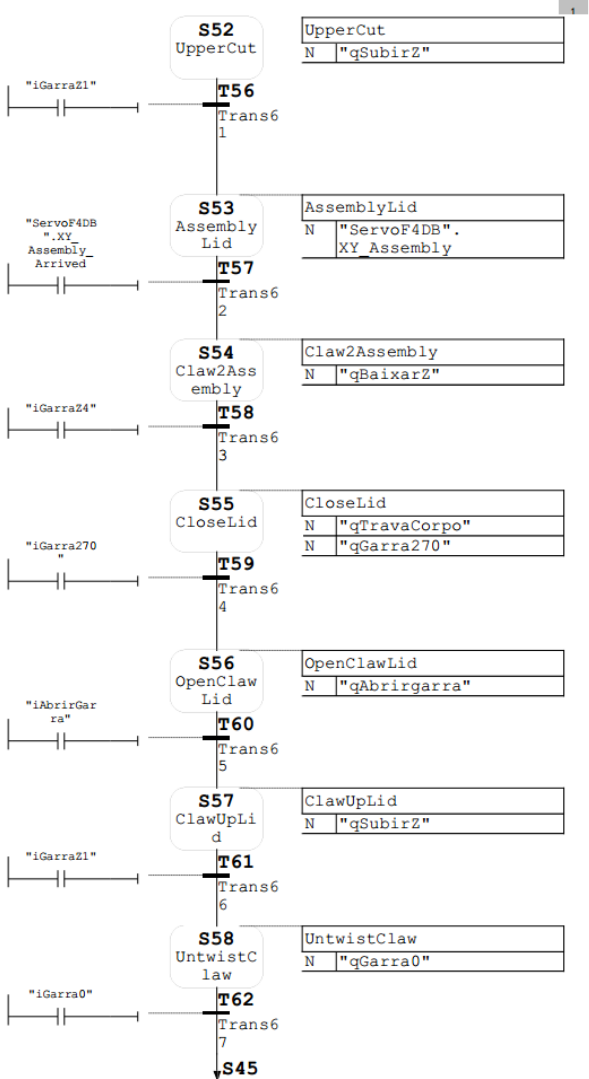


ProjetoTCC\factories 3 e 4\CPU 315\...\FB4, DB? - <Offline>



Factory 4





APÊNDICE K- CÓDIGO DO SIS

Totally Integrated Automation Portal																																																																										
<p>CYC_INT5 [OB35]</p> <p>CYC_INT5 Properties</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; background-color: #f2f2f2;"> <thead> <tr> <th colspan="6">General</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 15%;">Name</td> <td style="width: 25%;">CYC_INT5</td> <td style="width: 15%;">Number</td> <td style="width: 15%;">35</td> <td style="width: 15%;">Type</td> <td style="width: 15%;">OB</td> </tr> <tr> <td>Language</td> <td>LAD</td> <td colspan="4"></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; background-color: #f2f2f2;"> <thead> <tr> <th colspan="6">Information</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Title</td> <td>"Cyclic Interrupt"</td> <td>Author</td> <td></td> <td>Comment</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Family</td> <td></td> <td>Version</td> <td>0.1</td> <td>User-defined ID</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">Name</th> <th style="width: 20%;">Data type</th> <th style="width: 20%;">Offset</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">▼ Temp</td> </tr> <tr><td>OB35_EV_CLASS</td><td>Byte</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>OB35_STRT_INF</td><td>Byte</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>OB35_PRIORITY</td><td>Byte</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>OB35_OB_NUMBR</td><td>Byte</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>OB35_RESERVED_1</td><td>Byte</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>OB35_RESERVED_2</td><td>Byte</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>OB35_PHASE_OFFSET</td><td>Word</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>OB35_RESERVED_3</td><td>Int</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>OB35_EXC_FREQ</td><td>Int</td><td>10.0</td></tr> <tr><td>OB35_DATE_TIME</td><td>Date_And_Time</td><td>12.0</td></tr> </tbody> </table> <p>Network 1:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <pre> graph LR DB1["%DB1 Main_Safety_DE"] --- FB1["%FB1 Main_Safety"] FB1 --- EN["EN"] EN --- END["END"] </pre> </div>			General						Name	CYC_INT5	Number	35	Type	OB	Language	LAD					Information						Title	"Cyclic Interrupt"	Author		Comment		Family		Version	0.1	User-defined ID		Name	Data type	Offset	▼ Temp			OB35_EV_CLASS	Byte	0.0	OB35_STRT_INF	Byte	1.0	OB35_PRIORITY	Byte	2.0	OB35_OB_NUMBR	Byte	3.0	OB35_RESERVED_1	Byte	4.0	OB35_RESERVED_2	Byte	5.0	OB35_PHASE_OFFSET	Word	6.0	OB35_RESERVED_3	Int	8.0	OB35_EXC_FREQ	Int	10.0	OB35_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0
General																																																																										
Name	CYC_INT5	Number	35	Type	OB																																																																					
Language	LAD																																																																									
Information																																																																										
Title	"Cyclic Interrupt"	Author		Comment																																																																						
Family		Version	0.1	User-defined ID																																																																						
Name	Data type	Offset																																																																								
▼ Temp																																																																										
OB35_EV_CLASS	Byte	0.0																																																																								
OB35_STRT_INF	Byte	1.0																																																																								
OB35_PRIORITY	Byte	2.0																																																																								
OB35_OB_NUMBR	Byte	3.0																																																																								
OB35_RESERVED_1	Byte	4.0																																																																								
OB35_RESERVED_2	Byte	5.0																																																																								
OB35_PHASE_OFFSET	Word	6.0																																																																								
OB35_RESERVED_3	Int	8.0																																																																								
OB35_EXC_FREQ	Int	10.0																																																																								
OB35_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0																																																																								

Totally Integrated Automation Portal			
HMI_Comm [DB2]			
HMI_Comm Properties			
General			
Name	HMI_Comm	Number 2	
Language	DB	Type DB	
Information			
Title	Author	Comment	
Family	Version 0.1	User-defined ID	
Name			
Data type			
Start value			
Retain			
▼ Static			
Alarme_X	Bool	false	True
Alarme_Y	Bool	false	True
Alarme_Z	Bool	false	True
Alarme_Vol_Trab	Bool	false	True
ACK	Bool	false	True

