

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS**

Eduardo Marschall

**Projeto de Fim de Curso
Projeto de Automação da Área de Recebimento
de um Entrepósito de Armazenamento de Grãos**

Florianópolis

2019

Eduardo Marschall

Projeto de Automação da Área de Recebimento de um Entrepósito de Armazenamento de Grãos

Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a aprovação na disciplina DAS 5511: Projeto de Fim de Curso do curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação. Orientador: Prof. Felipe Gomes de Oliveira Cabral, Dr.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Marschall, Eduardo

Projeto de Automação da Área de Recebimento de um
Entrepasto de Armazenamento de Grãos / Eduardo Marschall ;
orientador, Felipe Gomes de Oliveira Cabral, orientadora,
Marina Padilha, coorientador, Murillo Jorge Cunha, 2019.

74 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia de Controle e Automação,
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia de Controle e Automação. 2. Entrepasto. 3.
Recebimento de grãos. 4. TIA Portal. I. Cabral, Felipe
Gomes de Oliveira. II. Padilha, Marina. III. Cunha,
Murillo Jorge. IV. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia de Controle e Automação. V. Título.

Eduardo Marschall

Projeto de Automação da Área de Recebimento de um Entrepósito de Armazenamento de Grãos

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511: Projeto de Fim de Curso e aprovada na sua forma final pelo Curso de Engenharia de Controle e Automação.

Florianópolis, 10 de dezembro de 2019

Banca Examinadora:

Marina Padilha

Orientadora na Empresa
GreyLogix Brasil

Felipe Gomes de Oliveira Cabral

Orientador no Curso
Universidade Federal de Santa Catarina

Werner Kraus Junior

Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Renato Kendy Murata

Debatedor
Universidade Federal de Santa Catarina

Gustavo Ardigó de Souza

Debatedor
Universidade Federal de Santa Catarina

Agradecimentos

Agradeço eternamente meus pais, Tania e Rubens, por me oportunizar esse privilégio de estudar em uma das melhores universidades do país e por me apoiar e incentivar nessa jornada.

Gostaria de agradecer meus irmãos, Angela e Renan, por terem acompanhado minha graduação e terem demonstrado um companheirismo e uma cumplicidade extraordinária o tempo todo.

Agradeço também meu ex-companheiro, Leogildo Lino, que sempre incentivou meu estudo e me acompanhou durante quase toda minha graduação, tornando esse período muito mais agradável.

À UFSC e seus colaboradores, por fazer da instituição um local propício para o desenvolvimento da ciência e disseminação do conhecimento, proporcionando um ambiente de crescimento profissional e pessoal, através do pensamento crítico e da convivência com as diversidades.

Ao escritório de Florianópolis da GreyLogix Brasil, por me dar a oportunidade de me desenvolver profissionalmente e a seus funcionários que se demonstraram extremamente amigáveis e dispostos a ajudar sempre que fosse preciso, principalmente: minha orientadora, Marina Padilha, que gastou tempo demais me ensinando e me orientando desde o início de meu estágio, e meu coorientador, Murillo Cunha, que demonstrou uma paciência extraordinária para me auxiliar no desenvolvimento desse projeto.

Resumo

A empresa GreyLogix Brasil tem explorado um nicho novo de automação na área de armazenamento de grãos. As plantas atuais possuem certo grau de automação, porém o manuseio de vários equipamentos é desnecessariamente feito de forma manual devido a falta de um projeto que consiga atender as necessidades dos clientes. Essa operação manual aumenta o tempo necessário para iniciar a operação de descarga das moegas que recebem os grãos dos caminhões, acarretando em um aumento no tempo de espera dos cooperados na hora de realizar a descarga do produto no entreposto. O projeto em questão propõe uma solução para esse problema através da introdução de equipamentos automáticos na área de recebimento dos grãos, fazendo com que se tenha a possibilidade de funcionamento automático da área e aumentando a flexibilidade da utilização dos equipamentos através da formação de rotas dinâmicas. O projeto é modelado em redes de Petri para que se tenha uma formalização e melhor entendimento da lógica utilizada para controlar o sistema. A programação lógica e o desenvolvimento do sistema supervisorio é desenvolvida no *TIA Portal* e através desse *software* é possível realizar testes e validações da lógica, das telas e dos blocos criados para o projeto.

Palavras-chave: Entreposto. Recebimento de grãos. TIA Portal.

Abstract

GreyLogix Brasil has been exploring a new automation niche in the grain storage area. Today's plants have some degree of automation, but the handling of various equipment is unnecessarily done manually due to the lack of a project that can meet customer needs. This manual operation increases the time required to start the unloading operation of the pits that receive the grain from the trucks, resulting in an increase in the waiting time when unloading the product in the warehouse. The project here presented proposes a solution to this problem by introducing automatic equipment in the grain receiving area, allowing the automatic operation of the area and increasing the flexibility of equipment use through the formation of dynamic routes. The project will be modeled in Petri nets to have a formalization and better understanding of the logic used to control the system. The logic programming and supervisory system development is done in TIA Portal and through this software it is possible to perform tests and validations of the logic, screens and blocks created for the project.

Key-words: Grain Storage Facility. Grains receiving Facility. TIA Portal

Lista de ilustrações

Figura 1 – Ciclo de gestão de projetos GreyLogix Brasil	15
Figura 2 – Interface inicial do TINA	16
Figura 3 – Interface inicial do TIA Portal	17
Figura 4 – Fluxograma da área de recebimento do entreposto modelo	30
Figura 5 – Modelagem de um Silo Pulmão	32
Figura 6 – Modelagem de um transportador de correia	33
Figura 7 – Modelagem de uma válvula de cinco vias	34
Figura 8 – Modelagem da chegada de grãos e carregamento da moega	35
Figura 9 – Modelagem da lógica de um equipamento genérico de dois estados	37
Figura 10 – Modelagem de uma válvula de cinco vias	39
Figura 11 – Lógica de desligamento de equipamentos em Rede de Petri	40
Figura 12 – Lógica de Descarregamento da Moega A para os silos pulmão	41
Figura 13 – Lógica de pedido de <i>bypass</i>	42
Figura 14 – Lógica de pedido de recirculação	43
Figura 15 – Modelo final da rede de Petri do recebimento do entreposto modelo	45
Figura 16 – Lógica de alocação e ligamento de rota	47
Figura 17 – Lógica de desalocação e desligamento de rota	49
Figura 18 – Lógica de seleção de rota	49
Figura 19 – Lógica de verificação de rota pronta para moega	51
Figura 20 – Lógica de integração da moega com silo pulmão	52
Figura 21 – Lógica de verificação de intertravamento de final de rota	54
Figura 22 – Lógica de verificação de intertravamento simples	55
Figura 23 – Fluxograma de sinais e ações programadas	58
Figura 24 – Modelagem dos modos de operação da válvula	59
Figura 25 – Modelagem das posições da válvula	60
Figura 26 – Divisões criadas no código	61
Figura 27 – Tela básica de desenvolvimento das telas do projeto	63
Figura 28 – Blocos estáticos	64
Figura 29 – <i>Block Icons</i> dos objetos dinâmicos usados	65
Figura 30 – Página inicial do <i>faceplate</i> da válvula de cinco vias	66
Figura 31 – Páginas secundárias do <i>faceplate</i> da válvula de cinco vias	67
Figura 32 – Tela final da área de recebimento do entreposto modelo	69

Sumário

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Apresentação	8
1.2	Motivação	9
1.3	Justificativa	10
1.4	Objetivo Geral	11
1.5	Objetivos Específicos	11
1.6	Metodologia	11
1.6.1	Entendimento da Planta	11
1.6.2	Definição do Entrepasto Padrão e seu Funcionamento	12
1.6.3	Modelagem da Planta	12
1.6.4	Estudo das Ferramentas Utilizadas e Desenvolvimento do Código	12
1.7	Organização do Documento	12
2	CONTEXTUALIZAÇÃO	14
2.1	A Empresa	14
2.1.1	Bilfinger GreyLogix GmbH	14
2.1.2	GreyLogix Brasil	14
2.1.3	GreyLogix Brasil - Escritório de Florianópolis	15
2.2	Ferramentas de desenvolvimento	16
2.2.1	<i>Time Petri Net Analyzer</i>	16
2.2.2	<i>TIA Portal</i>	16
2.3	Bases Teóricas	18
3	O PROCESSO	19
3.1	Divisão de um Entrepasto	19
3.1.1	Recebimento	19
3.1.2	Pré-Limpeza, Secagem e Limpeza	21
3.1.3	Armazenamento e Expedição	22
3.1.4	Processamento de Vagem	23
3.1.5	Resíduos Comercializáveis	23
3.1.6	Impurezas	23
3.2	Funcionamento atual da área de recebimento	23
3.3	Problemas atuais da área de recebimento e possíveis soluções	24
3.3.1	Formação Manual de uma Rota e <i>Layout</i> do Entrepasto	24
3.3.2	Incertezas da Operação Manual	25
3.3.3	Tempo Ocioso	25

3.3.4	Paradas de Descarga	25
3.3.5	Desperdício de Energia	26
3.3.6	Tempo de Espera pelo Cooperado	26
4	PROPOSTA DE ENTREPOSTO MODELO	27
4.1	Recebimento Básico	27
4.2	Recebimento Proposto	28
4.3	Requisitos Propostos	31
4.3.1	Redundância de Equipamentos	31
4.3.2	Alocação Dinâmica de Rota	31
4.3.3	Versatilidade	31
4.3.4	Padrão de Interface	31
5	MODELAGEM EM REDE DE PETRI	32
5.1	Equipamentos	32
5.1.1	Moegas e Silos Pulmão	32
5.1.2	Elevadores, Esteiras e Válvulas <i>ON/OFF</i> e de Duas Vias	33
5.1.3	Válvulas de 5 Vias	33
5.2	Lógica de Chegada de Grãos e Carregamento da Moega	34
5.3	Seleção de Equipamento, Alocação de Rota e Acionamento	35
5.3.1	Válvulas <i>ON/OFF</i> e de Duas Vias, Elevadores e Esteiras	36
5.3.2	Válvulas de 5 Vias	38
5.4	Desalocação de Rota e Desligamento	40
5.5	Pedido de Descarga para os Silos Pulmão	41
5.6	Pedido de Descarga para <i>Bypass</i>	42
5.7	Pedido de Descarga para Recirculação	42
5.8	Modelo Final	43
6	DESENVOLVIMENTO NO <i>TIA PORTAL</i>	46
6.1	Conversão da Rede de Petri para <i>Grafcet</i> e <i>Ladder</i>	46
6.2	Funções Lógicas de Funcionamento	46
6.2.1	Função de Ligar e Desligar Rota	46
6.2.2	Função de Selecionar Rota	49
6.2.3	Descarga de Moega	50
6.2.4	Função de Integração entre a Moega e os Silos Pulmão	51
6.3	Intertravamentos	53
6.3.1	Verificador de Intertravamento em Equipamentos Finais	53
6.3.2	Verificador de Intertravamento em Equipamentos Intermediários	54
6.4	Proteções	55
6.4.1	<i>Zero Speed</i>	56

6.4.2	Embuchamento	56
6.4.3	Desalinhamento	56
6.4.4	Emergência	56
6.4.5	Amperímetro Digital	57
6.4.6	Sobrecarga do Motor	57
6.5	Permissões	57
6.6	Fluxo de Sinais e Ações	57
6.7	Blocos de Equipamentos	59
6.7.1	Modelagem da Válvula de Cinco Vias	59
6.7.2	Programação e Funcionamento da Válvula de Cinco Vias	60
6.8	Sistema Supervisório	62
6.8.1	<i>Template</i> das Telas do Projeto	62
6.8.2	Blocos Estáticos	63
6.8.3	Blocos Dinâmicos	64
6.8.3.1	<i>Block Icons</i>	65
6.8.3.2	<i>Faceplates</i>	65
6.8.4	Tela Final	67
7	CONCLUSÃO	70
7.1	Trabalhos Futuros	71
7.1.1	Malhas de Controle	71
7.1.2	Projetos das Outras Áreas	71
7.1.3	Integração das Áreas	71
7.1.4	Estudo de <i>Hardware</i> e Custos	72
	REFERÊNCIAS	73

1 Introdução

1.1 Apresentação

O cenário tecnológico da última década é marcado pelo avanço acelerado no desenvolvimento de tecnologias que melhoram e facilitam a vivência e o trabalho humano e possibilitam uma maior produtividade através da implementação de sistemas inteligentes e lógicas que diminuem o desperdício, tanto de tempo, quanto de insumos e energia.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), na safra de 2018/19 o Brasil foi o segundo maior produtor de soja do mundo, produzindo 114,843 milhões de toneladas do grão, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, com uma produção de 123,664 milhões de toneladas [1]. Além disso, o Brasil é o maior exportador de grãos de soja do mundo, ocupa a quarta posição na produção de farelo e de óleo de soja e a segunda posição em exportação dos mesmos [2]. A soma dos valores da exportação desses três produtos resultou em U\$ 49,9 bilhões em 2018, sendo U\$ 33,2 bilhões provindos da exportação dos grãos de soja, U\$ 6,7 bilhões da exportação do farelo e U\$ 1 bilhão do óleo. Em seu boletim mensal de acompanhamento da safra brasileira de grãos, a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) [3] apresenta os valores atuais e as estimativas para a safra de 2020 (atualizados em 10/10/2019). A área destinada a plantação de soja na safra de 2018/19 foi de 35.874,1 hectares, correspondendo a 59,19% da área total destinada a plantação de grãos. A produção foi de 115.030,1 mil toneladas, equivalente a 48,87% da produção total de grãos. Além disso, a Conab apresenta que o crescimento esperado no plantio de soja é de 1,9%, devendo atingir uma produção de 120,4 milhões de toneladas caso não haja nenhum grande problema climático.

Ainda segundo a Conab, o Brasil é o terceiro maior produtor e exportador de milho do mundo (ficando atrás dos Estados Unidos que produziu 352 milhões de toneladas e da China com uma produção de 254 milhões de toneladas), produzindo um total de de 100 milhões de toneladas na safra de 2018/19, correspondente a 42,5% do total desse período. A área plantada nesse intervalo foi de 17.496,2 mil hectares (equivalente a 28,87% da área total destinada a agricultura).

Analisando os dois grãos em conjunto, verifica-se que a produção total desses dois tipos de grãos na safra de 2018/19 corresponde, em peso, a 91,37% do total do grãos produzidos no Brasil, ou seja, 215 milhões de toneladas de grãos e a área destinada ao plantio dos mesmos é de 53,37 mil hectares, equivalente a 88,06% da área total de plantio desse período.

Os dados apresentados comprovam e enfatizam a importância da soja e do milho

no cenário econômico brasileiro. Fica evidente a importância de se investir em tecnologias para aumentar a produtividade, melhorar a qualidade dos grãos, agilizar sua colheita e seu manuseio e diminuir o tempo ocioso na cadeia produtiva. Vários desses pontos já foram abordados e continuam sendo melhorados anualmente com a introdução de sementes geneticamente modificadas [4], desenvolvimento de novas plantadeiras e colheitadeiras com sistemas de GPS integrados e piloto automático, além dos estudos relacionados ao solo e espaçamento para um plantio mais eficiente [5].

Após a colheita dos grãos, estes são levados a um local de armazenamento para que possam ser vendidos no decorrer do ano, garantindo que se tenha o abastecimento dos grãos ao mercado de forma consistente nos momentos de entressafra. O processo de armazenagem requer processos intermediários de limpeza e secagem dos grãos para que se tenha uma maior durabilidade do grão enquanto armazenado e para garantir que não se tenha elementos indesejados, como cascas, galhos e vagens misturados com os grãos. Para que esses processos sejam possíveis, faz-se necessária a utilização de vários equipamentos comuns em sistemas industriais automatizados, como esteiras, elevadores, válvulas e silos. Cada elemento dessa cadeia já possui um fabricante especializado que realiza estudos e testes em suas máquinas e equipamentos a fim de garantir um bom funcionamento e melhor eficiência dos mesmos.