Totally Integrated Automation Portal																																																																																																																																																																													
<h2>Coordenacao</h2> <h3>Coordenacao_das_SIF [FB6]</h3>																																																																																																																																																																													
Coordenacao_das_SIF Properties																																																																																																																																																																													
General																																																																																																																																																																													
Name	Coordenacao_das_SIF	Number	6																																																																																																																																																																										
Type	FB.Safety																																																																																																																																																																												
Language	LAD																																																																																																																																																																												
Information																																																																																																																																																																													
Title		Author																																																																																																																																																																											
Family		Version	0.1																																																																																																																																																																										
Comment																																																																																																																																																																													
User-defined ID																																																																																																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Data type</th> <th>Offset</th> <th>Default value</th> <th>Retain</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">▼ Input</td> </tr> <tr> <td>Falha_Eixo_X</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td>Falha_Eixo_Y</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td>Falha_Eixo_Z</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td>Falha_Vol_Trab</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td>Acknowledge</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Output</td> </tr> <tr> <td colspan="5">InOut</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ Static</td> </tr> <tr> <td>SIS_Monitoramento</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ SIF_Falha_Eixo_X_Instance</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ Input</td> </tr> <tr> <td>SIF_Eixo_X</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td>ACK</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ Output</td> </tr> <tr> <td>Cortar_X</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ InOut</td> </tr> <tr> <td>Monitorando</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ Static</td> </tr> <tr> <td>Atuando</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ SIF_Falha_Eixo_Y_Instance</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ Input</td> </tr> <tr> <td>SIF_Eixo_Y</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td>ACK</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ Output</td> </tr> <tr> <td>Cortar_Y</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ InOut</td> </tr> <tr> <td>Monitorando</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ Static</td> </tr> <tr> <td>Atuando</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ SIF_Falha_Eixo_Z_Instance</td> </tr> <tr> <td colspan="5">▼ Input</td> </tr> <tr> <td>SIF_Eixo_Z</td> <td>Bool</td> <td>...</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> </tbody> </table>				Name	Data type	Offset	Default value	Retain	▼ Input					Falha_Eixo_X	Bool	...	false	Set in IDB	Falha_Eixo_Y	Bool	...	false	Set in IDB	Falha_Eixo_Z	Bool	...	false	Set in IDB	Falha_Vol_Trab	Bool	...	false	Set in IDB	Acknowledge	Bool	...	false	Set in IDB	Output					InOut					▼ Static					SIS_Monitoramento	Bool	...	false	Set in IDB	▼ SIF_Falha_Eixo_X_Instance					▼ Input					SIF_Eixo_X	Bool	...	false	Set in IDB	ACK	Bool	...	false	Set in IDB	▼ Output					Cortar_X	Bool	...	false	Set in IDB	▼ InOut					Monitorando	Bool	...	false	Set in IDB	▼ Static					Atuando	Bool	...	false	Set in IDB	▼ SIF_Falha_Eixo_Y_Instance					▼ Input					SIF_Eixo_Y	Bool	...	false	Set in IDB	ACK	Bool	...	false	Set in IDB	▼ Output					Cortar_Y	Bool	...	false	Set in IDB	▼ InOut					Monitorando	Bool	...	false	Set in IDB	▼ Static					Atuando	Bool	...	false	Set in IDB	▼ SIF_Falha_Eixo_Z_Instance					▼ Input					SIF_Eixo_Z	Bool	...	false	Set in IDB
Name	Data type	Offset	Default value	Retain																																																																																																																																																																									
▼ Input																																																																																																																																																																													
Falha_Eixo_X	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
Falha_Eixo_Y	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
Falha_Eixo_Z	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
Falha_Vol_Trab	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
Acknowledge	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
Output																																																																																																																																																																													
InOut																																																																																																																																																																													
▼ Static																																																																																																																																																																													
SIS_Monitoramento	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
▼ SIF_Falha_Eixo_X_Instance																																																																																																																																																																													
▼ Input																																																																																																																																																																													
SIF_Eixo_X	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
ACK	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
▼ Output																																																																																																																																																																													
Cortar_X	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
▼ InOut																																																																																																																																																																													
Monitorando	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
▼ Static																																																																																																																																																																													
Atuando	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
▼ SIF_Falha_Eixo_Y_Instance																																																																																																																																																																													
▼ Input																																																																																																																																																																													
SIF_Eixo_Y	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
ACK	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
▼ Output																																																																																																																																																																													
Cortar_Y	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
▼ InOut																																																																																																																																																																													
Monitorando	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
▼ Static																																																																																																																																																																													
Atuando	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
▼ SIF_Falha_Eixo_Z_Instance																																																																																																																																																																													
▼ Input																																																																																																																																																																													
SIF_Eixo_Z	Bool	...	false	Set in IDB																																																																																																																																																																									
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.																																																																																																																																																																													

Totally Integrated Automation Portal			
Name	Data type	Offset	Default value
ACK	Bool	...	false
▼ Output			
Cortar_Z	Bool	...	false
▼ InOut			
Monitorando	Bool	...	false
▼ Static			
Atuando	Bool	...	false
▼ SIF_Invasao_Vol_Trabalho_Instance	"SIF_Invasao_Vol_Trabalho"	...	
▼ Input			
SIF_Vol_Trab	Bool	...	false
ACK	Bool	...	false
▼ Output			
Cortar_XYZ	Bool	...	false
▼ InOut			
Monitorando	Bool	...	false
▼ Static			
Atuando	Bool	...	false
▼ Temp			
cortar_x	Bool	...	
cortar_y	Bool	...	
cortar_z	Bool	...	
cortar_xyz	Bool	...	

Network 1:

Symbol	Address	Type	Comment
#SIS_Monitoramento		Bool	
SIF_Falha_Eixo_X	%FB2	Block_FB	
#SIF_Falha_Eixo_X_Instance		Multi_FB	
#Falha_Eixo_X		Bool	
#cortar_x		Bool	
#Acknowledge		Bool	

Network 2:

Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.

Totally Integrated Automation Portal																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Symbol</th> <th style="text-align: left;">Address</th> <th style="text-align: left;">Type</th> <th style="text-align: left;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>#SIS_Monitoramento</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"SIF_Falha_Eixo_Y"</td> <td>%FB2</td> <td>Block_FB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#SIF_Falha_Eixo_Y_Instance</td> <td></td> <td>Multi_FB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#Falha_Eixo_Y</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#cortar_y</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#Acknowledge</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Symbol	Address	Type	Comment	#SIS_Monitoramento		Bool		"SIF_Falha_Eixo_Y"	%FB2	Block_FB		#SIF_Falha_Eixo_Y_Instance		Multi_FB		#Falha_Eixo_Y		Bool		#cortar_y		Bool		#Acknowledge		Bool		
Symbol	Address	Type	Comment																										
#SIS_Monitoramento		Bool																											
"SIF_Falha_Eixo_Y"	%FB2	Block_FB																											
#SIF_Falha_Eixo_Y_Instance		Multi_FB																											
#Falha_Eixo_Y		Bool																											
#cortar_y		Bool																											
#Acknowledge		Bool																											
Network 3:																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Symbol</th> <th style="text-align: left;">Address</th> <th style="text-align: left;">Type</th> <th style="text-align: left;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>#SIS_Monitoramento</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"SIF_Falha_Eixo_Z"</td> <td>%FB2</td> <td>Block_FB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#SIF_Falha_Eixo_Z_Instance</td> <td></td> <td>Multi_FB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#Falha_Eixo_Z</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#cortar_z</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#Acknowledge</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Symbol	Address	Type	Comment	#SIS_Monitoramento		Bool		"SIF_Falha_Eixo_Z"	%FB2	Block_FB		#SIF_Falha_Eixo_Z_Instance		Multi_FB		#Falha_Eixo_Z		Bool		#cortar_z		Bool		#Acknowledge		Bool		
Symbol	Address	Type	Comment																										
#SIS_Monitoramento		Bool																											
"SIF_Falha_Eixo_Z"	%FB2	Block_FB																											
#SIF_Falha_Eixo_Z_Instance		Multi_FB																											
#Falha_Eixo_Z		Bool																											
#cortar_z		Bool																											
#Acknowledge		Bool																											
Network 4:																													
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.																													

Totally Integrated Automation Portal			
Symbol	Address	Type	Comment
#SIS_Monitoramento		Bool	
"SIF_Invasao_Vol_Trabalho"	%FB2	Block_FB	
#SIF_Invasao_Vol_Trabalho_Instance		Multi_FB	
#Falha_Vol_Trab		Bool	
#Acknowledge		Bool	
#cortar_xyz		Bool	
Network 5:			
Symbol	Address	Type	Comment
#cortar_x		Bool	
#cortar_y		Bool	
#cortar_z		Bool	
#cortar_xyz		Bool	
"Manipulador_dos_Motores"	%FC1	Block_FC	
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.			

Totally Integrated Automation Portal					
<h2>Coordenacao</h2> <h3>Main_Safety [FB1]</h3>					
Main_Safety Properties					
General					
Name	Main_Safety	Number	1	Type	FB.Safety
Language	LAD				
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	
Properties					
Name	Data type	Offset	Default value	Retain	
Input					
Output					
InOut					
▼ Static					
▼ Coordenacao_das_SIF_Instance	"Coordenacao_das_SIF"	0.0			
▼ Input					
Falha_Eixo_X	Bool	0.0	false	Set in IDB	
Falha_Eixo_Y	Bool	0.1	false	Set in IDB	
Falha_Eixo_Z	Bool	0.2	false	Set in IDB	
Falha_Vol_Trab	Bool	0.3	false	Set in IDB	
Acknowledge	Bool	0.4	false	Set in IDB	
▼ Output					
SIF_Eixo_X	Bool	2.0	false	Set in IDB	
SIF_Eixo_Y	Bool	2.1	false	Set in IDB	
SIF_Eixo_Z	Bool	2.2	false	Set in IDB	
SIF_Vol_Trab	Bool	2.3	false	Set in IDB	
InOut					
▼ Static					
SIS_Monitoramento	Bool	4.0	false	Set in IDB	
Falha_Tratada	Bool	4.1	false	Set in IDB	
▼ Falha_Eixo_X_Instance	"Falha_Eixo_X"	6.0			
Input					
▼ Output					
Falha_Eixo_X	Bool	0.0	false	Set in IDB	
InOut					
Static					
▼ Falha_Eixo_Y_Instance	"Falha_Eixo_Y"	8.0			
Input					
▼ Output					
Falha_Eixo_Y	Bool	0.0	false	Set in IDB	
InOut					
Static					
▼ Falha_Eixo_Z_Instance	"Falha_Eixo_Z"	10.0			
Input					
▼ Output					
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.					

Totally Integrated Automation Portal			
Name	Data type	Offset	Default value
Falha_Eixo_Z	Bool	0.0	false
InOut			
Static			
▼ Invasao_Vol_Trabalho_Instance	Invasao_Vol_Trabalho	12.0	
Input			
▼ Output			
Falha_Vol_Trab	Bool	0.0	false
InOut			
Static			
▼ Temp			
falha_eixo_x	Bool	0.0	
falha_eixo_y	Bool	0.1	
falha_eixo_z	Bool	0.2	
falha_vol_trab	Bool	0.3	
sif_eixo_x	Bool	0.4	
sif_eixo_y	Bool	0.5	
sif_eixo_z	Bool	0.6	
sif_vol_trab	Bool	0.7	

Network 1:

Symbol	Address	Type	Comment
"Falha_Eixo_X"	%FB7	Block_FB	
#Falha_Eixo_X_Instance		Multi_FB	
#falha_eixo_x		Bool	

Network 2:

Symbol	Address	Type	Comment
"Falha_Eixo_Y"	%FB8	Block_FB	
#Falha_Eixo_Y_Instance		Multi_FB	
#falha_eixo_y		Bool	

Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.

Totally Integrated Automation Portal																										
Network 3:																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Symbol</th> <th style="text-align: left;">Address</th> <th style="text-align: left;">Type</th> <th style="text-align: left;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Falha_Eixo_Z"</td> <td>%FB9</td> <td>Block_FB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#Falha_Eixo_Z_Instance</td> <td></td> <td>Multi_FB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#falha_eixo_z</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Symbol	Address	Type	Comment	"Falha_Eixo_Z"	%FB9	Block_FB		#Falha_Eixo_Z_Instance		Multi_FB		#falha_eixo_z		Bool											
Symbol	Address	Type	Comment																							
"Falha_Eixo_Z"	%FB9	Block_FB																								
#Falha_Eixo_Z_Instance		Multi_FB																								
#falha_eixo_z		Bool																								
Network 4:																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Symbol</th> <th style="text-align: left;">Address</th> <th style="text-align: left;">Type</th> <th style="text-align: left;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Invasao_Vol_Trabalho"</td> <td>%FB10</td> <td>Block_FB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#Invasao_Vol_Trabalho_Instance</td> <td></td> <td>Multi_FB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#falha_vol_trab</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Symbol	Address	Type	Comment	"Invasao_Vol_Trabalho"	%FB10	Block_FB		#Invasao_Vol_Trabalho_Instance		Multi_FB		#falha_vol_trab		Bool											
Symbol	Address	Type	Comment																							
"Invasao_Vol_Trabalho"	%FB10	Block_FB																								
#Invasao_Vol_Trabalho_Instance		Multi_FB																								
#falha_vol_trab		Bool																								
Network 5:																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Symbol</th> <th style="text-align: left;">Address</th> <th style="text-align: left;">Type</th> <th style="text-align: left;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Coordenacao_das_SIF"</td> <td>%FB6</td> <td>Block_FB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#Coordenacao_das_SIF_Instance</td> <td></td> <td>Multi_FB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#falha_eixo_x</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#falha_eixo_y</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#falha_eixo_z</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Symbol	Address	Type	Comment	"Coordenacao_das_SIF"	%FB6	Block_FB		#Coordenacao_das_SIF_Instance		Multi_FB		#falha_eixo_x		Bool		#falha_eixo_y		Bool		#falha_eixo_z		Bool			
Symbol	Address	Type	Comment																							
"Coordenacao_das_SIF"	%FB6	Block_FB																								
#Coordenacao_das_SIF_Instance		Multi_FB																								
#falha_eixo_x		Bool																								
#falha_eixo_y		Bool																								
#falha_eixo_z		Bool																								
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.																										


Totally Integrated Automation Portal			
Symbol	Address	Type	Comment
#falha_vol_trab		Bool	
"HMI_Comm"	%DB2	Block_DB	
"HMI_Comm".ACK	DB2.???	Bool	
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.			

Totally Integrated Automation Portal																																																																																																																																																		
<h3>Coordenacao</h3> <h4>Main_Safety_DB [DB1]</h4>																																																																																																																																																		
Main_Safety_DB Properties																																																																																																																																																		
General																																																																																																																																																		
Name	Main_Safety_DB	Number 1 Type DB.Safety																																																																																																																																																
Language	DB																																																																																																																																																	
Information																																																																																																																																																		
Title		Author Comment																																																																																																																																																
Family		Version 0.1 User-defined ID																																																																																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Data type</th> <th>Start value</th> <th>Retain</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Input</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Output</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>InOut</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▼ Static</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▼ Coordenacao_das_SIF_Instance</td><td>"Coordenacao_das_SIF"</td><td></td><td>False</td></tr> <tr><td>▼ Input</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Falha_Eixo_X</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>Falha_Eixo_Y</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>Falha_Eixo_Z</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>Falha_Vol_Trab</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>Acknowledge</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>▼ Output</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>SIF_Eixo_X</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>SIF_Eixo_Y</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>SIF_Eixo_Z</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>SIF_Vol_Trab</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>InOut</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▼ Static</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>SIS_Monitoramento</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>Falha_Tratada</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>▼ Falha_Eixo_X_Instance</td><td>"Falha_Eixo_X"</td><td></td><td>False</td></tr> <tr><td>Input</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▼ Output</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Falha_Eixo_X</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>InOut</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Static</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▼ Falha_Eixo_Y_Instance</td><td>"Falha_Eixo_Y"</td><td></td><td>False</td></tr> <tr><td>Input</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▼ Output</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Falha_Eixo_Y</td><td>Bool</td><td>false</td><td>False</td></tr> <tr><td>InOut</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Static</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▼ Falha_Eixo_Z_Instance</td><td>"Falha_Eixo_Z"</td><td></td><td>False</td></tr> <tr><td>Input</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▼ Output</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			Name	Data type	Start value	Retain	Input				Output				InOut				▼ Static				▼ Coordenacao_das_SIF_Instance	"Coordenacao_das_SIF"		False	▼ Input				Falha_Eixo_X	Bool	false	False	Falha_Eixo_Y	Bool	false	False	Falha_Eixo_Z	Bool	false	False	Falha_Vol_Trab	Bool	false	False	Acknowledge	Bool	false	False	▼ Output				SIF_Eixo_X	Bool	false	False	SIF_Eixo_Y	Bool	false	False	SIF_Eixo_Z	Bool	false	False	SIF_Vol_Trab	Bool	false	False	InOut				▼ Static				SIS_Monitoramento	Bool	false	False	Falha_Tratada	Bool	false	False	▼ Falha_Eixo_X_Instance	"Falha_Eixo_X"		False	Input				▼ Output				Falha_Eixo_X	Bool	false	False	InOut				Static				▼ Falha_Eixo_Y_Instance	"Falha_Eixo_Y"		False	Input				▼ Output				Falha_Eixo_Y	Bool	false	False	InOut				Static				▼ Falha_Eixo_Z_Instance	"Falha_Eixo_Z"		False	Input				▼ Output			
Name	Data type	Start value	Retain																																																																																																																																															
Input																																																																																																																																																		
Output																																																																																																																																																		
InOut																																																																																																																																																		
▼ Static																																																																																																																																																		
▼ Coordenacao_das_SIF_Instance	"Coordenacao_das_SIF"		False																																																																																																																																															
▼ Input																																																																																																																																																		
Falha_Eixo_X	Bool	false	False																																																																																																																																															
Falha_Eixo_Y	Bool	false	False																																																																																																																																															
Falha_Eixo_Z	Bool	false	False																																																																																																																																															
Falha_Vol_Trab	Bool	false	False																																																																																																																																															
Acknowledge	Bool	false	False																																																																																																																																															
▼ Output																																																																																																																																																		
SIF_Eixo_X	Bool	false	False																																																																																																																																															
SIF_Eixo_Y	Bool	false	False																																																																																																																																															
SIF_Eixo_Z	Bool	false	False																																																																																																																																															
SIF_Vol_Trab	Bool	false	False																																																																																																																																															
InOut																																																																																																																																																		
▼ Static																																																																																																																																																		
SIS_Monitoramento	Bool	false	False																																																																																																																																															
Falha_Tratada	Bool	false	False																																																																																																																																															
▼ Falha_Eixo_X_Instance	"Falha_Eixo_X"		False																																																																																																																																															
Input																																																																																																																																																		
▼ Output																																																																																																																																																		
Falha_Eixo_X	Bool	false	False																																																																																																																																															
InOut																																																																																																																																																		
Static																																																																																																																																																		
▼ Falha_Eixo_Y_Instance	"Falha_Eixo_Y"		False																																																																																																																																															
Input																																																																																																																																																		
▼ Output																																																																																																																																																		
Falha_Eixo_Y	Bool	false	False																																																																																																																																															
InOut																																																																																																																																																		
Static																																																																																																																																																		
▼ Falha_Eixo_Z_Instance	"Falha_Eixo_Z"		False																																																																																																																																															
Input																																																																																																																																																		
▼ Output																																																																																																																																																		
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.																																																																																																																																																		