O principal desafio vem da integração desses elementos que compõem o sistema como um todo. Por motivos históricos o manuseio dos componentes é feito, em grande parte, de forma manual, gerando um desperdício de tempo que poderia ser resolvido com um projeto mais automatizado de geração de rotas, posicionamento e ligamento dos equipamentos, além de um sistema supervisor que possibilitaria maior controle sobre o sistema.

1.2 Motivação

Para atender toda a produção de grãos do Brasil, faz-se necessário que se tenha locais de armazenamento suficiente para atender a demanda dos agricultores. Esse armazenamento é feito, em sua maioria, por cooperativas, através dos entrepostos de armazenamento de grãos. Como foi citado anteriormente, a quantidade de soja e de milho produzida anualmente é muito grande, dessa forma, a quantidade de entrepostos existentes deve ser proporcionalmente grande. Algumas das grandes cooperativas que realizam esse trabalho de armazenamento e sua respectiva quantidade de entrepostos distribuídos nos locais produtores podem ser vistos na Tabela 1, apresentada abaixo.

Tabela 1 – Quantidade de entrepostos em algumas cooperativas no Brasil

Empresa ou Cooperativa	Quantidade de Entrepostos
COAMO	Mais de 100 Unidades
Cocamar	Mais de 70 Unidades
Integrada	60 Unidades
C.Vale	97 Unidades
Copacol	14 Unidades
TOTAL	Mais de 314 Unidades

Fonte: Contato direto com as empresas

Pode-se verificar que a quantidade de entrepostos existentes no Brasil é bastante expressiva. A ausência de um sistema de integração que realiza o ligamento dos equipamentos e posicionamento das válvulas automaticamente faz com que se tenha um grande mercado aberto para a introdução de novas soluções que possam melhorar e agilizar o processo. Sendo assim, verificou-se a possibilidade do desenvolvimento de um trabalho que possa suprir essa necessidade de avanços tecnológicos na área de recebimento de grãos.

1.3 Justificativa

A empresa GreyLogix Brasil presta serviços para algumas cooperativas que realizam o serviço de recebimento, armazenamento e venda de grãos. O desenvolvimento de soluções em engenharia e automação para esses clientes aproximou a empresa dessa área, fazendo com que o entendimento do processo como um todo e de cada subprocesso separadamente. Além disso, a ida a campo dos funcionários e a conversa com operadores e cooperados possibilitou uma compreensão mais aprofundada dos principais problemas recorrentes nos entrepostos, bem como as maiores prioridades da cooperativa e do cooperado em relação a um entreposto ideal.

Com esse conhecimento é possível abordar os temas de maior interesse e que se encontram no escopo da área de atuação da GreyLogix Brasil para desenvolver um projeto de um entreposto padrão de recebimento e armazenamento de grãos. Com os resultados desse projeto, é possível demonstrar os benefícios de um possível investimento nessa tecnologia através de simulações e da demonstração dos pontos fracos do sistema atualmente utilizado. Dessa forma, um mercado novo poderá ser aberto para o escritório de Florianópolis da GreyLogix Brasil, podendo vender uma solução completa de automação e integração dos componentes existentes em um entreposto, além da padronização de novos projetos através da utilização dos blocos de programação, e de supervisorio desenvolvidos no trabalho aqui apresentado.

1.4 Objetivo Geral

Com esse projeto, visa-se agilizar o processo de recebimento de grãos pelo entreposto através da integração dos componentes para um funcionamento de forma automática, além de um melhor aproveitamento dos equipamentos e do tempo dos operadores, o desenvolvimento do projeto base de um entreposto padrão proporciona uma diminuição do tempo gasto no desenvolvimento de novos projetos da mesma área, uma vez que serão desenvolvidos blocos padrão que serão reutilizados em projetos futuros.

1.5 Objetivos Específicos

Por se tratar de um projeto que será primeiramente desenvolvido e depois será oferecido para diferentes clientes, os principais objetivos desse trabalho são desenvolver o projeto de automação da área de recebimento de um entreposto de armazenamento de grãos, diminuindo os custos de operação através da implementação de um sistema mais inteligente que possibilita, por exemplo, manutenção e até operação remotas. Além disso, visa-se diminuir os gastos de energia da empresa, uma vez que se sabe que alguns equipamentos ficam ligados mesmo quando não estão em uso.

Outro objetivo é diminuir o tempo de programação e desenvolvimento do projeto, uma vez que serão desenvolvidos blocos de código e de equipamentos para o sistema supervisorio, de forma que a cada projeto novo seja possível realizar as alterações no projeto do entreposto modelo para se adequar à planta do cliente sem a necessidade de grandes alterações na lógica ou nos equipamentos.

1.6 Metodologia

1.6.1 Entendimento da Planta

A primeira etapa para se iniciar o projeto deve ser voltado à compreensão do processo e do funcionamento de um entreposto de recebimento de grãos genérico. Como o escritório em que o projeto em questão é desenvolvido já realizou vários projetos e prestação de serviços para empresas desse ramo, há colaboradores da empresa que possuem grande conhecimento da arquitetura usual de um entreposto, bem como do funcionamento de cada elemento individualmente. Dessa forma, o especialista em automação do escritório de Florianópolis da GreyLogix Brasil, Murillo Jorge Cunha, é capaz de sanar quase todas as dúvidas que surgirem durante esse processo de aprendizado e entendimento, não somente do funcionamento, bem como dos principais problemas encontrados frequentemente nos entrepostos de armazenamento de grãos.

1.6.2 Definição do Entrepasto Padrão e seu Funcionamento

Apesar de possuírem os mesmos componentes e processos envolvidos, cada entreposto possui sua própria arquitetura e diferentes quantidades de componentes envolvidos. Em se tratando de paralelismo, pode-se ter mais de um componente de cada tipo para evitar paradas, possibilitar manutenções ou aumentar a capacidade de recebimento e armazenagem do entreposto. Além disso, a arquitetura de cada entreposto varia conforme a disponibilidade construtiva dos equipamentos, podendo ser necessário o uso de mais ou menos esteiras, válvulas ou elevadores, por exemplo. O projeto deverá ser desenvolvido baseado em um entreposto de pequeno a médio porte, de forma que seja um modelo inicial de qualquer projeto, podendo ser adicionado ou retirado qualquer componente com facilidade, customizando a planta conforme a necessidade do cliente.

1.6.3 Modelagem da Planta

Para que se tenha um desenvolvimento mais formal e com possibilidade de testes, decidiu-se realizar a modelagem do sistema em uma Rede de Petri. Optou-se por utilizar essa linguagem por já se ter conhecimento prévio da mesma, uma vez que ela foi estudada na unidade curricular "DAS5203 - Modelagem e Controle de Sistemas e Eventos Discretos", além da maior facilidade da conversão dessa linguagem para um Grafcet, linguagem existente na ferramenta de programação utilizada no desenvolvimento do código do projeto.

1.6.4 Estudo das Ferramentas Utilizadas e Desenvolvimento do Código

Algumas das ferramentas ou linguagens que serão utilizadas no projeto já são conhecidas, como o *Time Petri Net Analyzer* (TINA), que foi utilizado na unidade curricular "DAS5203 - Modelagem e Controle de Sistemas e Eventos Discretos" para modelagem de sistemas a eventos discretos, e o *TIA Portal*, utilizado na unidade curricular "DAS5305 - Informática Industrial I", ferramenta de programação e integração de sistemas automatizados. O uso dessa ferramenta, porém, se dará de forma muito mais complexa em relação ao que foi visto durante o curso, sendo então necessário um estudo mais aprofundado da ferramenta, bem como o conhecimento dos padrões utilizados pela empresa na programação para que se tenha um projeto de mais fácil entendimento por outros programadores. Esse processo de aprendizado se dará concomitantemente ao desenvolvimento do projeto, tendo em vista o tempo para o desenvolvimento do projeto e a dimensão do mesmo.

1.7 Organização do Documento

O documento aqui apresentado é dividido em 7 capítulos, em que serão descritas as atividades realizadas no período destinado a realização do projeto de fim de curso,

unidade curricular de código "DAS5511" do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina.

O presente capítulo é destinado a contextualização do leitor ao tema abordado, apresentando o cenário atual da produção de soja e milho do Brasil, a principal motivação da realização do projeto. Justifica-se a abordagem do tema pelo aluno, o motivo do interesse da GreyLogix Brasil em investir nessa área e é feita uma apresentação da organização do documento.

No segundo capítulo apresenta-se a empresa, juntamente com sua origem e um aprofundamento maior no escritório de Florianópolis, local onde o presente projeto foi desenvolvido. São apresentadas também as principais ferramentas utilizadas no desenvolvimento desse projeto.

O capítulo de número 3 é destinado para o discorrimento sobre o processo abordado. É explicada a divisão básica dos entrepostos, detalha-se as áreas e é explicado o funcionamento atual dos entrepostos e os problemas que acontecem por essa operação ser realizada desse modo.

O capítulo quatro apresenta a proposta da área de recebimento do entreposto modelo básico considerado no desenvolvimento do projeto em questão. São apresentados os equipamentos básicos e os equipamentos utilizados no projeto e elenca-se os requisitos propostos pela GreyLogix Brasil para esse trabalho.

O quinto capítulo descreve a modelagem realizada em rede de Petri. São mostrados os equipamentos individualmente, a lógica que rege o funcionamento do sistema e o resultado final da modelagem.

No sexto capítulo é discorrido sobre a programação no *TIA Portal*. São apresentados os blocos de código genéricos criados, o fluxo de sinais e ações, a modelagem e alterações realizadas em blocos de equipamentos e é detalhado o desenvolvimento do sistema supervisor.

O último capítulo apresenta as conclusões do projeto e quais trabalhos futuros serão realizados a partir do projeto aqui documentado.

2 Contextualização

2.1 A Empresa

2.1.1 Bilfinger GreyLogix GmbH

A empresa GreyLogix GmbH, fundada em 2000 por Gerd Witze, Sven Karsten e Lars Malter, tinha como objetivo inicial ser um escritório de engenharia para automação e tecnologia de *software* para os produtos da Siemens, especializada em automação para gestão de tratamento de água. Com o crescimento da empresa, a gama de áreas, serviços e tecnologias utilizadas aumentou, incluindo as áreas de energia, óleo e gas, comidas e bebidas, químicos e farmacêuticos, conceitos de segurança de TI, serviços em nuvem e *Web 2.0* [6].

Em 2013 a GreyLogix GmbH foi comprada pela *Bilfinger Industrial Technologies*, empresa especializada em projetos e construção de plantas industriais (conta atualmente com mais de 35.000 funcionários). A Bilfinger GreyLogix tem atualmente com mais de 630 funcionários, 48 *trainees* e 56 estudantes distribuídos em 23 escritórios na Alemanha [6].

2.1.2 GreyLogix Brasil

A GreyLogix Brasil foi fundada pelos ex-alunos do curso de engenharia de controle e automação da UFSC, Rafael Gonçalves e Renato Leal, após realizarem um estágio de dois anos na *Bilfinger GreyLogix GmbH*. Ao retornar da Alemanha, baseados no modelo de negócios da empresa em que trabalharam, criaram a GreyLogix Brasil. Atualmente a empresa brasileira é referência na área de automação industrial no Brasil, prestando serviços em diversos países da América Latina, como Chile, Argentina, Venezuela e Uruguai. Um dos indicadores da qualidade dos serviços prestados pela GreyLogix Brasil é vista pelas certificações de *solution partner*, concedida pela Siemens e ISO 9001, concedida pelo INMETRO. O constante crescimento da empresa faz com que se tenha atualmente mais de 90 funcionários divididos em 8 escritórios, sendo que cada um possui uma área específica de atuação:

- Florianópolis, SC - Alimentos e bebidas, energia e meio ambiente e água e efluentes;
- Mafra, SC (sede administrativa) - Papel e celulose;
- Canoinhas, SC - Papel e celulose;
- Blumenau, SC - Manufatura;

- Joinville, SC - Automobilística e metalmecânica;
- Curitiba, PR - Papel e celulose;
- Rio Negro, PR - Montagem de painéis;
- Sertãozinho, SP - Álcool e açúcar.

A Figura 1 mostra os serviços prestados pela GreyLogix nos projetos desenvolvidos. Observando essas etapas, pode-se verificar que há uma participação desde o início do projeto, partindo do estudo de viabilidade e criação de conceitos, passando por engenharia básica, de detalhamento, programação, fabricação de painéis e trabalho em campo, mantendo ainda um relacionamento de pós venda com os clientes, garantindo um serviço completo e um ciclo fechado na prestação de serviços.

Figura 1 – Ciclo de gestão de projetos GreyLogix Brasil



Fonte: GreyLogix Brasil[7]

2.1.3 GreyLogix Brasil - Escritório de Florianópolis

De todos os escritórios que fazem parte da empresa GreyLogix Brasil, o que está localizado em Florianópolis é o que teve o maior crescimento nos últimos anos. O escritório conta com 24 colaboradores, sendo que os mesmos estão englobados em um dos cinco setores existentes atualmente, de acordo com a área de atuação de cada indivíduo. O primeiro setor é formada pelos diretores do escritório, o segundo é formado pela equipe da área comercial, de compras e vendas, o terceiro é formado pela área de engenharia básica e de processos, o quarto é chamado engenharia de integração e o último é a engenharia de

software, que é onde se encontra a divisão responsável pelo desenvolvimento da programação e da automação, através do uso das informações das outras equipes.

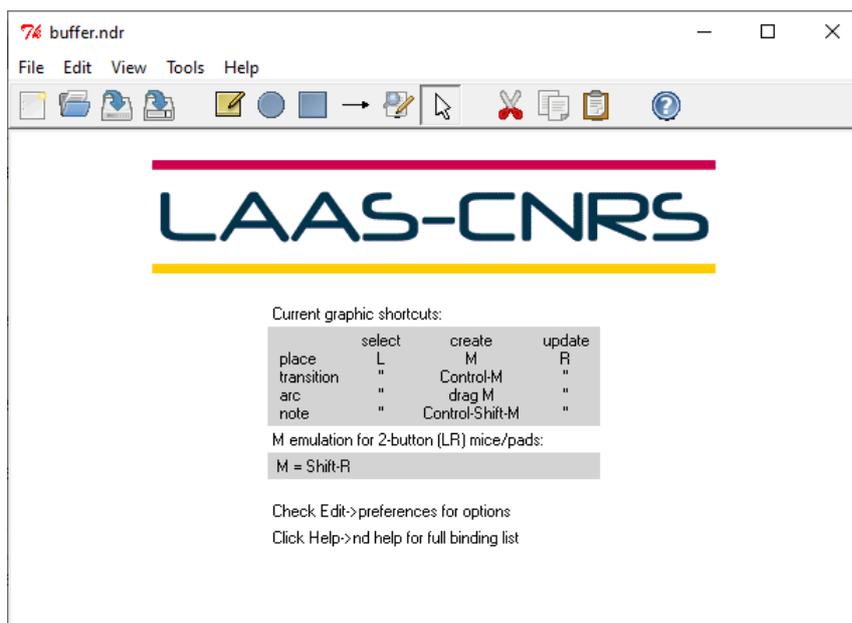
2.2 Ferramentas de desenvolvimento

2.2.1 Time Petri Net Analyzer

O TINA (TIme petri Net Analyzer) é uma ferramentas de criação, edição e análise de redes de Petri desenvolvido por grupos de pesquisa do laboratório de análise e arquitetura de sistemas (LAAS), do centro nacional de pesquisa científica de Paris (CNRS).

Esse *software* disponibiliza vários atributos comumente utilizados em redes de Petri, como arcos de leitura e inibidores, além de ferramentas de análise e validação da rede desenvolvida. Entre essas ferramentas, verifica-se a possibilidade de construção de grafos de alcançabilidade, análise estrutural, análise de caminhos e simulador de passos.

Figura 2 – Interface inicial do TINA



Fonte: Original

2.2.2 TIA Portal

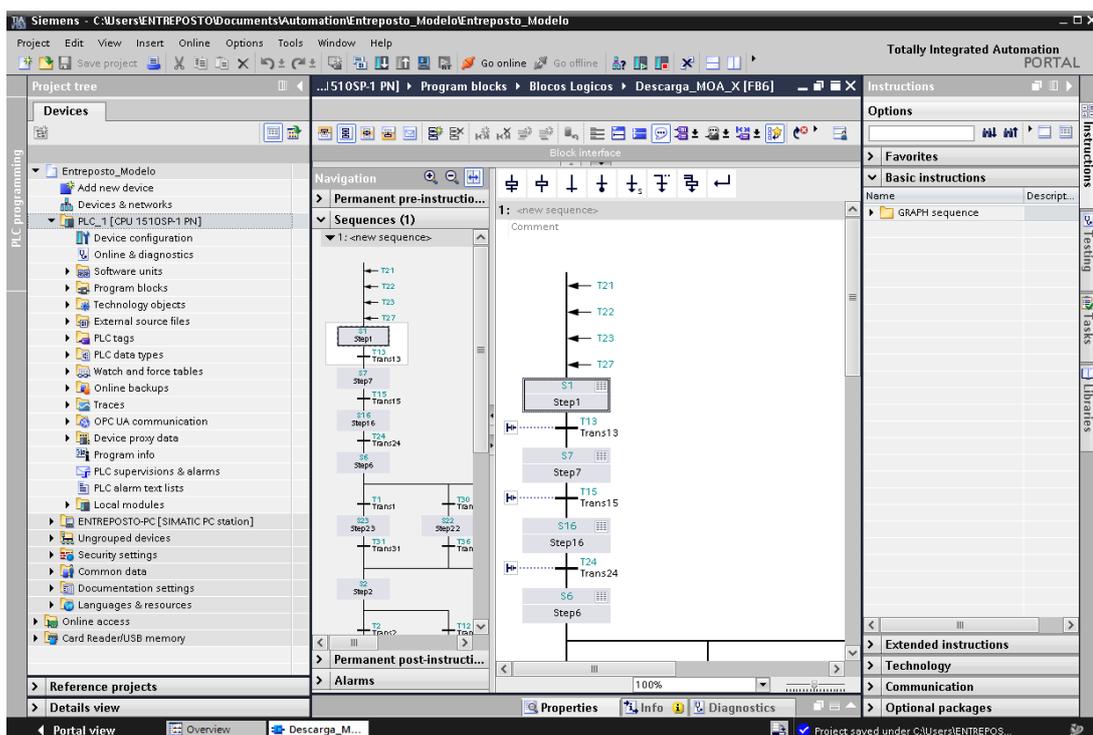
O TIA Portal (*Totally Integrated Automation*) da Siemens é uma ferramenta que permite a realização de automação de forma rápida e intuitiva. Lançado em 2010, permite que os usuários realizem tarefas de automação e acionamento de forma rápida e intuitiva usando configurações eficientes [8]. Pode-se realizar configurações e programação de equipamentos Siemens, tanto de controle, como CPUs e remotas de sinais, além de operação, IHMs e sistemas supervisórios.

A ferramenta disponibiliza de várias linguagens para o desenvolvimento das lógicas utilizadas no desenvolvimento do projeto. Entre elas, tem-se:

- *Ladder*;
- *Function Block Diagram*;
- *Statement List*;
- *Structured Control Language*;
- *Graph*.

A Figura 3 mostra a interface inicial do *TIA Portal* na visão "*Project View*". À esquerda da janela é possível visualizar a "*Project tree*", através dela é possível navegar em todos os componentes do projeto, seja para configuração de *hardware*, criação de blocos de programação, criação e edição de interfaces humano-máquina, etc.. Na aba do meio é possível ver o objeto que está aberto atualmente, na imagem exemplificada está aberta uma janela de programação em sequência, chamada *Graph*. À direita da figura são alternadas abas de auxílio no desenvolvimento do projeto como blocos lógicos, ferramentas de criação de telas de IHM, ou de configuração de hardware, por exemplo, dependendo da janela que está aberta no momento.

Figura 3 – Interface inicial do TIA Portal



Fonte: Original

2.3 Bases Teóricas

Para a realização do projeto aqui apresentado, fez-se necessário o estudo de diferentes conceitos já vistos durante a graduação. Para isso foram utilizadas diferentes fontes para cada área de conhecimento.

Para se ter uma boa base de desenvolvimento de sistemas a eventos discretos, utilizou-se a obra "*Introduction to Discrete Event Systems* [9]. Juntamente com esse livro, foi utilizado um livro da Editora da UFSC para auxiliar no desenvolvimento da rede de Petri, chamado "Redes de Petri"[10].

O desenvolvimento do projeto no *TIA Portal* requisitou bastante conhecimento extra, uma vez que se fez necessário o estudo da ferramenta utilizada e nela foram utilizadas várias linguagens de programação. Duas fontes de consulta foram utilizadas para o desenvolvimento da programação em *Ladder* e *Grafset*: "Automação de Processos com Linguagem Ladder e Sistemas Supervisórios"[11] e *GRAFSET specification language for sequential function charts* [12], respectivamente. O aprendizado do uso da ferramenta de programação em si se deu através de manuais desenvolvidos pela própria Siemens. Além dos fóruns de discussão da própria empresa, utilizou-se o *Programming Guideline for S7-1200/1500* [13].

3 O Processo

O escopo do projeto se dá em um entreposto de armazenamento de soja. Dar-se-á um detalhado a área de recebimento, que é o foco do desenvolvimento do trabalho em questão, e então será apresentado um panorama geral do funcionamento de um entreposto por completo.

3.1 Divisão de um Entreposto

Um entreposto de armazenamento de grãos possui diferentes componentes conforme o grão que se está armazenando. O modelo que será proposto tem foco no recebimento de soja e milho. Pode-se pensar que qualquer entreposto que recebe soja pode receber milho, porém o inverso não é necessariamente verdadeiro, por isso a proposta pode ser considerada como um entreposto de recebimento de soja, apesar de armazenar ambos grãos de acordo com a época do ano e a safra que se está colhendo.

O processo como um todo pode ser dividido em 5 grandes áreas:

- Recebimento;
- Pré-limpeza, secagem e limpeza;
- Armazenamento;
- Resíduos comercializáveis;
- Impurezas;
- Processamento de vagem.

A seguir será detalhada cada etapa individualmente.

3.1.1 Recebimento

Essa é área do processo a qual o projeto em questão aborda. Os grãos chegam ao entreposto através de caminhões graneleiros. Na chegada ocorre uma avaliação dos grãos que estão sendo entregues. São coletadas amostras de vários locais diferentes do caminhão e essas amostras são analisadas por máquinas no local para verificar a quantidade de impurezas na carga e a umidade dos grãos. A umidade dos grãos pode variar de aproximadamente 19% (grão muito úmido) até abaixo de 10% (grão adequado para o armazenamento). Essas medições influenciam no preço pago ao cooperado e as informações obtidas com as análises

podem ser utilizadas para melhorar a eficiência do entreposto através da categorização dos grãos em mais úmidos, menos úmidos e secos, uma vez que pode-se ter grãos que foram colhidos após dias de chuva, tornando-os mais úmidos, enquanto há produto que chegam por transferência de outro entreposto, estando já prontos para o armazenamento. As vantagens da separação dos grãos segundo sua umidade serão explicadas no Capítulo 3.1.2.

Os grãos devem ser descarregados em um local de armazenamento intermediário, chamado moega. As moegas ficam abaixo do solo para facilitar o descarregamento, dessa forma, os caminhões basculantes chegam ao local de descarga e podem descarregar sem auxílio de outras ferramentas, enquanto que caminhões que não possuem caçambas basculantes podem descarregar em uma moega que possui um sistema de tombamento do caminhão, uma plataforma que levanta o caminhão todo para derrubar a soja na moega. Normalmente apenas uma das moegas possui tombador, dessa forma, os grãos mais e menos úmidos tendem a ficar misturados nessa moega, enquanto que se tenta separar os grãos de acordo com sua umidade nas outras moegas. Como na época de colheita o tráfego é muito grande, muitas vezes, acaba-se misturando os grãos para que não se formem filas muito grande nas áreas de descarregamento.

Ao sair da moega, os grãos devem chegar a um dos elevadores, responsáveis somente por transferir o produto do subsolo até uma altura adequada para que o processo tenha sequência. Normalmente é usado mais de um equipamento de cada tipo (elevador, esteira, moega), primeiramente para aumentar a capacidade de recebimento do entreposto, e porque no caso de falha ou necessidade de manutenção de algum equipamento o sistema não fica parado. Entre esses dois equipamentos existem componentes intermediários, dependendo da disposição dos equipamentos. Nos exemplos estudados os grãos caem da moega diretamente nos elevadores, porém há casos em que se necessita a adição de esteiras para auxiliar na transferência do produto de um equipamento ao outro.

Seguindo o fluxo principal do processo, o produto que sai na parte superior dos elevadores deve ser encaminhado a um silo pulmão, normalmente através de uma esteira transportadora. Esses silos garantem um ponto de parada do processo, isto é, pode-se fazer uma separação clara entre o processo até os silos, incluindo os mesmos, e o processo posterior a eles. Além disso, eles garantem matéria-prima para que a planta não fique parada em caso de falha de algum equipamento do recebimento. Os silos, assim como as moegas, devem ter o produto dividido conforme a umidade média dos grãos. Deseja-se que se tenha pelo menos dois silos pulmão, dessa forma é possível dividir os grãos em duas categorias: grãos com umidade superior a 15% e grãos com umidade de 11 a 15%, por exemplo. O produto que chega ao entreposto com umidade abaixo de 11% podem ser enviados diretamente aos silos de armazenamento, não devendo passar pelos silos pulmão.

Outro fluxo possível na saída dos elevadores é o de recirculação entre as moegas,

sendo assim, qualquer moega pode transferir seu conteúdo para qualquer outra moega (como no caso de a moega tombadora estar cheia e só ter caminhões não basculantes para descarga). Isso faz com que seja necessário adicionar válvulas direcionais com mais vias nas saídas dos elevadores para que seja possível realizar essa transferência entre moegas.

Como mencionado, há a possibilidade de se receber grãos secos no entreposto, normalmente proveniente de transferência dos grãos entre entrepostos para abastecer uma região. Dessa forma, faz-se necessária a adição de válvulas multi-direcionais nas saídas das esteiras transportadoras que levam a soja aos silos pulmão. Essas válvulas devem ser capazes de direcionar o fluxo de produto para os elevadores localizados após os silos pulmão (os primeiros elevadores da próxima área).

É importante destacar que cada silo pulmão possui uma válvula de descarga associada a ele, porém elas não foram incluídas no projeto pois seu acionamento é ditado por um sinal proveniente do secador, sendo assim, fica definido o final dessa área como sendo o silo pulmão e a prioridade dessa área é encher os silos pulmão o mais rápido possível, com a diferenciação entre os grãos mais e menos úmidos.

3.1.2 Pré-Limpeza, Secagem e Limpeza

Essa área da planta possui os equipamentos que realizam todas as atividades que possibilitam a armazenagem dos grãos com qualidade e maior duração. Como o escopo do projeto não incorpora essa área, nem nenhuma das que serão apresentadas abaixo, elas serão apresentadas de forma mais resumida, mostrando o sequenciamento dos processos, porém sem detalhar todos os componentes que são utilizados nas rotas até tal equipamento.

O primeiro processo que ocorre com os grãos é a pré-limpeza. Isso faz com que sejam removidos quaisquer impurezas como galhos, vagens, poeira e grãos danificados que normalmente vem junto aos grãos desejados. Como os silos pulmão ficam no nível do solo, faz-se necessário o uso de elevadores para poder jogar os grãos na máquina de pré-limpeza. Essa máquina possui várias peneiras com furos de diferentes tamanhos, dessa forma é possível separar as impurezas maiores, os grãos inteiros, as vagens, os grãos quebrados e a sujeira em pó.

A máquina de pré limpeza possui vários compartimentos de saída. Os resíduos grandes e a poeira são direcionados à área de resíduos descartáveis. As vagens são direcionadas ao sistema de processamento de vagens, os grãos quebrados são levados à área de resíduos comercializáveis e os grãos inteiros, que restam como o produto desejado, continuam no fluxo principal do processo em direção ao secador.

Para poder alimentar o secador com os grãos úmidos, faz-se necessário novamente o uso de elevadores. O secador é a peça principal de todo o entreposto. Além de ser o maior equipamento envolvido no processo, também é o que necessita mais tempo de estadia

dos grãos, é o processo mais custoso e importante para que se tenha um armazenamento duradouro dos grãos. O custo elevado da utilização do secador provém do fato que é necessário um fluxo alto e constante de ar quente passando pelos grãos. Manter a fornalha em altas temperaturas é custoso, então deve ser utilizada a capacidade máxima do secador sempre que possível para que o aproveitamento do ar seja de maior eficiência. Isso faz com que a melhor estratégia para o uso do secador seja aguardar que os dois silos pulmão estejam cheios para se iniciar o processo de aquecimento da fornalha e enchimento do secador com os grãos úmidos. Sendo assim, conclui-se que é o secador que deve controlar a abertura das válvulas dos silos pulmão. O processo de secagem só é iniciado quando se tem pelo menos dois dos silos pulmão cheios e a alimentação do secador deve ser feita de forma sequencial dos silos, ou seja, descarregar um dos silos por completo antes de iniciar a descarga do outro, dessa forma, é possível realizar uma secagem dos grãos de forma mais homogênea porque os grãos mais úmidos precisam de um tempo de residência no secador superior que os grãos menos úmidos e se eles forem misturados antes da secagem, o que se teria na saída do secador seriam grãos queimados ou grãos úmidos misturados com os grãos secos.

Na saída do secador é feita a medição da umidade dos grãos para verificar se eles estão fora dos padrões esperados. Para o caso de não se ter obtido a umidade desejada, faz-se a recirculação dos grãos através do mesmo elevador que alimenta o secador. Ao se obter os grãos em umidade ideal, os mesmos são encaminhados à máquina de limpeza, através dos mesmos elevadores que alimentam o secador. Destaca-se aqui que o secador possui um fluxo constante de produto. Sua válvula de saída está sempre liberando uma quantidade de grãos para o sistema, então o que define o tempo de estadia dos grãos no secador é justamente a velocidade de liberação dessa válvula. A mesma deve ser ajustada conforme o tipo de grãos que foi alimentado no equipamento, os dados medidos na saída do secador e a temperatura atual da fornalha.

A máquina de limpeza tem por finalidade remover as impurezas que restaram misturados com os grãos. Assim como a máquina de pré-limpeza, há vários componentes que saem da máquina de limpeza, direcionados às devidas áreas (resíduos descartáveis, processamento de vagens e resíduos comercializáveis). Na saída principal desse equipamento se tem os grãos devidamente secos e limpos, prontos para o armazenamento.

3.1.3 Armazenamento e Expedição

Nessa área, deve-se ter somente grãos limpos e secos, de forma que possam ser armazenados e/ou expedidos. Considera-se então que o produto já passou por todas as áreas anteriores ou está vindo de outro entreposto e passou pelos mesmos processos lá. Os grãos que saem do secador são transferidos por uma esteira transportadora até elevadores, estes levam os grãos para outra esteira que distribui os mesmos em um dos silos. Os

grãos ficam armazenados nos silos até o momento de expedição. Quando é requisitada a expedição de produto, os silos liberam os grãos em uma esteira que os leva ao mesmo elevador de alimentação dos silos e direciona o fluxo para o silo de expedição.