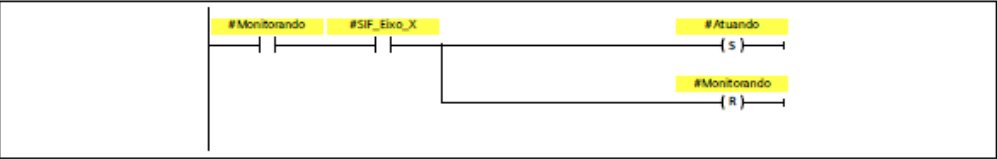
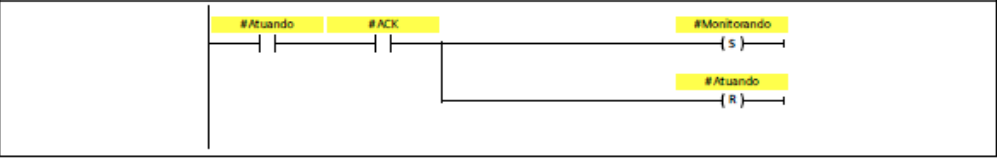
Totally Integrated Automation Portal			
Name	Data type	Start value	Retain
Falha_Eixo_Z	Bool	false	False
InOut			
Static			
▼ Invasao_Vol_Trabalho_Instance	"Invasao_Vol_Trabalho"		False
Input			
▼ Output			
Falha_Vol_Trab	Bool	false	False
InOut			
Static			
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.			

Totally Integrated Automation Portal																																																																																									
<p>Deteccao</p> <p>Falha_Eixo_X [FB7]</p> <p>Falha_Eixo_X Properties</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th colspan="6">General</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 15%;">Name</td> <td style="width: 25%;">Falha_Eixo_X</td> <td style="width: 15%;">Number</td> <td style="width: 15%;">7</td> <td style="width: 15%;">Type</td> <td style="width: 20%;">FB.Safety</td> </tr> <tr> <td>Language</td> <td>LAD</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th colspan="6">Information</th> </tr> <tr> <td>Title</td> <td></td> <td>Author</td> <td></td> <td>Comment</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Family</td> <td></td> <td>Version</td> <td>0.1</td> <td>User-defined ID</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th style="width: 30%;">Name</th> <th style="width: 15%;">Data type</th> <th style="width: 10%;">Offset</th> <th style="width: 20%;">Default value</th> <th style="width: 25%;">Retain</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Input</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>▼ Output</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Falha_Eixo_X</td> <td>Bool</td> <td>0.0</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td>InOut</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Static</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temp</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Network 1:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th style="width: 25%;">Symbol</th> <th style="width: 25%;">Address</th> <th style="width: 25%;">Type</th> <th style="width: 25%;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>#Falha_Eixo_X</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"S19.1"</td> <td>%I0.2</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"S19.2"</td> <td>%I0.3</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small; margin-top: 20px;">Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.</p>			General						Name	Falha_Eixo_X	Number	7	Type	FB.Safety	Language	LAD					Information						Title		Author		Comment		Family		Version	0.1	User-defined ID		Name	Data type	Offset	Default value	Retain	Input					▼ Output					Falha_Eixo_X	Bool	0.0	false	Set in IDB	InOut					Static					Temp					Symbol	Address	Type	Comment	#Falha_Eixo_X		Bool		"S19.1"	%I0.2	Bool		"S19.2"	%I0.3	Bool	
General																																																																																									
Name	Falha_Eixo_X	Number	7	Type	FB.Safety																																																																																				
Language	LAD																																																																																								
Information																																																																																									
Title		Author		Comment																																																																																					
Family		Version	0.1	User-defined ID																																																																																					
Name	Data type	Offset	Default value	Retain																																																																																					
Input																																																																																									
▼ Output																																																																																									
Falha_Eixo_X	Bool	0.0	false	Set in IDB																																																																																					
InOut																																																																																									
Static																																																																																									
Temp																																																																																									
Symbol	Address	Type	Comment																																																																																						
#Falha_Eixo_X		Bool																																																																																							
"S19.1"	%I0.2	Bool																																																																																							
"S19.2"	%I0.3	Bool																																																																																							

Totally Integrated Automation Portal		
<h2 style="margin: 0;">Deteccao</h2> <h3 style="margin: 0;">Falha_Eixo_Y [FB8]</h3>		
Falha_Eixo_Y Properties		
General		
Name	Falha_Eixo_Y	Number 8
Language	LAD	Type FB.Safety
Information		
Title		Author
Family		Version 0.1
		Comment
		User-defined ID
Network 1:		
Symbol		
#Falha_Eixo_Y		Bool
"S18.1"	%I0.0	Bool
"S18.2"	%I0.1	Bool
<p style="font-size: small; margin: 0;">Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.</p>		

Totally Integrated Automation Portal		
<h2 style="margin: 0;">Deteccao</h2> <h3 style="margin: 0;">Falha_Eixo_Z [FB9]</h3>		
Falha_Eixo_Z Properties		
General		
Name	Falha_Eixo_Z	Number 9
Language	LAD	Type FB.Safety
Information		
Title		Author
Family		Version 0.1
		Comment
		User-defined ID
Variables		
Name	Data type	Offset
Input		
▼ Output		
Falha_Eixo_Z	Bool	0.0
InOut		Default value false
Static		Retain Set in IDB
Temp		
<p>Network 1:</p> 		
Symbol Table		
Symbol	Address	Type
#Falha_Eixo_Z		Bool
"S11.0"	%I0.4	Bool
"S11.1"	%I0.5	Bool
<p>Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.</p>		

Totally Integrated Automation Portal			
<h2 style="margin: 0;">Deteccao</h2> <h3 style="margin: 0;">Invasao_Vol_Trabalho [FB10]</h3>			
Invasao_Vol_Trabalho Properties			
General			
Name	Invasao_Vol_Trabalho	Number 10	Type FB.Safety
Language	LAD		
Information			
Title		Author	Comment
Family		Version 0.1	User-defined ID
Network 1:			
Symbol			
#Falha_Vol_Trab		Type Bool	Comment
"R1"	%I0.6	Type Bool	
"R2"	%I0.7	Type Bool	
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.			