Para ocorrer a expedição, o caminhão que irá transportar o produto deve se posicionar no ponto de descarga, em baixo do silo de expedição. Quando o silo está cheio ocorre a liberação para um compartimento do silo em que se realiza a pesagem dos grãos para que se tenha um controle sobre a quantidade carregada. Ao atingir um peso determinado os grãos são liberados para a caçamba do caminhão. Esse processo de pesagem é feito tantas vezes quantas forem necessárias para carregar a quantidade desejada.

3.1.4 Processamento de Vagem

As vagens (no caso da soja) que são separadas pelas máquinas de pré-limpeza e de limpeza são encaminhadas através de um elevador para a trilhadeira. Esse equipamento é capaz de separar a vagem dos grãos de soja. Os grãos que são recuperados nesse processo são então encaminhados para os elevadores pós máquina de pré-limpeza, para que sejam encaminhados ao secador. As vagens que são separadas na trilhadeira são encaminhadas para a área de impurezas.

3.1.5 Resíduos Comercializáveis

Os grãos quebrados que são filtrados pela máquina de limpeza são enviados à área de resíduos comercializáveis. Nessa área, o produto proveniente da máquina é encaminhado a um elevador, e então é armazenado em um silo de resíduos. Uma vez que esse silo enche, ocorre a expedição desses produtos através dos elevadores da área de armazenamento e expedição.

3.1.6 Impurezas

Os componentes que não podem ser aproveitados de nenhuma forma no processo são enviados à área de impurezas. Nessa parte da planta são recebidas impurezas do secador, das máquinas de pré-limpeza e limpeza, de seus filtros manga e da trilhadeira. Esses rejeitos são transferidos para um galpão através de um elevador, onde ficam estocados até que sejam eliminados ou descartados para outro lugar.

3.2 Funcionamento atual da área de recebimento

Para essa explicação será considerado que se está no início de operação, ou seja, todos os equipamentos estão parados e os silos e moegas estão vazios. Como foi mencionado no Capítulo 3.1.1, o processo de recebimento se inicia com a chegada de caminhões carregados

no entreposto e a realização de análises de umidade e impurezas em diversas amostras de diferentes pontos da carga. Uma vez que essa medição é concluída, um operador indica o local mais adequado para a descarga do caminhão. Essa operação é repetida até atingir o sinal de que alguma das moegas está cheia. Nesse momento se inicia o processo de transferência desse produto para um dos silos pulmão ou para a área de armazenamento, no caso dos grãos já estiverem dentro dos padrões de armazenagem.

São instalados cabos com etiquetas para que o operador realize a troca manual da posição da válvula direcional no topo do elevador para o destino desejado. Outro operador posiciona a válvula direcional da moega para o elevador que será utilizado (muitas vezes é o mesmo operador que realiza as duas tarefas). Realiza-se então o acionamento dos equipamentos que o operador selecionou para fazer essa transferência do produto. O acionamento é feito no sentido contrário ao fluxo de grãos, isto é, inicia-se pelo equipamento anterior ao silo pulmão e liga-se sequencialmente o equipamento anterior até chegar no equipamento que fica diretamente após a moega. Tendo todos os equipamentos ligados e posicionados, faz-se a liberação de uma pequena quantidade de grãos da moega e os operadores acompanham a trajetória dos grãos para confirmar que os mesmos estão indo para o destino desejado. Uma vez confirmada a trajetória correta, ocorre a abertura da válvula da moega para descarga até o esvaziamento total da moega.

Ao se ter a sinalização de que a moega foi completamente descarregada, o operador deve realizar o desligamento dos equipamentos no sentido do fluxo dos grãos (iniciando-se a partir da válvula de liberação de grãos da moega e finalizando no equipamento anterior ao silo pulmão).

3.3 Problemas atuais da área de recebimento e possíveis soluções

3.3.1 Formação Manual de uma Rota e *Layout* do Entreposto

Para realizar o descarregamento de uma moega é necessário realizar o acionamento de cada equipamento individualmente, escolhendo qual equipamento fará parte daquela sequência até o destino final. Além de se ter essa escolha, o operador deve ter o cuidado de selecionar um equipamento que consiga realizar a rota que ele deseja. Em muitos casos os equipamentos em paralelo realizam rotas complementares, ou seja, enquanto a esteira transportadora "A" é capaz de realizar somente o *bypass* total e o carregamento dos silos pulmão, a esteira "B" só consegue realizar o *bypass* parcial e o carregamento dos silos pulmão, por exemplo. O mesmo pode ocorrer para a recirculação ou em outras áreas da planta. Esse segundo problema não pode ser resolvido através de soluções de lógica ou sensores, somente através de alterações da disposição dos equipamentos e de suas conexões. O primeiro problema pode ser resolvido com uma lógica que realiza automaticamente a alocação dos equipamentos para a formação da rota. Através do código seria possível

também adicionar essas restrições dos equipamentos para que eles não fossem utilizados caso não tenham a capacidade de levar o produto para o destino desejado.

3.3.2 Incertezas da Operação Manual

A necessidade de verificação manual pelos operadores dos destinos dos grãos na rota de forma manual aumenta consideravelmente o tempo desperdiçado cada vez que se tem uma mudança no destino da rota. Esse problema pode ser resolvido através do uso de válvulas com *feedback*. Através delas é possível garantir que o caminho desejado está sendo cumprido e se tem certeza que o destino desejado será atingido.

3.3.3 Tempo Ocioso

É possível concluir pela descrição acima que há um tempo considerável que é desperdiçado quando se tem que formar uma rota nova. A necessidade de trocar a posição das válvulas direcionais de forma manual, sendo que muitas vezes as etiquetas dos cabos enferrujam ou caem, cada vez que se tem que formar uma rota nova e além disso ter de enviar uma quantidade de grãos para verificar a legitimidade do caminho desejado faz com que se tenha uma ociosidade que poderia ser resolvida com o uso de válvulas controladas automaticamente ou por um sistema supervisor.

3.3.4 Paradas de Descarga

Um grande problema dos entrepostos de forma geral está na grande frequência das paradas que o sistema sofre por diversos problemas. Não se tem controle sobre alguns desses problemas, como desalinhamento e esticamento de esteiras e elevadores, porém há casos que podem ser melhorados ou evitados, é o caso dos embuchamentos e abertura de disjuntor por excesso de carga nos motores, por exemplo. O primeiro caso acontece quando se tem produto obstruindo a passagem entre dois equipamentos, ocasionado pelo acúmulo de grãos devido a diferença de velocidade ou capacidade dos equipamentos. O segundo caso normalmente acontece com os elevadores quando os grãos estão muito úmidos e há um exagero na quantidade de grãos direcionados para aquele equipamento, fazendo com que o motor não seja capaz realizar o trabalho desejado, aumentando assim a corrente absorvida da rede e fazendo com que o disjuntor desarme. Ambos os problemas descritos acima poderiam ser resolvidos de duas formas: a primeira seria através do redimensionamento dos equipamentos para que consigam realizar suas operações em velocidades parecidas, e a segunda envolve a adição de um medidor de corrente nos motores. Através desse sensor seria possível controlar as válvulas de liberação de produto para o sistema e/ou controlar a velocidade do equipamento anterior para que não se tenha uma sobrecarga no equipamento em questão.

3.3.5 Desperdício de Energia

A operação atual necessita que o operador verifique que a descarga da moega já foi finalizada para que ele faça individualmente o desligamento de cada equipamento que estava realizando a operação. Isso faz com que se tenha um tempo considerável em que os equipamentos fiquem ligados operando a vazio. Isso pode ser resolvido com uma lógica que verifique automaticamente se os elevadores estão sendo utilizados por alguma das moegas ou através do uso de medidores de corrente nos equipamentos para que se saiba quando há carga nos equipamentos, indicando se os mesmos estão carregados ou não.

3.3.6 Tempo de Espera pelo Cooperado

Como os entrepostos são geridos pelas cooperativas, há uma necessidade de manter o cooperado satisfeito para que ele continue associado à empresa que armazena os grãos. Um dos principais desejos do cooperado é que se tenha uma descarga rápida de seus grãos. Diz-se que o cooperado quer "chegar, descarregar, ser pago e ir embora" o mais rápido possível para que o caminhão possa voltar para a lavoura e ser carregado novamente, acelerando o processo de colheita. Todos os problemas descritos acima que tem relação com desperdício de tempo afetam essa questão. Somando a demora na formação da rota, a necessidade de deslocar um operador para verificar a legitimidade da rota e as paradas da planta consomem tempo considerável na espera do cooperado para descarregar seu produto, gerando também insatisfação e possibilidade de busca de outra empresa para vender seus grãos.

4 Proposta de Entrepasto Modelo

Como já foi mencionado anteriormente, o projeto aqui desenvolvido não é resultado de um projeto comprado ou encomendado por algum cliente, é um mercado no qual se viu possibilidade de melhorias através da utilização de equipamentos automáticos e de uma programação adequada que melhore a eficiência dos equipamentos, além da agilização dos carregamentos e descarregamentos dos equipamentos de armazenamento.

4.1 Recebimento Básico

Foram estudados *layouts* de entrepostos utilizados por empresas que já foram visitadas por funcionários da GreyLogix Brasil para que se tivesse uma ideia das rotas normalmente oferecidas nessas empresas e para se comparar a quantidade de cada equipamento que as empresas usam. Essas são as duas principais diferenças vistas ao se comparar entrepostos. Pode-se observar que alguns equipamentos são essenciais para o funcionamento do entreposto, de forma que eles aparecem em todos os projetos e seria impossível montar uma planta dessas sem eles. Ao mesmo tempo, há equipamentos auxiliares, que servem para transportar ou direcionar o produto entre os equipamentos principais.

Abaixo estão listados os equipamentos essenciais da área de recebimento de um entreposto de armazenamento de grãos.

- Moega;
 - Válvula *ON/OFF* de saída da moega;
- Elevador;
- Silo pulmão.

Esses quatro equipamentos são indispensáveis para que se possa realizar o recebimento dos grãos desejados, uma vez que se precisa descarregar os grãos em algum lugar (moega) para se iniciar o processo, deve-se ter um controle sobre o envio de produto para o sistema (válvula) e para poder armazenar o equipamento em um *buffer* intermediário (silo pulmão), faz-se necessário elevar a altitude dos grãos (elevador) para que possam ser despejados no silo pulmão.

Infelizmente não é possível realizar a operação descrita acima somente com os itens listados, uma vez que se torna fisicamente impossível transportar os grãos diretamente entre os equipamentos. Por esse motivo são usadas esteiras transportadoras, que realizam esse

transporte intermediário. Além disso, conforme se adicionam equipamentos em paralelo para aumentar a capacidade do entreposto, faz-se necessária a adição de válvulas direcionais (2 ou mais vias).

4.2 Recebimento Proposto

Através do estudo e da comparação de diferentes entrepostos conhecidos, chegou-se a um modelo básico parecido com os projetos atendidos atualmente. Para se poder ter maior flexibilidade na utilização dos equipamentos foram adicionados mais caminhos possíveis, embora não se tenha certeza da possibilidade da composição física desses equipamentos, torna-se mais fácil projetar todas as rotas possíveis e eliminar os caminhos não utilizados de acordo com o projeto em questão. Abaixo serão listados os equipamentos e a quantidade de cada equipamento, bem como o motivo de seu uso.

A Figura 4 mostra um diagrama de equipamentos e rotas possíveis na área de recebimento do entreposto modelo proposto. Através da imagem é possível verificar a grande quantidade de rotas existentes nessa área.

O entreposto modelo foi planejado para ter três pontos de descarregamento, sendo um deles equipado com um tombador. Optou-se por utilizar três moegas porque é o mais comumente visto nos projetos estudados. Tem-se três classificações de grãos segundo sua umidade. O mais interessante seria separar cada moega para receber grãos de um tipo, porém essa solução não é viável, uma vez que pelo menos uma das moegas (e normalmente somente uma) é equipada com um tombador, sendo assim, faz-se necessário que se tenha uma alternância do tipo de grão que é carregado em cada moega para que seja possível atender todos os caminhões e ao mesmo tempo não se ter muita mistura dos grãos molhados e úmidos. Enquanto isso, a moega que possui tombador deve ser priorizada para o uso dos caminhões não basculantes.

Ainda relacionado às moegas, tem-se as válvulas *ON/OFF* de liberação dos grãos armazenados e as válvulas de duas vias, que direcionam o produto para um dos dois equipamentos em paralelo que seguem.

Optou-se por utilizar sempre dois equipamentos em paralelo, dessa forma é possível realizar sempre duas operações ao mesmo tempo, diminuindo o tempo de espera dos grãos na moega e aumentando a capacidade de recebimento do entreposto, diminuindo também o tempo de espera dos cooperados quando se tem as moegas cheias.

Após as moegas e seus respectivos dispositivos, faz-se necessário a adição de esteiras transportadoras para encaminhar os grãos para os elevadores. Adicionou-se então duas esteiras em paralelo em que cada uma possui uma válvula de duas vias associada para poder direcionar os grãos para um dos elevadores que vem em seguida.

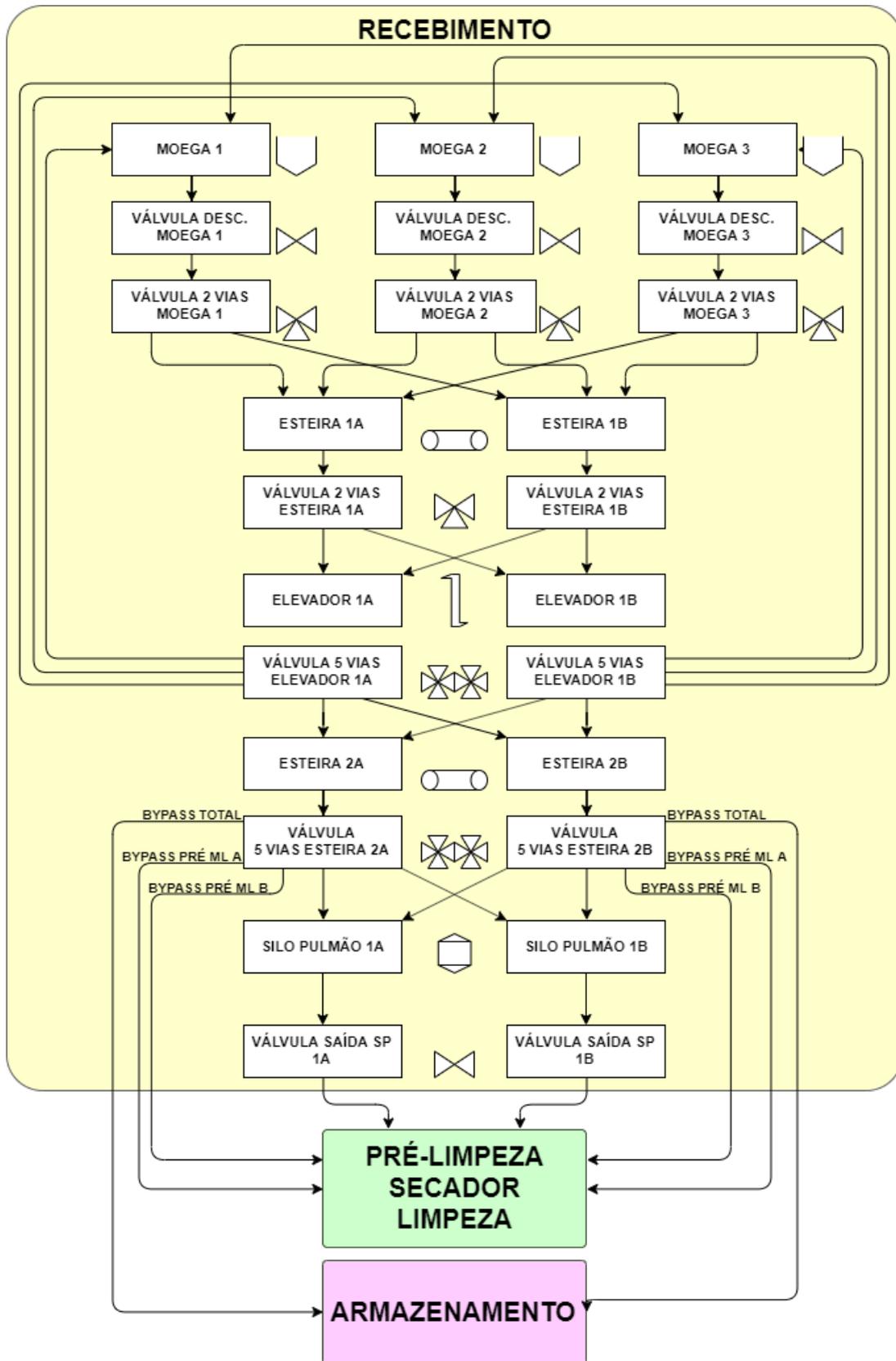
Os dois elevadores também possuem válvulas direcionais associadas a cada um, porém nesse caso as válvulas são de cinco vias, uma vez que se tem as rotas de recirculação dos grãos entre as moegas, ou seja, tem-se três vias alocadas para a realização da recirculação e duas vias que levam aos próximos equipamentos.

Seguindo a rota principal, após os elevadores existem mais duas esteiras transportadoras, uma vez que normalmente os silos pulmão não estão próximos o suficiente dos elevadores para poder realizar sua carga de forma direta. São colocadas duas esteiras em paralelo e novamente se tem uma válvula de cinco vias associada a cada esteira, de forma que é possível realizar a carga dos dois silos pulmão, realizar um *bypass* total, ou seja, direcionar os grãos para a área de armazenamento, ou então realizar um *bypass* parcial, levando os grãos para os elevadores que direcionam o produto para a máquina de limpeza. Essas três últimas rotas são destinadas aos grãos classificados como secos, sendo que no *bypass* total os grãos estão limpos (normalmente vindo de outro entreposto) e no *bypass* parcial os grãos possuem sujeira misturada com o produto desejado (normalmente grãos de colheita tardia ou que vem de outro entreposto mas que ficaram guardados por muito tempo).

A escolha de se colocar dois silos pulmão se deve ao fato de que os grãos classificados como secos não precisam passar por essa armazenagem intermediária, logo é possível associar cada silo pulmão a um tipo de grão (úmido ou molhado). Essa associação é feita de forma dinâmica, ou seja, dependendo da quantidade de grãos classificados como um tipo ou outro, pode-se ter os dois silos carregados com o mesmo tipo, podendo ocorrer a mudança sempre que o silo for descarregado por completo.

As válvulas de saída dos silos pulmão foram classificadas como parte da área de recebimento, porém não serão tratadas no projeto por elas serem controladas somente por elementos existentes na área de pré-limpeza, secagem e limpeza.

Figura 4 – Fluxograma da área de recebimento do entreposto modelo



Fonte: Original

4.3 Requisitos Propostos

Com o conhecimento dos principais problemas e gargalos do recebimento de um entreposto foi possível selecionar algumas características necessárias para que se tenha uma projeto modelo com maior flexibilidade. Essas propriedades são listadas e detalhadas abaixo.

4.3.1 Redundância de Equipamentos

Como já foi mencionado anteriormente, para que se tenha maior capacidade de recebimento e diminuição do tempo parado faz-se necessário o uso de equipamentos em paralelo. Isso previne a parada total dessa área caso algum equipamento entre em falha ou seja necessário realizar sua manutenção.

4.3.2 Alocação Dinâmica de Rota

Para que seja possível utilizar qualquer um dos equipamentos em paralelo em uma rota, é preciso que os equipamentos não estejam associados a uma rota específica, ou seja, os equipamentos com sufixo "A" não devem ficar associados à rota 1 nem os equipamentos "B" a rota 2 e vice-versa. Isso quer dizer que as rotas devem ser feitas de forma dinâmica, sendo que os equipamentos são associados a uma rota conforme a necessidade e a disponibilidade de cada equipamento. Dessa forma, uma rota pode ser formada pelos "Elevador 1A" e "Esteira 2B", por exemplo. Essa associação de equipamentos de forma cruzada só é possível com a utilização das válvulas de várias vias, que já foram mencionadas no Capítulo 4.2.

4.3.3 Versatilidade

O projeto em questão é uma proposta de modelo que deverá sofrer alterações conforme a disponibilidade de equipamentos de cada entreposto, logo o desenvolvimento da lógica e da programação do projeto (no *TIA Portal*) devem ser realizados de forma que seja possível reutilizar os blocos de programação desenvolvidos necessitando da menor quantidade possível de alterações.

4.3.4 Padrão de Interface

O desenvolvimento das telas de supervisor deve seguir os padrões de cores e estilos desenvolvidos no período de estágio do autor do documento aqui apresentado [14].

5 Modelagem em Rede de Petri

A fim de formalizar o desenvolvimento do projeto e auxiliar no desenvolvimento da lógica do processo optou-se por modelar o sistema em uma linguagem baseada em eventos discretos. A linguagem escolhida foi Redes de Petri por ser uma linguagem já vista na graduação e ser de maior domínio pelo autor do trabalho em relação à outras linguagens (como autômatos finitos).

Para diminuir a complexidade da rede de Petri, optou-se por modelar somente a operação automática e não representar as falhas dos equipamentos no primeiro momento. Caso se demonstre que essa modelagem é interessante, poder-se-á adicionar esses conceitos posteriormente, tratando-os como interrupções.

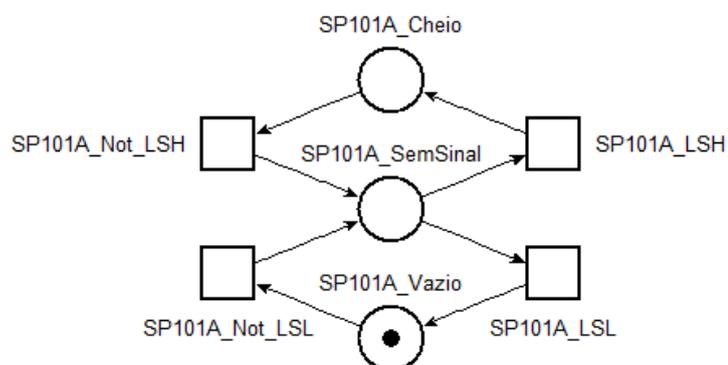
5.1 Equipamentos

Inicia-se essa parte do projeto com a modelagem de cada equipamento separadamente. Como mencionado acima, a modelagem não leva em conta o equipamento em falha, logo, os estados representados possuem somente os estados de funcionamento adequado (ou está ligado ou está desligado, ou está aberto ou está fechado, etc.).

5.1.1 Moegas e Silos Pulmão

As moegas e os silos pulmão possuem o mesmo princípio de modelagem. Ambos possuem os sinais de equipamento cheio (LSH - *Level Switch High*) e de equipamento vazio (LSL - *Level Switch Low*).

Figura 5 – Modelagem de um Silo Pulmão



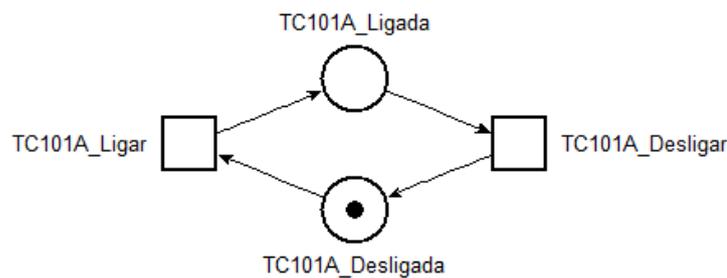
Fonte: Original

Pode-se ver pela Figura 5 que os equipamentos de armazenamento possuem um estado que indica que o equipamento está cheio, um indicando que está vazio e outro que indica que nenhum dos sinais está ativo. Nesse estado intermediário o equipamento pode estar sendo carregado, descarregado ou estar somente com os grãos armazenado. Esses estados são atingidos com as ativações ou desativações dos sinais "LSL" e "LSH".

5.1.2 Elevadores, Esteiras e Válvulas *ON/OFF* e de Duas Vias

Os equipamentos aqui tratados foram colocados na mesma categoria por possuírem a mesma estrutura de modelagem. Todos possuem dois estados apenas diferenciando-se pelo fato que nos equipamentos que possuem motores os estados representam se o mesmo está ligado ou desligado, enquanto que nas válvulas *ON/OFF* eles indicam se a válvula está aberta ou fechada, e nas válvulas de duas vias eles representam se a mesma está na posição "P0" ou "P1". A Figura 6 mostra um exemplo da modelagem de um desses equipamentos.

Figura 6 – Modelagem de um transportador de correia



Fonte: Original

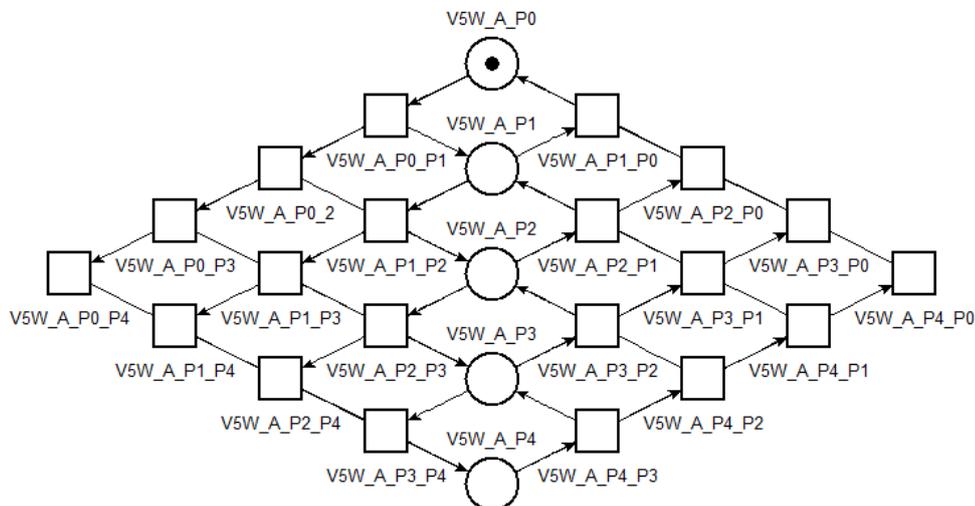
5.1.3 Válvulas de 5 Vias

As válvulas de mais de duas vias podem ser modeladas de diferentes formas. Duas opções foram consideradas para essa modelagem: a primeira consiste em modelar os cinco estados possíveis de posição da válvula (de "P1" a "P5") com transições que apenas ligariam dois estados diretamente vizinhos. Nesse caso, seriam necessárias apenas 8 transições na modelagem do equipamento, porém seria necessário criar uma lógica para forçar o acontecimento de cada transição até chegar a posição desejada. A segunda abordagem baseia-se na adição de todas as combinações de transições entre os estados da válvula. Isso gera uma quantidade maior de transições, porém remove a necessidade de modelagem da lógica para mudanças de estados não vizinhos na válvula.

Optou-se pela segunda opção de modelagem pelo fato de que facilita na elaboração da lógica de funcionamento, uma vez que se pode apenas especificar qual estado se quer chegar e pela lógica da válvula isso já vai ativar somente a transição que levará ao estado

desejado, sem a necessidade de tratamento adicional ao alterar a posição da válvula. A modelagem escolhida de uma válvula de cinco vias genérica pode ser vista na Figura 7.

Figura 7 – Modelagem de uma válvula de cinco vias



Fonte: Original

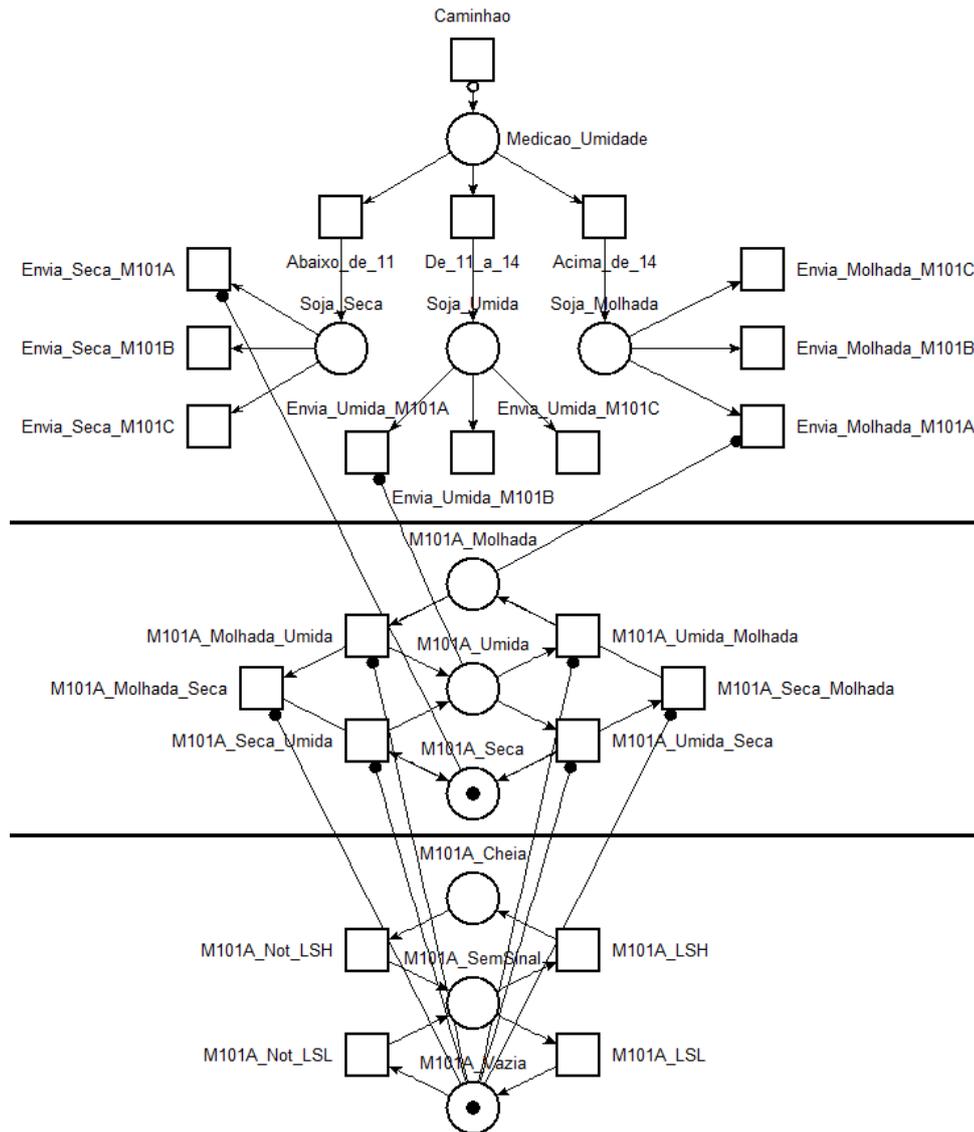
5.2 Lógica de Chegada de Grãos e Carregamento da Moega

Conforme mencionado anteriormente, é desejável separar os grãos nas moegas e nos silos pulmão conforme a umidade dos mesmos. Para que isso seja possível, foi adicionado ao modelo uma seção de medição de umidade. Após a realização da medição, a informação da classificação dos grãos deve ser indicada no modelo. Com a identificação da umidade do produto que chega, é possível indicar em qual moega deve ser descarregada a carga em questão. A Figura 8 mostra a modelagem feita para essa área de chegada de grãos no entreposto. Pode-se observar três blocos distintos nessa imagem: o primeiro bloco representa a chegada de carga no entreposto, a medição de umidade e o descarregamento dos grãos em alguma das moegas. A segunda parte da imagem mostra uma lógica de troca de tipo de grão armazenado na moega em questão, enquanto que no terceiro bloco da imagem é vista a modelagem da moega em si (modelagem análoga ao silo pulmão, visto na Figura 5).