Totally Integrated Automation Portal																																																								
<h3 style="margin: 0;">Tratamento</h3> <h4 style="margin: 0;">SIF_Falha_Eixo_X [FB2]</h4>																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; background-color: #f2f2f2;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: left; padding: 2px;">SIF_Falha_Eixo_X Properties</th> </tr> <tr> <th colspan="6" style="text-align: left; padding: 2px;">General</th> </tr> <tr> <td style="width: 15%; padding: 2px;">Name</td> <td style="width: 25%; padding: 2px;">SIF_Falha_Eixo_X</td> <td style="width: 15%; padding: 2px;">Number</td> <td style="width: 15%; padding: 2px;">2</td> <td style="width: 15%; padding: 2px;">Type</td> <td style="width: 20%; padding: 2px;">FB.Safety</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Language</td> <td style="padding: 2px;">LAD</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <th colspan="6" style="text-align: left; padding: 2px;">Information</th> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Title</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Author</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Comment</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Family</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Version</td> <td style="padding: 2px;">0.1</td> <td style="padding: 2px;">User-defined ID</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> </table>		SIF_Falha_Eixo_X Properties						General						Name	SIF_Falha_Eixo_X	Number	2	Type	FB.Safety	Language	LAD					Information						Title		Author		Comment		Family		Version	0.1	User-defined ID														
SIF_Falha_Eixo_X Properties																																																								
General																																																								
Name	SIF_Falha_Eixo_X	Number	2	Type	FB.Safety																																																			
Language	LAD																																																							
Information																																																								
Title		Author		Comment																																																				
Family		Version	0.1	User-defined ID																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Name</th> <th style="width: 15%;">Data type</th> <th style="width: 10%;">Offset</th> <th style="width: 15%;">Default value</th> <th style="width: 30%;">Retain</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5" style="padding: 2px;">▼ Input</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">SIF_Eixo_X</td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;">0.0</td> <td style="padding: 2px;">false</td> <td style="padding: 2px;">Set in IDB</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">ACK</td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;">0.1</td> <td style="padding: 2px;">false</td> <td style="padding: 2px;">Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="padding: 2px;">▼ Output</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Cortar_X</td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;">2.0</td> <td style="padding: 2px;">false</td> <td style="padding: 2px;">Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="padding: 2px;">▼ InOut</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Monitorando</td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;">4.0</td> <td style="padding: 2px;">false</td> <td style="padding: 2px;">Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="padding: 2px;">▼ Static</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Atuando</td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;">6.0</td> <td style="padding: 2px;">false</td> <td style="padding: 2px;">Set in IDB</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Temp</td> <td colspan="4"></td> </tr> </tbody> </table>		Name	Data type	Offset	Default value	Retain	▼ Input					SIF_Eixo_X	Bool	0.0	false	Set in IDB	ACK	Bool	0.1	false	Set in IDB	▼ Output					Cortar_X	Bool	2.0	false	Set in IDB	▼ InOut					Monitorando	Bool	4.0	false	Set in IDB	▼ Static					Atuando	Bool	6.0	false	Set in IDB	Temp				
Name	Data type	Offset	Default value	Retain																																																				
▼ Input																																																								
SIF_Eixo_X	Bool	0.0	false	Set in IDB																																																				
ACK	Bool	0.1	false	Set in IDB																																																				
▼ Output																																																								
Cortar_X	Bool	2.0	false	Set in IDB																																																				
▼ InOut																																																								
Monitorando	Bool	4.0	false	Set in IDB																																																				
▼ Static																																																								
Atuando	Bool	6.0	false	Set in IDB																																																				
Temp																																																								
<p>Network 1:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 5px 0;">  </div>																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Symbol</th> <th style="width: 30%;">Address</th> <th style="width: 20%;">Type</th> <th style="width: 20%;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">#SIF_Eixo_X</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">#Atuando</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">#Monitorando</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> </tbody> </table>		Symbol	Address	Type	Comment	#SIF_Eixo_X		Bool		#Atuando		Bool		#Monitorando		Bool																																								
Symbol	Address	Type	Comment																																																					
#SIF_Eixo_X		Bool																																																						
#Atuando		Bool																																																						
#Monitorando		Bool																																																						
<p>Network 2:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 5px 0;">  </div>																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Symbol</th> <th style="width: 30%;">Address</th> <th style="width: 20%;">Type</th> <th style="width: 20%;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">#Atuando</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">#Monitorando</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> </tbody> </table>		Symbol	Address	Type	Comment	#Atuando		Bool		#Monitorando		Bool																																												
Symbol	Address	Type	Comment																																																					
#Atuando		Bool																																																						
#Monitorando		Bool																																																						
<p>Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.</p>																																																								

Totally Integrated Automation Portal			
Symbol	Address	Type	Comment
#ACK		Bool	
Network 3:			
Symbol	Address	Type	Comment
#Atuando		Bool	
"HMI_Comm"	%DB2	Block_DB	
"HMI_Comm".Alarme_X	DB2.???	Bool	
#Cortar_X		Bool	
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.			

Totally Integrated Automation Portal			
Symbol	Address	Type	Comment
#ACK		Bool	
Network 3:			
Symbol	Address	Type	Comment
#Atuando		Bool	
#Cortar_Y		Bool	
"HMI_Comm"	%DB2	Block_DB	
"HMI_Comm".Alarme_Y	DB2.???	Bool	
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.			

Totally Integrated Automation Portal																																																										
<h3 style="margin: 0;">Tratamento</h3> <h4 style="margin: 0;">SIF_Falha_Eixo_Z [FB2]</h4>																																																										
SIF_Falha_Eixo_Z Properties																																																										
General																																																										
Name	SIF_Falha_Eixo_Z	Number 2	Type FB.Safety																																																							
Language	LAD																																																									
Information																																																										
Title		Author	Comment																																																							
Family		Version 0.1	User-defined ID																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Name</th> <th style="width: 15%;">Data type</th> <th style="width: 10%;">Offset</th> <th style="width: 20%;">Default value</th> <th style="width: 25%;">Retain</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5" style="background-color: #e0e0e0;">▼ Input</td> </tr> <tr> <td>SIF_Eixo_Z</td> <td>Bool</td> <td>0.0</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td>ACK</td> <td>Bool</td> <td>0.1</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="background-color: #e0e0e0;">▼ Output</td> </tr> <tr> <td>Cortar_Z</td> <td>Bool</td> <td>2.0</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="background-color: #e0e0e0;">▼ InOut</td> </tr> <tr> <td>Monitorando</td> <td>Bool</td> <td>4.0</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="background-color: #e0e0e0;">▼ Static</td> </tr> <tr> <td>Atuando</td> <td>Bool</td> <td>6.0</td> <td>false</td> <td>Set in IDB</td> </tr> <tr> <td>Temp</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Name	Data type	Offset	Default value	Retain	▼ Input					SIF_Eixo_Z	Bool	0.0	false	Set in IDB	ACK	Bool	0.1	false	Set in IDB	▼ Output					Cortar_Z	Bool	2.0	false	Set in IDB	▼ InOut					Monitorando	Bool	4.0	false	Set in IDB	▼ Static					Atuando	Bool	6.0	false	Set in IDB	Temp				
Name	Data type	Offset	Default value	Retain																																																						
▼ Input																																																										
SIF_Eixo_Z	Bool	0.0	false	Set in IDB																																																						
ACK	Bool	0.1	false	Set in IDB																																																						
▼ Output																																																										
Cortar_Z	Bool	2.0	false	Set in IDB																																																						
▼ InOut																																																										
Monitorando	Bool	4.0	false	Set in IDB																																																						
▼ Static																																																										
Atuando	Bool	6.0	false	Set in IDB																																																						
Temp																																																										
Network 1:																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Symbol</th> <th style="width: 30%;">Address</th> <th style="width: 20%;">Type</th> <th style="width: 20%;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>#SIF_Eixo_Z</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#Atuando</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#Monitorando</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Symbol	Address	Type	Comment	#SIF_Eixo_Z		Bool		#Atuando		Bool		#Monitorando		Bool																																									
Symbol	Address	Type	Comment																																																							
#SIF_Eixo_Z		Bool																																																								
#Atuando		Bool																																																								
#Monitorando		Bool																																																								
Network 2:																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Symbol</th> <th style="width: 30%;">Address</th> <th style="width: 20%;">Type</th> <th style="width: 20%;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>#Atuando</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>#Monitorando</td> <td></td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Symbol	Address	Type	Comment	#Atuando		Bool		#Monitorando		Bool																																													
Symbol	Address	Type	Comment																																																							
#Atuando		Bool																																																								
#Monitorando		Bool																																																								
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.																																																										

Totally Integrated Automation Portal			
Symbol	Address	Type	Comment
#ACK		Bool	
Network 3:			
Symbol	Address	Type	Comment
#Atuando		Bool	
#Cortar_Z		Bool	
"HMI_Comm"	%DB2	Block_DB	
"HMI_Comm".Alarme_Z	DB2.???	Bool	
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.			