No início do primeiro bloco estão representados os estados e transições de chegada e medição dos grãos. Uma vez que se tenha essa categorização é possível indicar em qual moega pode ser feito o descarregamento. Por serem modelos análogos, foi mostrado somente a modelagem da moega "A". As transições de enviar os grãos para as moegas são conectadas através de um arco de leitura com o estado que indica que a moega está carregada com grãos daquele tipo, garantindo assim que não se terá mistura dos tipos de grãos em cada moega.

O segundo bloco somente faz a troca do tipo de grão que a moega possui. Nota-se que novamente as transições são conectadas com um arco de leitura. Nesse caso eles estão conectados ao estado que indica que a moega está vazia. Isso garante novamente que não haverá mistura de grãos e garante que só poderá haver troca do tipo de carregamento uma vez que todos os grãos que já estavam armazenados foram descarregados.

Figura 8 – Modelagem da chegada de grãos e carregamento da moega



Fonte: Original

5.3 Seleção de Equipamento, Alocação de Rota e Acionamento

Como a planta proposta possui sempre dois equipamentos em paralelo (com exceção das moegas e os equipamentos associados à elas), conclui-se que no máximo se pode ter duas rotas ativas ao mesmo tempo. O fato de se poder encaminhar os grãos de um equipamento com sufixo "A" tanto para o equipamento "A" subsequente quanto para o equipamento

"B" faz com que não se possa ter as rotas pré-definidas, ou seja, a formação das rotas deve ser dinâmica.

Exemplificando um problema que ocorreria caso as rotas fosse fixadas pelos sufixos "A" e "B", de forma que todos os equipamentos "A" estão em uma rota e todos os equipamentos "B" na outra. Na ocorrência de um problema no elevador "A" e ao mesmo tempo tivesse um problema em uma transportadora de correia "B", levaria toda a área de recebimento ficar parada até a resolução de pelo menos um dos problemas. Utilizando-se dessa técnica de formação de rotas dinamicamente, no exemplo citado, poderia-se criar uma rota que utilizaria o elevador "B" e a transportadora "A", fazendo com que o recebimento continuasse funcionando. Pode-se concluir, então, que para que se tenha a possibilidade de formação de uma rota é necessário apenas que um equipamento de cada tipo esteja em condições de funcionamento.

Essa abordagem de geração das rotas de forma dinâmica traz grande complexidade ao projeto. Além da seleção da rota que o equipamento estará alocado, tem de se ter várias variáveis auxiliares para poder identificar em que rota cada equipamento está, qual rota está sendo formada ou como definir o desligamento da rota uma vez que o carregamento dos silos pulmão foi finalizado.

Nos capítulos seguintes serão explicadas as lógicas por trás da modelagem e o motivo de se utilizar cada variável auxiliar, além dos intertravamentos e da exemplificação de um caso de seleção de rota e ligamento de um equipamento.

5.3.1 Válvulas *ON/OFF* e de Duas Vias, Elevadores e Esteiras

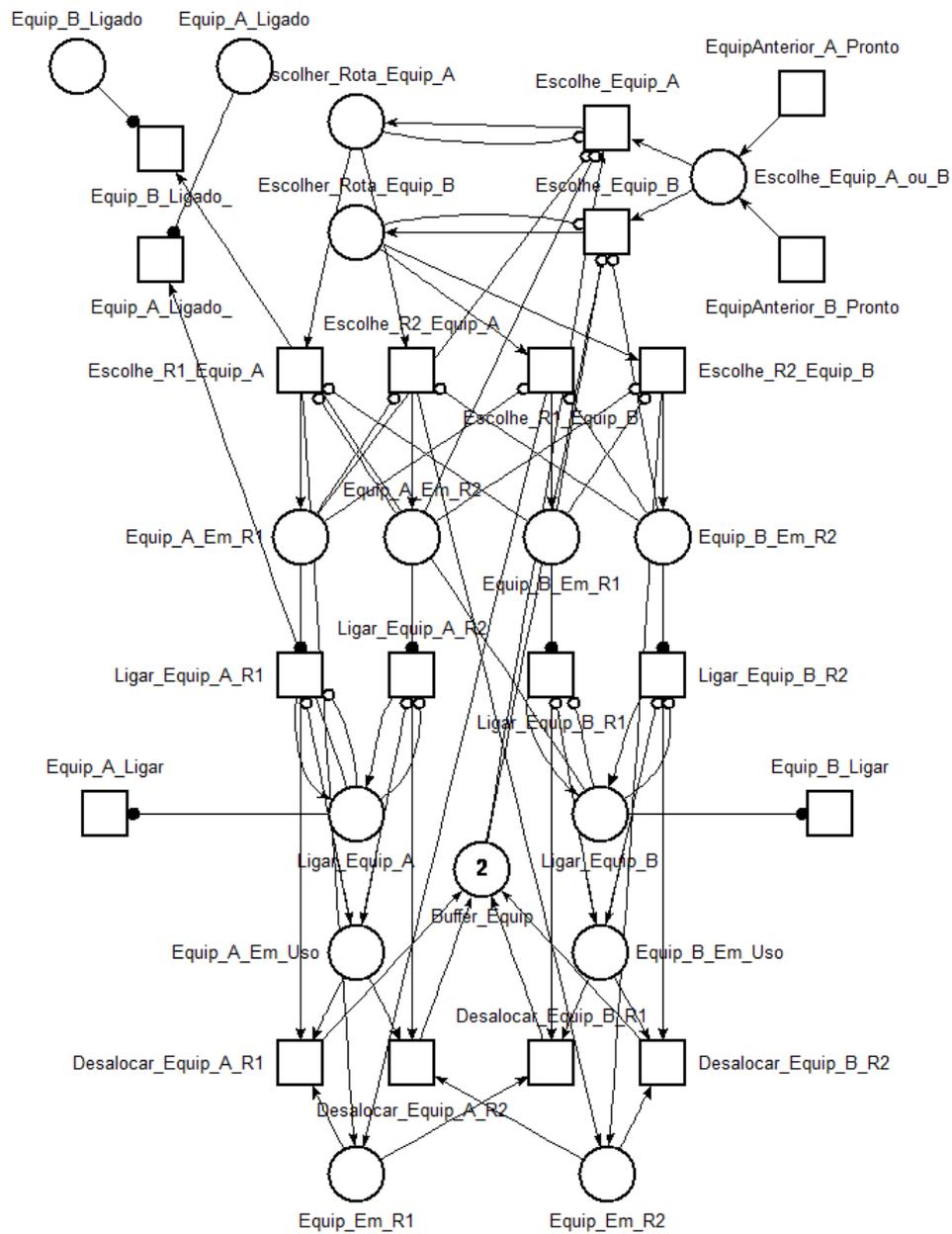
A sequência de funcionamento básica é descrita abaixo

- Sinalização que equipamento posterior está ligado;
 - Aguarda a escolha do equipamento "A" ou "B";
- Ocorre a escolha do equipamento ("A" ou "B");
 - Indica o equipamento escolhido e aguarda a escolha de rota;
- Ocorre a escolha da rota (1 ou 2) para o equipamento;
 - Indica que o equipamento selecionado está na rota selecionada e aguarda o pedido de ligamento do equipamento ou posicionamento da válvula;
 - Indica que existe um equipamento desse tipo na rota selecionada;
- Ocorre o pedido de ligamento/abertura/posicionamento do equipamento;
 - Aguarda o equipamento ser ligado/aberto/posicionado;

- Indica que o equipamento selecionado está em uso;
- Ocorre o ligamento do equipamento selecionado;
- Indica para o próximo equipamento a ser ligado que o equipamento selecionado foi ligado/aberto/posicionado.

Além dessa sequência, há vários arcos adicionais para garantir intertravamentos, seleção de rota certa e impedimento de repetição de transições. A Figura 9 mostra um exemplo da lógica de seleção de rota de um equipamento genérico.

Figura 9 – Modelagem da lógica de um equipamento genérico de dois estados



Fonte: Original

Na imagem é possível observar todos os passos descritos acima. O processo se inicia no canto superior direito com a sinalização do equipamento posterior que o mesmo está ligado, e acaba no canto superior esquerdo, com a sinalização para o próximo equipamento que o equipamento atual já está devidamente ligado ou posicionado. Entre esses extremos é possível separar quatro colunas distintas de sequência de eventos e estados. As duas primeiras colunas são referentes ao equipamento "A", enquanto que as outras duas colunas são referentes ao equipamento "B". A primeira coluna de cada equipamento é para quando o equipamento em questão está sendo associado à rota 1 e a segunda coluna, à rota 2. As duas transições fora das colunas principais ("Equip_A_Ligar" e "Equip_B_Ligar"), bem como os estados localizados na extrema superior direita da imagem são da modelagem do equipamento que está sendo alocado e ligado (vide Figura 6), os mesmos estão separados para diminuir a poluição visual da imagem e porque eles não fazem parte desse bloco de lógica, são apenas sinais utilizados nessa área da modelagem.

Ao receber a sinalização que o equipamento posterior já está pronto, deve-se selecionar qual equipamento se deseja usar. Essas transições de seleção do equipamento possuem algumas restrições: a primeira vem do "Buffer_Equip" que garante que pelo menos um dos equipamentos não está em uso. As outras três restrições são para garantir que não se possa selecionar o mesmo equipamento duas vezes, ou seja, se um equipamento está em uso ele não pode ser selecionado novamente até que o mesmo seja liberado. As transições "Escolhe_RX_Equip_X" também possuem arcos inibidores dos estados que indicam em qual estado o equipamento está sendo usado, dessa forma, se um equipamento "A" está sendo usado na rota 1, o equipamento "B" não poderá ser associado a rota 1, somente a rota 2. Por fim, as transições de pedido de ligamento do equipamento também recebem arcos inibidores dos estados que indicam que o equipamento está ligado e de pedido de ligamento do equipamento, dessa forma, não se pode enviar mais de um pedido de ligamento para o equipamento ao mesmo tempo.

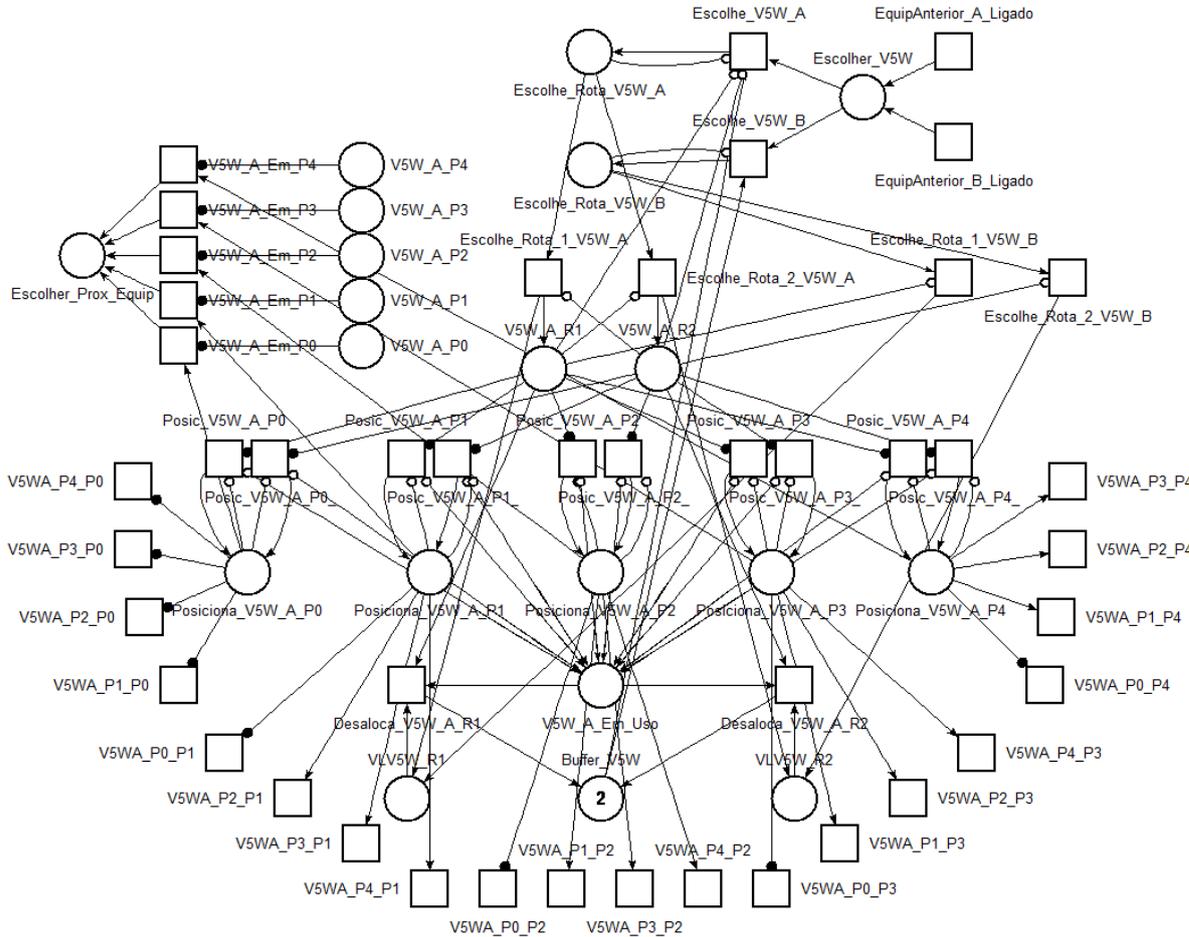
Destaca-se também a existência de um estado que não está representado na Figura 9 que recebe uma ficha do primeiro equipamento da rota e passa a ser lido pelas transições "Escolhe_RX_Equip_X" para poderem ser disparadas. Isso garante que é aquela rota que está sendo formada no momento, senão seria possível alocar o equipamento para qualquer rota cada vez que fosse realizar a seleção.

5.3.2 Válvulas de 5 Vias

A modelagem da lógica de seleção de rotas da válvula de cinco vias é muito parecida com a dos outros equipamentos, porém se tem uma complexidade maior pelo fato de se ter cinco posições possíveis de direcionamento da válvula, logo, a modelagem terá aproximadamente cinco vezes o tamanho da modelagem do equipamento apresentado anteriormente.

Por possuir esse tamanho optou-se por mostrar apenas a lógica do equipamento "A" (isso quer dizer que a modelagem real desse equipamento tem quase o dobro do tamanho do modelo representado na imagem). Essa modelagem pode ser vista na Figura 10.