Totally Integrated Automation Portal					
Tratamento					
SIF_Invasao_Vol_Trabalho [FB2]					
SIF_Invasao_Vol_Trabalho Properties					
General					
Name	SIF_Invasao_Vol_Trabalho	Number	2	Type	FB.Safety
Language	LAD				
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	
Variables					
Name	Data type	Offset	Default value	Retain	
▼ Input					
SIF_Vol_Trab	Bool	0.0	false	Set in IDB	
ACK	Bool	0.1	false	Set in IDB	
▼ Output					
Cortar_XYZ	Bool	2.0	false	Set in IDB	
▼ InOut					
Monitorando	Bool	4.0	false	Set in IDB	
▼ Static					
Atuando	Bool	6.0	false	Set in IDB	
Temp					
Network 1:					
Symbol	Address	Type	Comment		
#SIF_Vol_Trab		Bool			
#Atuando		Bool			
#Monitorando		Bool			
Network 2:					
Symbol	Address	Type	Comment		
#Atuando		Bool			
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.					

Totally Integrated Automation Portal			
Symbol	Address	Type	Comment
#Monitorando		Bool	
#ACK		Bool	
Network 3:			
Symbol	Address	Type	Comment
#Atuando		Bool	
"HMI_Comm"	%DB2	Block_DB	
"HMI_Comm".Alarme_X	DB2.???	Bool	
#Cortar_XYZ		Bool	
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.			

Totally Integrated Automation Portal																					
<h2 style="margin: 0;">Tratamento</h2> <h3 style="margin: 0;">Manipulador_dos_Motores [FC1]</h3>																					
Manipulador_dos_Motores Properties																					
General																					
Name	Manipulador_dos_Motores	Number	1	Type	FC.Safety																
Language	LAD																				
Information																					
Title			Author																		
Family			Version	0.1	Comment	User-defined ID															
Name			Data type		Offset																
▼ Input																					
Cortar_X			Bool																		
Cortar_Y			Bool																		
Cortar_Z			Bool																		
Cortar_XYZ			Bool																		
Output																					
InOut																					
Temp																					
▼ Return																					
Manipulador_dos_Motores			Void																		
Network 1:																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">Symbol</th> <th style="padding: 2px;">Address</th> <th style="padding: 2px;">Type</th> <th style="padding: 2px;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">#Cortar_X</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">#Cortar_XYZ</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">"X_Habilitado"</td> <td style="padding: 2px;">%Q10.0</td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> </tbody> </table>						Symbol	Address	Type	Comment	#Cortar_X		Bool		#Cortar_XYZ		Bool		"X_Habilitado"	%Q10.0	Bool	
Symbol	Address	Type	Comment																		
#Cortar_X		Bool																			
#Cortar_XYZ		Bool																			
"X_Habilitado"	%Q10.0	Bool																			
Network 2:																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">Symbol</th> <th style="padding: 2px;">Address</th> <th style="padding: 2px;">Type</th> <th style="padding: 2px;">Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">#Cortar_XYZ</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Bool</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> </tbody> </table>						Symbol	Address	Type	Comment	#Cortar_XYZ		Bool									
Symbol	Address	Type	Comment																		
#Cortar_XYZ		Bool																			
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.																					

Totally Integrated Automation Portal			
Symbol	Address	Type	Comment
#Cortar_Y		Bool	
"Y_Habilitado"	%Q10.1	Bool	
Network 3:			
<pre> graph LR A["#Cortar_Z"] --- B["#Cortar_XYZ"] A --- C["NOT"] B --- C C --- D["%Q10.2 \"Z_Habilitado\""] </pre>			
Symbol	Address	Type	Comment
#Cortar_XYZ		Bool	
#Cortar_Z		Bool	
"Z_Habilitado"	%Q10.2	Bool	
Safety information: -- / E461789C; STEP 7 Safety V12; The safety program is changed.			

ANEXO A - MODELAGEM UTILIZANDO O PFS E A REDE DE PETRI

A.1 REDE DE PETRI

A rede de Petri é um modelo matemático proposto por Carl Petri para a modelagem de sistemas de comunicação. Basicamente uma rede de Petri é representada por um grafo direcionado, bi-partido, ponderado com uma marcação inicial, composto por nós (denominados lugares) e transições onde estes são interligados por arcos orientados. Os arcos possuem um peso k que representa k aros em paralelos. As marcações da rede são atribuídas aos lugares (REISIG, 1985). Uma rede de Petri é uma sêxtupla $\{P, T, A_r, K, W, M_0\}$, sendo que:

- $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_m\}$ é um conjunto finito de lugares;
- $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_m\}$ é um conjunto finito de transições;
- $A_r \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ é um conjunto finito de arcos;
- $K : P \rightarrow N \cup \{\infty\}$ é a função capacidade;
- $M_0 : P \rightarrow N$ é a função de marcação inicial que satisfaz $\forall p \in P : M_0(p) \leq K(p)$.

A.2 PRODUCTION FLOW SCHEMA (PFS) E SEUS ELEMENTOS

O PFS (MIYAGI, 1996) é utilizado para descrever, graficamente e conceitualmente, os processos relacionados com a produção de itens (peças, produtos, informações, etc.) sob a forma de sequências de *etapas* de atividades e de distribuição. Como indicado na Figura B.1, o PFS é um grafo bi-partido composto de nós de *elementos-atividade*, nós de elementos distribuidores e arcos de fluxo, que conectam sequencialmente um tipo de nó ao outro.

Os *elementos-atividade*, como ilustrado na Figura A.2, podem ser expandidos em duas transições e um lugar (*lugar-atividade*). Quando é necessária a indicação do início e da conclusão de uma atividade, distinguimos a transição de entrada (como a transição de início) da transição de saída (como a transição final) (Figura A.2c). Além disso, na Figura A.2, m e n são, respectivamente, os números de entradas e saídas simultâneas de um elemento; em rede de Petri tipo lugar/transição - L/T - (REISIG, 1985) ou em representações híbridas, eles compõem os pesos dos arcos de fluxo. Se não houver necessidade, ou $m=n=1$, eles podem ser omitidos.

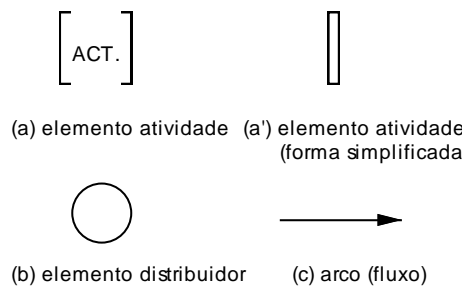


Figura A.1 Elementos do PFS.

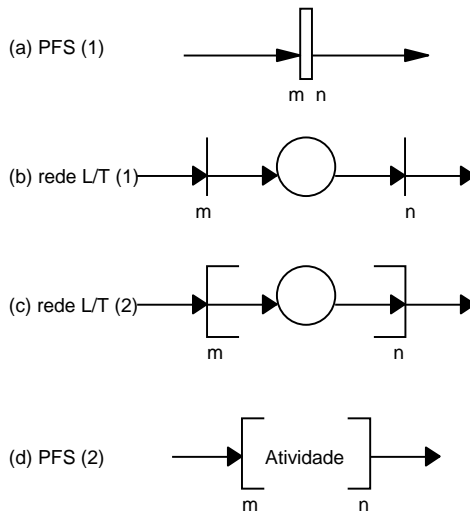


Figura A.2 Elemento atividade em rede L/T..

Similarmente, um *elemento-distribuidor* pode ser também expandido em um lugar (*lugar-distribuidor*) com transições à entrada e à saída, como ilustrado na Figura A.3. Ainda, no caso de se expandir dois elementos conectados um ao outro em uma rede L/T, a transição de saída da primeira etapa e a de entrada da etapa seguinte formam uma única transição. Deste ponto em diante, a denominação *lugares-etapa* é dada tanto para os *lugares-atividade* como para os *lugares-distribuidores*.

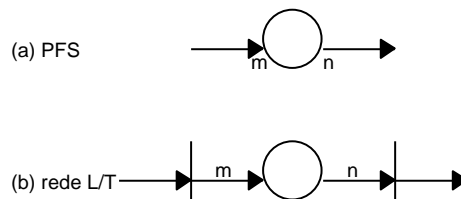


Figura A.3 Elemento distribuidor em rede L/T.

A.3 METODOLOGIA PFS/REDE DE PETRI

A rede de Petri pode ser obtida a partir de modelos em PFS (NAKAMOTO et al, 2003). De acordo com a metodologia PFS/rede de Petri para obter uma rede de Petri a partir de um modelo em PFS devem ser seguidos os seguintes passos:

- a) Criar um modelo conceitual e onde cada processo apresente um alto nível de abstração;
- a) Representar cada processo como um conjunto de atividades;
- b) Definir um conjunto de atributos que pode ser associado a cada marca no modelo em rede de Petri;
- c) Detalhar cada atividade do processo descrito em PFS usando modelos em rede de Petri;

- d) Mapear os eventos gerados pelos controladores (arcos que conectam os lugares da rede de Petri aos atuadores do processo) e os eventos gerados pelo processo (através de arcos habilitadores e inibidores da rede de Petri);

Portanto, a metodologia PFS/rede de Petri permite desenvolver de forma natural e organizada modelos de controle de processos a partir de sistemas que apresentam alta complexidade e uma variedade de processos simultâneos.

ANEXO B - FORMALISMO DA REDE BAYESIANA

A rede Bayesiana é um modelo matemático formal de representação de conhecimento. Esta pode ser representada através de um grafo, onde os nós representam variáveis aleatórias e os arcos direcionados representam relacionamentos causais diretos entre os nós que conectam. Em uma rede Bayesiana, cada nó X_i , representado através de um círculo, é condicionalmente independente de qualquer subconjunto de nós que não são seus descendentes, formando assim um grafo acíclico orientado. Os nós de origem são conhecidos como os nós pais de X_i (representados por $pa(X_i)$). A associação entre os nós define uma estrutura de nós pais e filhos associados aos pais, e é feita através de arcos orientados e representa as relações de causa e efeito, descritas por $P(X_i | pa(X_i))$. Normalmente, tais relações são fornecidas em formato de tabela, as quais são chamadas de tabelas de probabilidade condicional (COOPER et al, 1992). A probabilidade condicional (P, C) numericamente quantifica a relação causa e efeito (MURPHI, 2007).

Assim, considerando-se X_1, X_2, \dots, X_n como os nós de uma rede Bayesiana, e tomando-se da estrutura desta rede as situações onde se tem independência condicional, através da equação (C.1), permite-se determinar a probabilidade conjunta de todos os nós (RUSSELL et al, 1995).

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | pa(X_i)) \quad (C.1)$$

Uma rede Bayesiana é uma tripla (V, F, P) onde:

- $V = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ corresponde a um conjunto finito de vértices (nós) da rede, representados por círculos;
- F corresponde a um conjunto finito de arcos orientados também chamados de relações de fluxo. Pode-se dizer que $G(V, F)$ é uma estrutura que representa um grafo acíclico orientado;
- P é a distribuição de probabilidade entre os nós da rede, determinada com o emprego da equação (C.1).

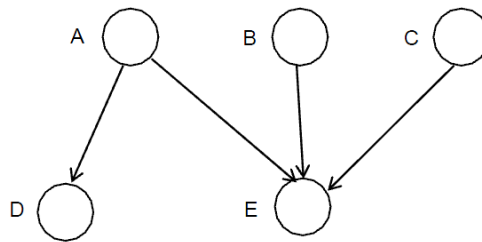


Figura C.1 - Estrutura de uma rede Bayesiana.

Na Figura C.1 é apresentado um exemplo de uma rede Bayesiana. Neste exemplo, a estrutura da rede Bayesiana estabelece a influência causal das variáveis A, B e C (nós pais) sobre as variáveis D e E (nós filhos). O conjunto $V = \{A, B, C, D, E\}$ é o conjunto de variáveis do sistema.

ANEXO C -CONVERSÃO DE UMA REDE DE PETRI PARA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PADRONIZADA PELA NORMA IEC61131-3

Uma vez executada a padronização do software de controle, é possível executar a conversão de módulos de controle em rede de Petri Interpretada para permitir a implementação deste em Controladores Programáveis (CPs) que atendam as linguagens de programação estabelecidas pela IEC61131-3. Para efetuar esta conversão de forma isomórfica utiliza-se o procedimento de substituição de cada elemento da rede de Petri Interpretada por elementos do diagrama Ladder conforme apresenta a Figura D.1 (WIGHTKIN et al., 2010).

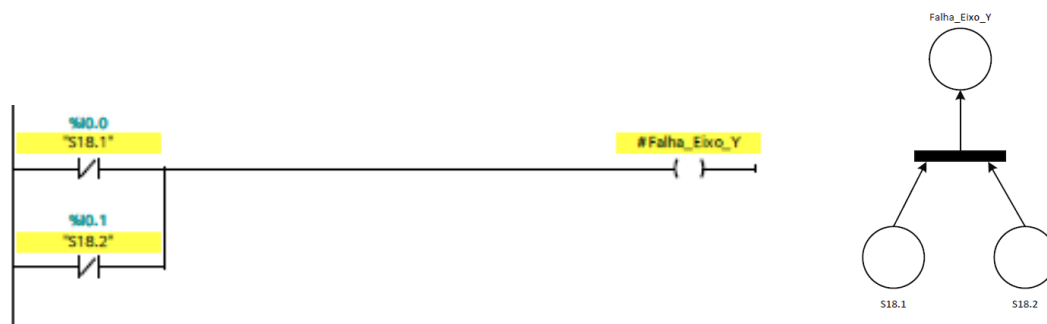


Figura D.1 – Exemplo de um diagrama Ladder obtido a partir de uma rede de Petri

Cada etapa do programa deve, necessariamente, estar disposta conforme o seguinte critério: primeiro as transições, depois as etapas e por último as ações. Obedecendo esta regra, obtém-se como resultado um diagrama Ladder que pode ser implementado em qualquer CP que possua a linguagem de programação Ladder padronizada pela IEC61131-3. Devido à criação de um elevado número de elementos Ladder, após a tradução pode ser realizado um agrupamento ou simplificação de funções, tornando assim o programa mais simples para implementação de fato no CP.