Figura 10 – Modelagem de uma válvula de cinco vias



Fonte: Original

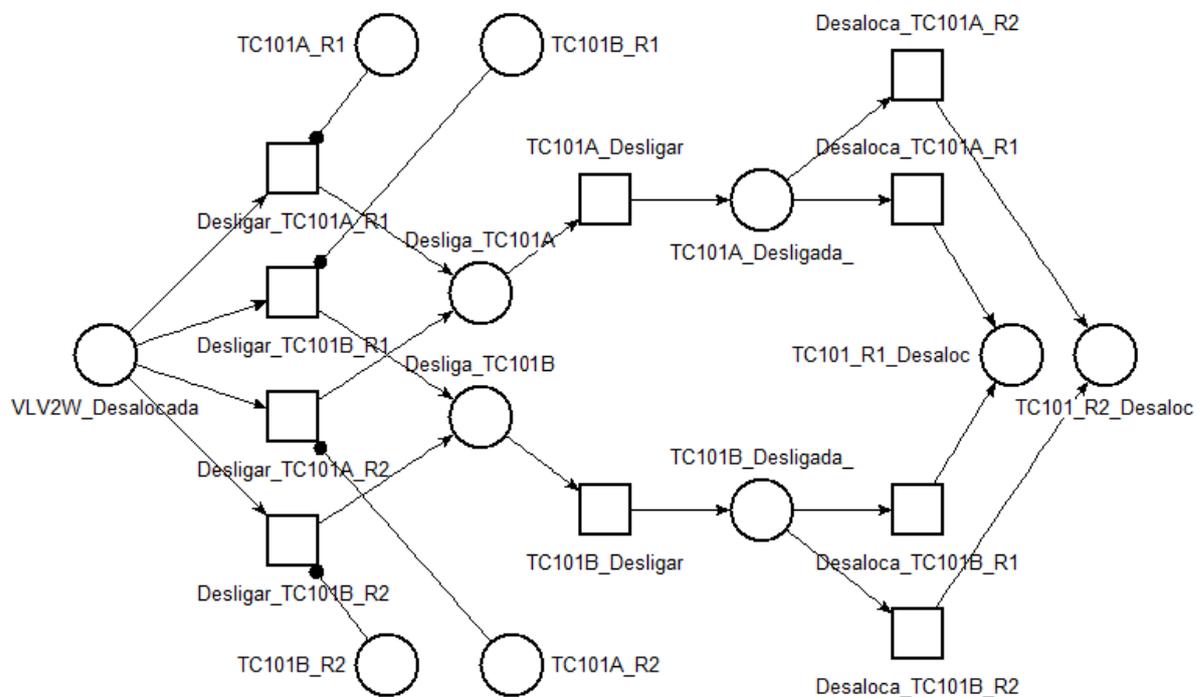
Além da diferença na dimensão da rede, percebe-se que no caso da válvula faz-se necessário o uso de duas transições para realizar o pedido de posicionamento da válvula na posição desejada ("Posic_V5W_A_PX") enquanto que no equipamento genérico visto anteriormente era utilizado somente uma transição. A necessidade dessa transição a mais é proveniente do fato que a posição que a válvula deve tomar é definida, dentre outros fatores, por qual equipamento posterior a ele foi selecionado. Usando de exemplo o válvula de cinco vias "A" que fica após os elevadores, se a correia transportadora que alimenta o silo pulmão escolhida foi do tipo "A", a válvula deverá ser posicionada em "P4", porém, se foi selecionada a correia "B", a válvula deverá ser posicionada em "P5". Existem duas combinações possíveis para posicionar a válvula em cada posição: se a combinação de equipamentos que mandam ela para aquela posição estiver na rota 1, ou se essa combinação de equipamentos estiver na rota 2. Sendo assim, para fazer esse "ou" na lógica, faz-se necessário o uso de duas

transições que levam ao mesmo estado. O restante da modelagem é análogo ao modelo do equipamento genérico mostrado anteriormente.

5.4 Desalocação de Rota e Desligamento

A lógica de desligamento das rotas é um pouco mais simples que a de ligamento. Uma facilitação é causada por não existir o passo de seleção de rota, apenas deve ser feita a verificação do equipamento que está sendo utilizado. A Figura 11 mostra um exemplo de desligamento de um equipamento chamado "TCO101".

Figura 11 – Lógica de desligamento de equipamentos em Rede de Petri



Fonte: Original

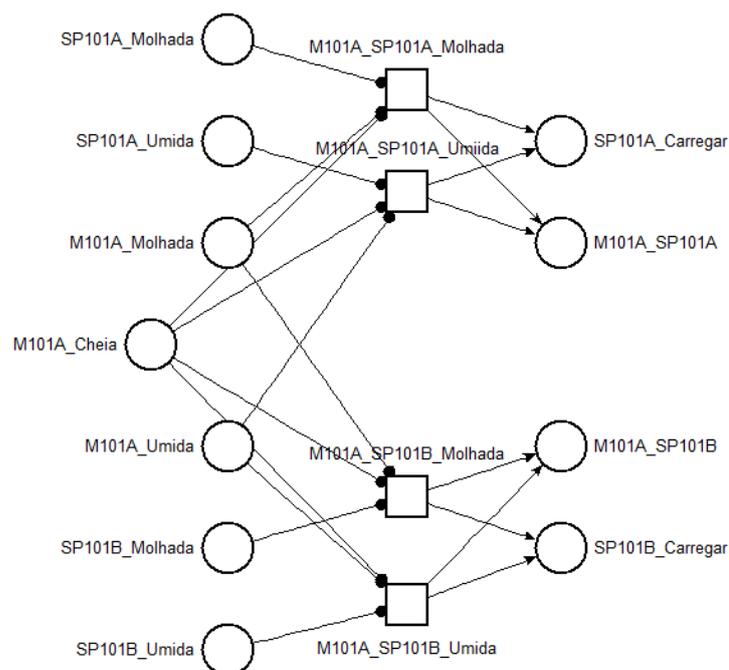
O desligamento do equipamento se inicia no estado da extrema esquerda. Esse estado é um sinal que indica que o equipamento anterior já foi desligado e desalocado de sua rota. Os quatro estados (dois na extrema superior e dois na extrema inferior da imagem), bem como os estados de desalocar o equipamento, são elementos que já foram mostrados na lógica de ligamento dos equipamentos (Figura 9). De acordo com a rota que o equipamento em questão se encontra, o mesmo sensibiliza uma das transições na extrema esquerda da imagem, transferindo o recurso para os estados que pedem o desligamento do equipamento ("Desliga_TC101X"). Ao ser realizado o desligamento do equipamento ocorre também a desalocação do equipamento, significando que ele não está mais associado à nenhuma rota. Com isso é feita a sinalização para o próximo equipamento da rota

que o dispositivo em questão já foi desligado e desalocado, podendo dar sequência no desligamento.

5.5 Pedido de Descarga para os Silos Pulmão

Assim como foi feito nos casos anteriores, a Figura 12 mostra a lógica utilizada para o descarregamento da moega "A", uma vez que a lógica para as outras moegas é análoga. O processo se inicia com a sinalização de que a moega está cheia (parte da modelagem do equipamento, vide 5). Como essa parte só mostra o produto que é enviado aos silos pulmão, somente os grãos úmidos e molhados devem ser tratados nessa parte da lógica, uma vez que os grãos secos não passam pelos silos pulmão. Sabe-se que no entreposto modelo se tem dos silos pulmão, logo, há duas possibilidades de associação para cada moega: os grãos podem ser encaminhados para o silo pulmão "A" (parte superior da imagem), eles podem ser encaminhados para o silo pulmão "B" (parte inferior da imagem). Os seis estados organizados verticalmente na esquerda da imagem também são provenientes de modelagens anteriormente apresentadas (Figura 8) e definem a qual tipo de grão a moega e o silo estão associados. Através desses estados é possível ativar somente uma das transições posteriores a eles, associando a moega atual com um dos silos e ativando um estado que guarda esse *link* entre os dois equipamentos. Esse estado "SP101X_Carregar" possibilita então o início do pedido de formação de rota.

Figura 12 – Lógica de Descarregamento da Moega A para os silos pulmão

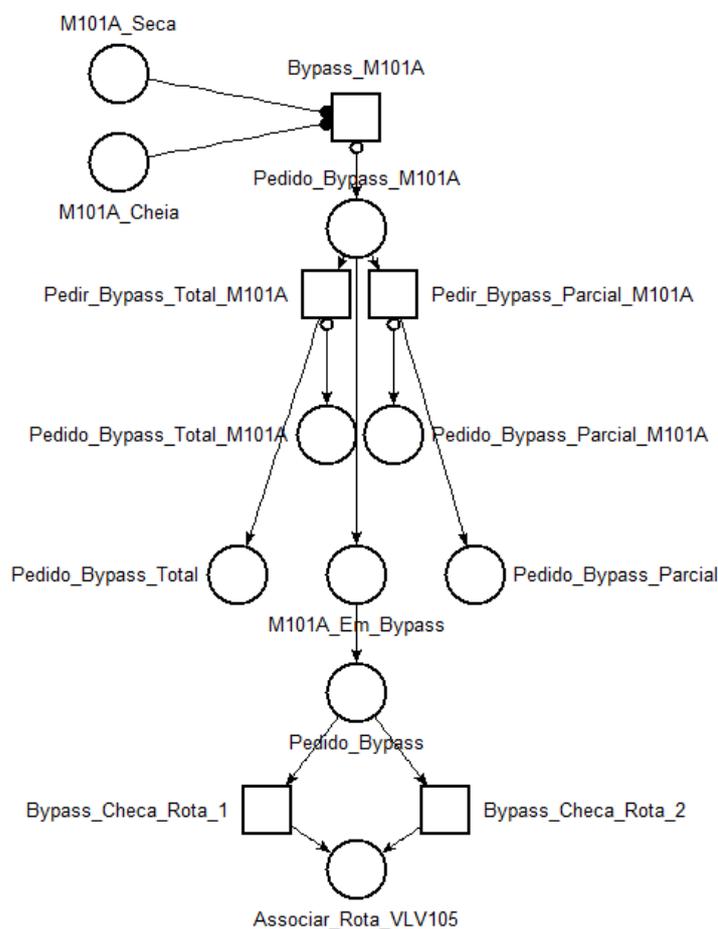


Fonte: Original

5.6 Pedido de Descarga para *Bypass*

Quando a moega está cheia de soja seca é possível realizar um pedido de *bypass*, enviando o produto direto para o armazenamento (*bypass* total) ou para passar pela máquina de limpeza (*bypass* parcial). Uma vez que os dois requisitos são cumpridos e o pedido é feito, deve-se selecionar o tipo de *bypass* que será realizado. É feita então uma associação da moega com a operação selecionada e é feita uma checagem para verificar se há uma rota liberada para realizar essa operação. Uma vez que se tenha uma rota livre, é feita a associação do último equipamento com essa rota e se inicia a formação da mesma. A lógica de um pedido de *bypass* da moega "A" pode ser vista na Figura 13.

Figura 13 – Lógica de pedido de *bypass*



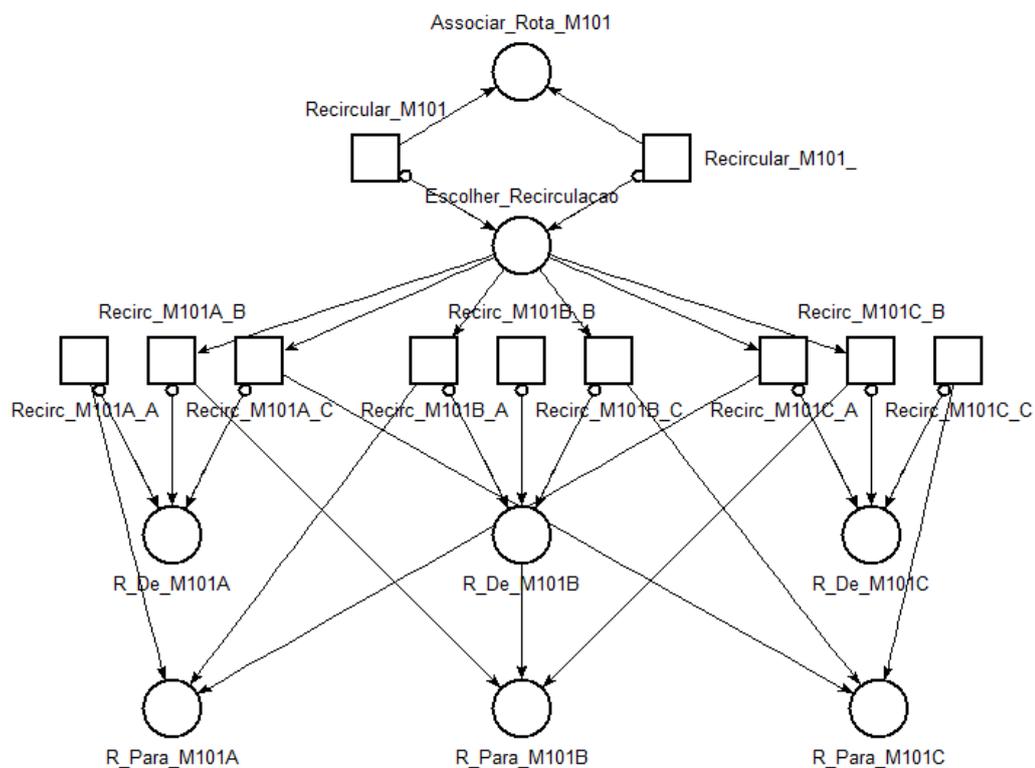
Fonte: Original

5.7 Pedido de Descarga para Recirculação

A recirculação pode ocorrer a qualquer momento, não tendo necessidade de a moega estar cheia ou carregada com algum tipo específico de grão. Sendo assim, é possível realizar um pedido de recirculação a qualquer momento. A Figura 14 mostra o funcionamento do

pedido de recirculação. Uma vez que o pedido tenha sido feito, deve-se escolher quais serão os equipamentos de origem e destino do produto, lembrando que a moega pode realizar uma recirculação para ela mesma. Há então uma sinalização da origem e do destino da recirculação. Destaca-se nesse bloco os arcos inibidores provenientes dos estados na parte inferior da imagem que impedem que a mesma moega seja alocada para recircular em duas rotas diferentes. No extremo superior da imagem é possível ver que quando ocorre o pedido de recirculação já é feito também um pedido de rota, da mesma forma que ocorre nos casos apresentados anteriormente

Figura 14 – Lógica de pedido de recirculação



Fonte: Original

5.8 Modelo Final

Uma vez que se tem modelado todos os equipamentos e a lógica que rege o funcionamento deles, é possível replicar cada um desses blocos a quantidade necessária para montar a planta completa. É importante destacar que outros estados e transições foram necessárias para realizar essa integração do sistema, entre eles é possível destacar estados que são utilizados como *buffers* das rotas e indicadores que cada rota está em uso ou que ambas estão em uso, por exemplo.

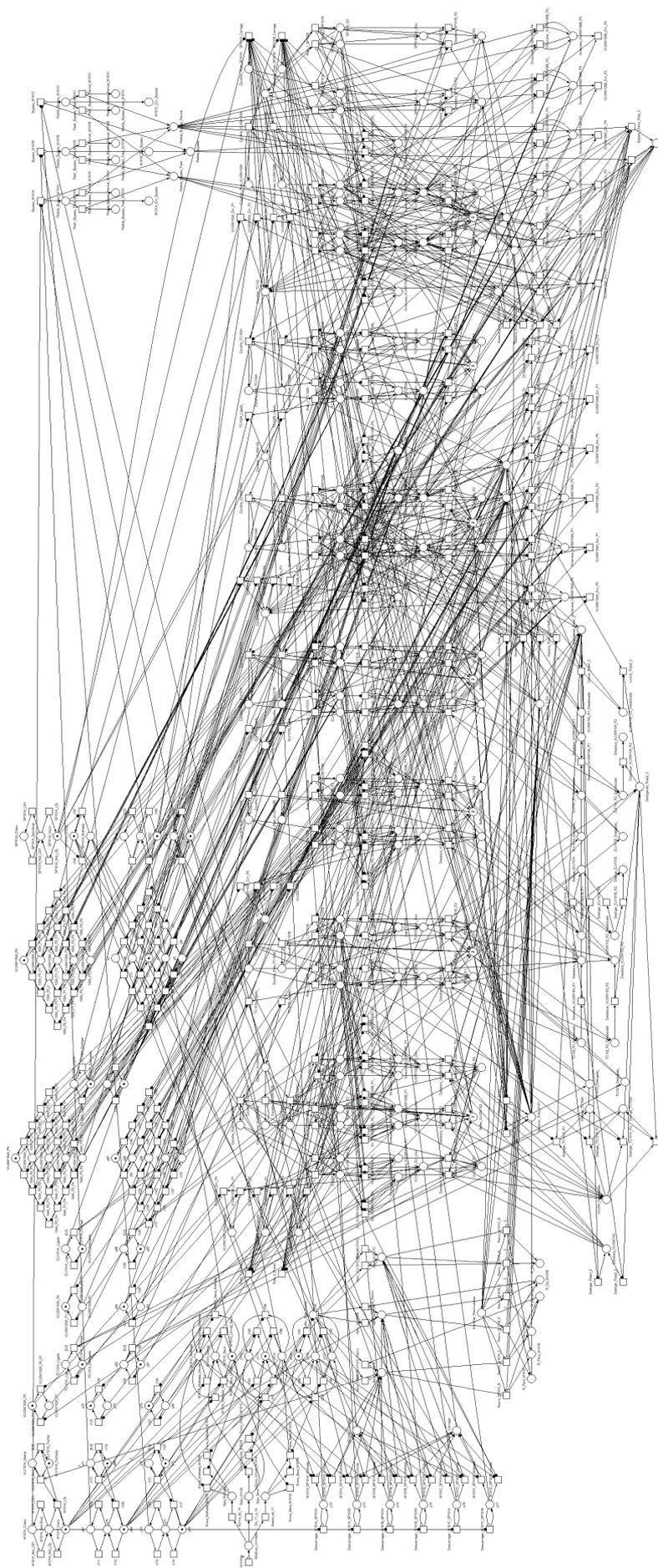
A Figura 15 mostra como ficou a modelagem final após ser realizada a integração entre todos os equipamentos e lógicas. Através da visualização dessa imagem fica clara a

complexidade do sistema desenvolvido. É importante reforçar que essa modelagem não levou em consideração a modelagem dos intertravamentos ou das falhas dos equipamentos, conseqüentemente, as lógicas que deveriam ser desenvolvidas para tratar cada caso de falha dos equipamentos também não precisaram ser desenvolvidas.