ANEXO D - TOPOLOGIA DE SISTEMAS DE CONTROLE

Segundo (ISA, 2000), arquitetura de um sistema é definida como a estrutura e organização lógica de funcionamento de um sistema, onde estão determinadas as inter-relações entre os componentes do sistema e onde cada componente possui uma função específica de controle. Desta forma, os sistemas podem ser classificados em dois grupos em função da topologia adotada para efetuar o controle, são elas:

- 1) Sistema de controle Centralizado: São sistemas que possuem um único controlador onde, toda a lógica de controle do sistema é processada neste controlador. Este sistema, normalmente, é aplicado a pequenos processos com menor número de entradas e saídas. A Figura A.1(a) apresenta o esquema de uma arquitetura de controle do tipo centralizada;

- 1) Sistema de controle Distribuído: Neste tipo de sistema há dois ou mais controladores, envolvidos na execução do controle. Neste contexto, os controladores podem estar organizados de três formas básicas (Fig. A.1 (b), (c) e (d)):

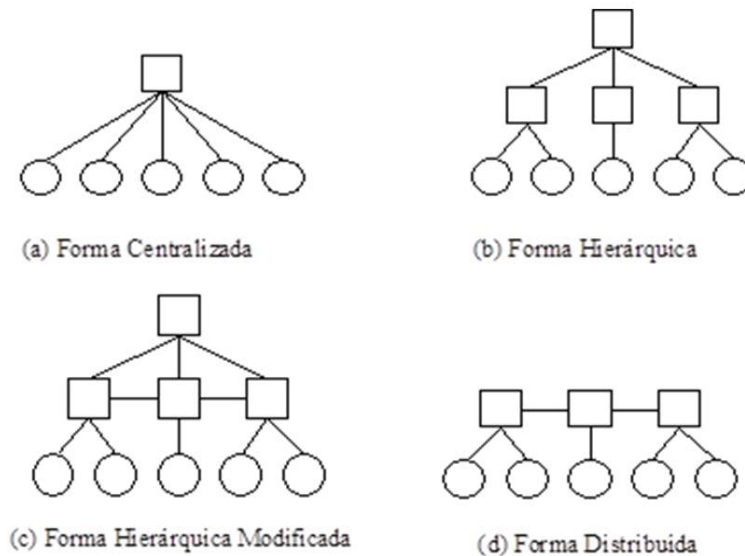


Figura A.1 – Formas básicas de arquiteturas de controle de SP

ANEXO E – MALHA DE DETERMINAÇÃO DE SIL

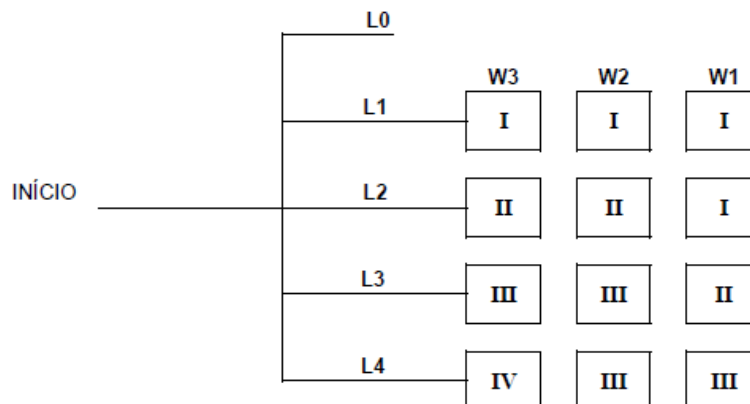
PERDA DE PRODUÇÃO OU DANOS AOS EQUIPAMENTOS

Frequências de Demanda

Frequência	Denominação	Caracterização
W1	Muito Baixa	Acima de 10 anos
W2	Baixa	Uma em cada 1 - 10 anos
W3	Alta	Mais de uma por ano

Perdas de produção ou danos aos equipamentos

Potencial de perdas de produção ou danos aos equipamentos	Descrição
L0	Sem perturbações operacionais ou danos a equipamentos
L1	Pequenas perturbações operacionais ou danos reduzidos ao equipamento
L2	Moderadas perturbações operacionais ou danos moderados ao equipamento
L3	Grande perturbação operacional ou dano grave ao equipamento
L4	Perda de produção associada a dano em equipamento essencial



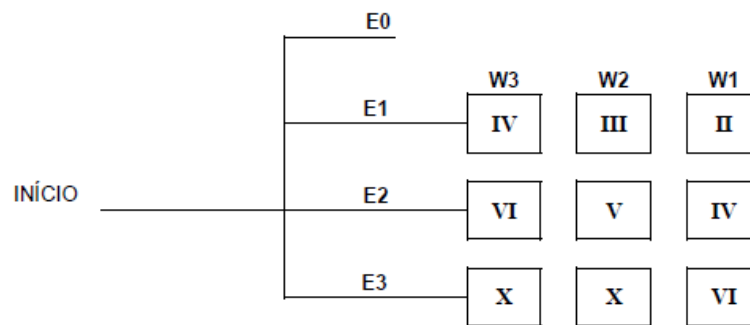
POTENCIAL DE DANOS AO MEIO AMBIENTE

Frequências de Demanda

Frequência	Denominação	Caracterização
W1	Muito Baixa	Acima de 10 anos
W2	Baixa	Uma em cada 1 - 10 anos
W3	Alta	Mais de uma por ano

Danos ao meio ambiente

Potencial de danos ao meio ambiente	Descrição
E0	Sem liberação ou liberação sem consequências ambientais
E1	Liberação para dentro dos limites geográficos da companhia com consequências ambientais conhecidas
E2	Liberação para fora dos limites geográficos da companhia com consequências ambientais conhecidas
E3	Liberação para fora dos limites geográficos da companhia com consequências ambientais desconhecidas



SEGURANÇA PESSOAL

Frequências de Demanda

Frequência	Denominação	Caracterização
W1	Muito Baixa	Acima de 10 anos
W2	Baixa	Uma em cada 1 - 10 anos
W3	Alta	Mais de uma por ano

Risco ao ser humano

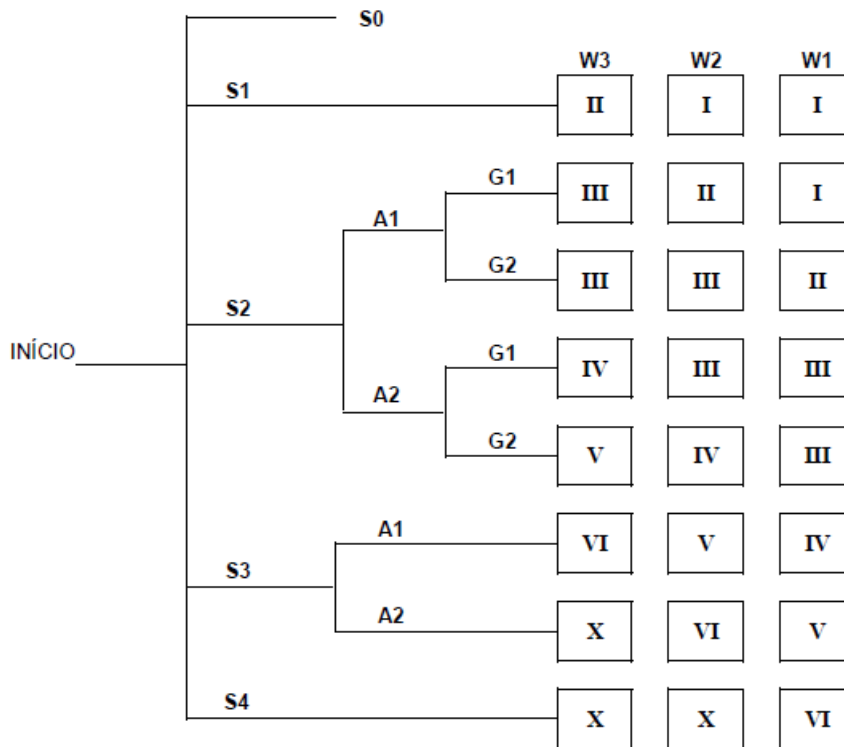
Potencial de risco ao ser humano	Descrição
S0	Nenhum
S1	Lesões com afastamento
S2	Invalidez ou morte de uma pessoa
S3	Invalidez ou morte de várias pessoas
S4	Catástrofe

Grau de presença humana

Grau de presença humana na área de risco	Descrição
A1	Raramente
A2	Frequentemente

Exposição ao risco

Possibilidade de evitar a exposição ao risco	Descrição
G1	Sob certas condições
G2	Difícilmente possível



CLASSE DA MALHA x PFD x SIL

Tabela para definição do nível de SIL pelos critérios de probabilidade de falha em demanda

Classe da Malha de Segurança	PFD	SIL
I	$> 10^{-1}$	0
II	$> 10^{-1}$	0
III	$> 10^{-2} - < 10^{-1}$	1
IV	$> 10^{-3} - < 10^{-2}$	2
V	$> 10^{-4} - < 10^{-3}$	3
VI	$> 10^{-4} - < 10^{-3}$	3
X	$> 10^{-5} - < 10^{-4}$	4

PFD: Probabilidade de Falha na Demanda

ANEXO F VALIDAÇÃO DOS CONTROLES