Não há limitações da ferramenta ou da linguagem que impeçam que esses processos sejam adicionados ao modelo, os principais problemas estão relacionados ao tempo que levaria para adicionar essas lógicas e à complexidade que isso acarretaria na rede de Petri.

Apesar de ter sido finalizada a modelagem, não foi possível realizar o teste desejado no *software* de modelagem. Isso aconteceu porque quando se inicia a operação de checagem de estados mortos no sistema, a ferramenta começa a consumir uma quantidade extraordinária de memória do computador. Para não gerar nenhum tipo de problema na máquina foi necessário matar o processo e impedir que ele continuasse o processamento dos dados. Os testes realizados foram através da ferramenta de ativação manual dos passos. Isso possibilitou verificar alguns problemas e erros de modelagem, corrigidos posteriormente.

Figura 15 – Modelo final da rede de Petri do recebimento do entreposto modelo



Fonte: Original

6 Desenvolvimento no *TIA Portal*

6.1 Conversão da Rede de Petri para *Grafcet* e *Ladder*

Para poder transferir o desenvolvimento realizado na modelagem foi necessário criar um método de conversão de uma linguagem para a outra. Felizmente a linguagem *Grafcet* que foi utilizada de base nos blocos lógicos do projeto tem muitas semelhanças com uma rede de Petri. Algumas alterações tiveram que ser introduzidas nessa conversão por se ter diferenças na modelagem em relação ao projeto requisitado, uma vez que se quer reaproveitamento dos blocos de programação e há funcionalidades não adicionadas no modelo como intertravamentos e acionamento manual dos equipamentos.

Essa conversão diferenciada se dá principalmente por pela divisão do processo em diferentes sequências para que se tenha essa possibilidade de reuso dos blocos. Outras diferenças provém do real funcionamento dos equipamentos fora da modelagem. Enquanto que na rede de Petri é apenas realizado o ligamento de um equipamento e é recebido um sinal que confirma que o motor foi ligado, na programação do *TIA Portal* o equipamento deve ser colocado em modo automático, é enviado o sinal de ligar para o equipamento, o equipamento verifica os intertravamentos e os *protects* para que então seja realmente enviado o sinal de ligar para o motor. Uma vez ligado, o motor envia um sinal de *feedback* para o programa indicando que o motor foi ligado, porém esse sinal deve ser mantido por um tempo mínimo para garantir que a partida realmente foi feita com sucesso, uma vez que o motor envia esse sinal já quando tenta fazer a partida.

6.2 Funções Lógicas de Funcionamento

Para atingir o objetivo de se ter blocos reutilizáveis foram desenvolvidos alguns blocos de código que realizam funções genéricas no projeto, de forma que a mudança do *layout* do entreposto não acarrete em tantas alterações no código. Esses blocos de códigos foram desenvolvidos na linguagem *Grafcet* e são detalhados a seguir.

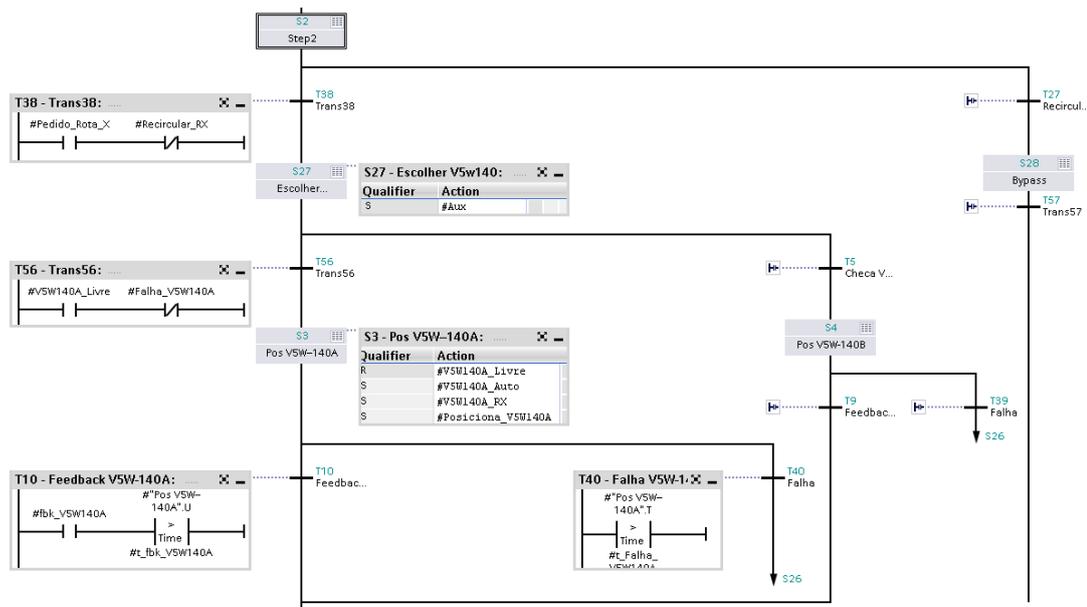
6.2.1 Função de Ligar e Desligar Rota

Esse bloco tem nome "Liga_Desliga_Rota_X", isso quer dizer que para cada rota existente na área de recebimento do entreposto em questão, dever-se-á ter um desses blocos. No caso de se ter apenas um equipamento de cada tipo deve-se remover os paralelismos dos equipamentos "B", e no caso de se ter três ou mais rotas em paralelo deve-se adicionar mais

um ramo paralelo em cada equipamento de forma análoga a feita com os equipamentos "B".

A Figura 16 exemplifica o início do grafo de ligamento e desligamento da rota. Abaixo é detalhado cada passo e estado mostrado na figura.

Figura 16 – Lógica de alocação e ligamento de rota



Fonte: Original

Essa função se inicia com a ativação de uma variável *booleana*, *setada* pelo bloco de seleção de rota, indicando o pedido de rota. Pode-se então tomar dois caminhos nesse primeiro passo: no caso de não se estar realizando uma recirculação dos grãos, inicia-se a alocação dos componentes pela válvula de cinco vias associada à esteira 2, caso o bit de recirculação esteja ativo, ocorre um pulso para a realizar a alocação da válvula de cinco vias associada aos elevadores, uma vez que a esteira 2 não é utilizada nesse caso.

Após esse primeiro passo, ocorre um *loop* de eventos para cada equipamento até que se forme uma rota completa. No primeiro estado se faz o *set* de uma variável auxiliar para passar para a próxima transição. Ocorre então uma bifurcação de transições. No primeiro ramo é verificado se o equipamento "A" está livre e se o mesmo não está em estado de falha. Caso esses requisitos sejam cumpridos é feito um *reset* da variável que indica que o equipamento está livre e se faz um *set* em três variáveis: na que manda o equipamento para automático, na que indica em qual rota aquele equipamento está e na variável que pede o ligamento ou posicionamento do equipamento em questão. Aguarda-se então o *feedback* do equipamento indicando que ele está ligado ou posicionado na posição desejada. Nesse passo ocorre uma espera para garantir que o *feedback* do equipamento se manteve consistente por um tempo (isso é feito porque uma vez que se tem o pedido de ligamento

e o motor realiza a partida, o mesmo já envia o sinal de *feedback* positivo ao sistema, porém pode ocorrer falha na partida, por exemplo, fazendo com que a sequência continue sem o motor estar nas condições adequadas). Em paralelo a essa transição há um ramo que marca um tempo de espera, se esse tempo for atingido sem que o ramo do *feedback* tenha continuidade, é uma indicação que não se teve o retorno desejado do equipamento e quer dizer que ocorreu alguma falha no equipamento. Por último, é realizado um *reset* na variável que leva o equipamento para o estado de automático, ou seja, o equipamento vai para modo manual, podendo ser alterado pelo operador.

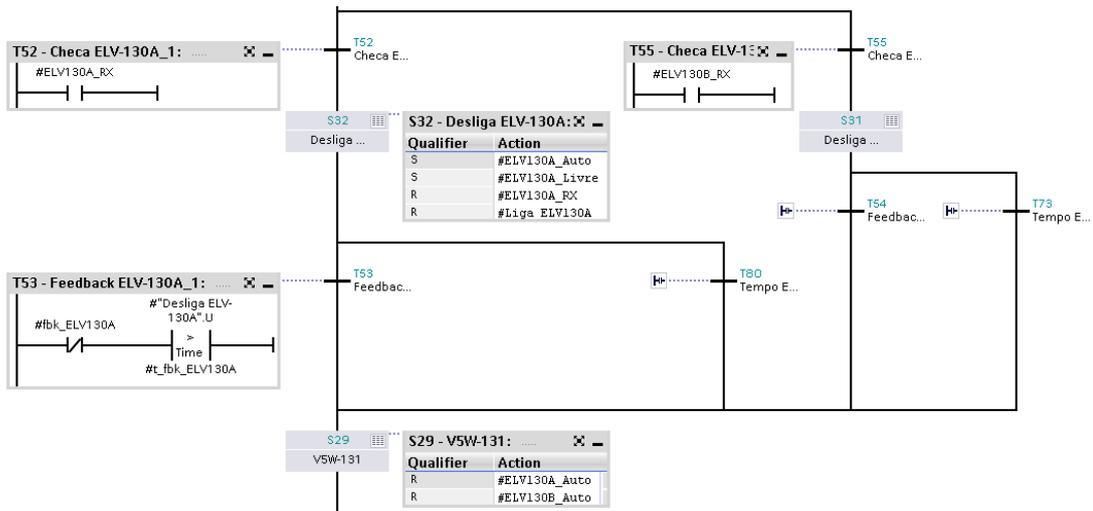
Todos esses procedimentos descritos no parágrafo anterior ocorrem em paralelo com o equipamento "B", dessa forma, caso o equipamento "A" esteja em estado de falha ou esteja em uso por outra rota, o equipamento "B" será acionado e passará pelos mesmos passos descritos acima.

Uma vez que a rota foi totalmente alocada e ligada/posicionada, é realizada uma sinalização que a rota está pronta e se aguarda que se tenha ou um pedido de desligamento de rota, ou a sinalização que nenhuma moega está utilizando aquela rota.

Com um dos requisitos de desligamento preenchidos, ocorre o início do desligamento da rota. A Figura 17 mostra como é feito o desligamento de um equipamento. Na primeira transição é verificado qual equipamento está sendo utilizado por aquela rota. Em seguida o equipamento é colocado em modo automático, sinalizado como livre, retira-se o indicador de que o elemento está naquela rota e é realizado o desligamento do equipamento em si. Aguarda-se então o *feedback* do equipamento para verificar que o mesmo foi desligado e então o equipamento é colocado em modo manual novamente, passando-se então para o próximo equipamento até que todos os equipamentos da rota sejam desligados. Deve-se lembrar novamente que para o caso de recirculação é feito um *bypass* dos dois últimos equipamentos, uma vez que os mesmos não são utilizados nessa operação. o caminho em paralelo com o *feedback* do equipamento é apenas para que se dê continuidade ao desligamento da rota mesmo que não se tenha o desligamento do equipamento em questão, uma vez que se houve um pedido de desligamento a rota deve ser desligada e esses casos de falha não precisam ser tratados nessa sequência pois o próprio bloco do equipamento já irá indicar essa falha ao operador.

Para as válvulas direcionais não se faz um reposicionamento das mesmas, elas apenas são desalocadas de suas respectivas rotas e são liberadas para uso, sendo mantidas na última posição requisitada.

Figura 17 – Lógica de desalocação e desligamento de rota

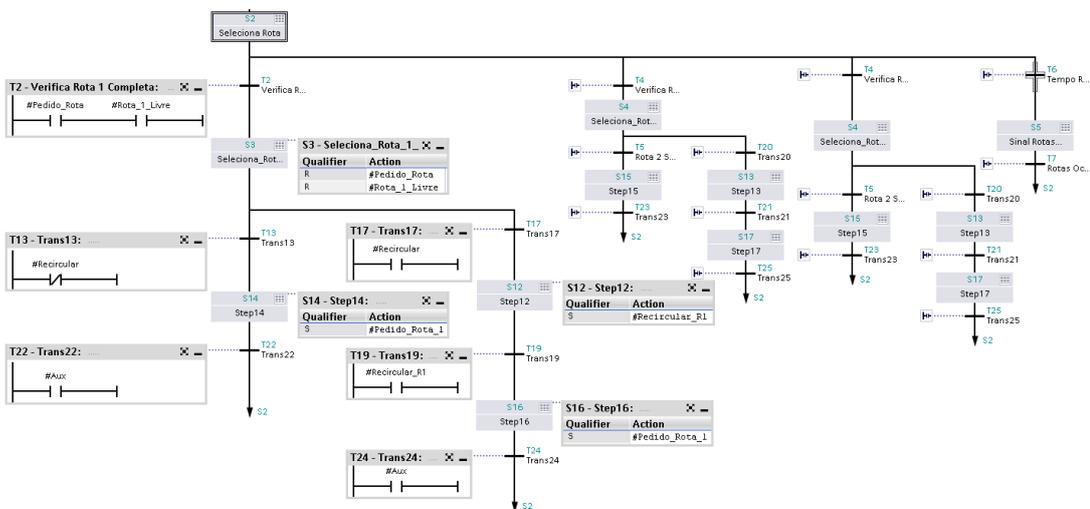


Fonte: Original

6.2.2 Função de Selecionar Rota

Esse bloco é responsável por verificar a rota que não esta sendo utilizada (caso tenha alguma) e fazer um pedido de ligamento da mesma. Esse bloco é único, independentemente da quantidade de rotas e equipamentos que se tenha. A principal mudança que deve ser realizada no caso de adição de mais rotas é a adição de mais um ramo principal em paralelo à primeira segmentação. A sequência que realiza essa função pode ser vista na Figura 18 em que se pode ver o ramo de seleção da rota 1 detalhado.

Figura 18 – Lógica de seleção de rota



Fonte: Original

Ao se iniciar o sistema essa sequência fica aguardando o pedido de rota por um

dos blocos de descarga das moegas. Ao se ter esse pedido é feita uma checagem para verificar se a rota 1 está livre. Em caso afirmativo a sequência avança para o próximo passo, em que se ocorre um *reset* da variável de pedido de rota e da variável que sinaliza que a rota 1 está livre, indicando que a mesma está em uso. Na próxima transição é feita a checagem se há um pedido de recirculação entre as moegas. Em caso afirmativo, ocorre um *set* da variável que indica que a rota em questão deve ser gerada sem os dois últimos equipamentos e então é ativado o bit que realiza o pedido da rota em questão. No caso de não se ter pedido de recirculação somente se faz o pedido da rota.

Há ainda uma terceira ramificação no início da sequência que verifica se ambas as rotas estão sendo utilizadas. Nesse caso é apenas indicado através de uma variável que todas as rotas estão em uso e a sequência volta ao início.

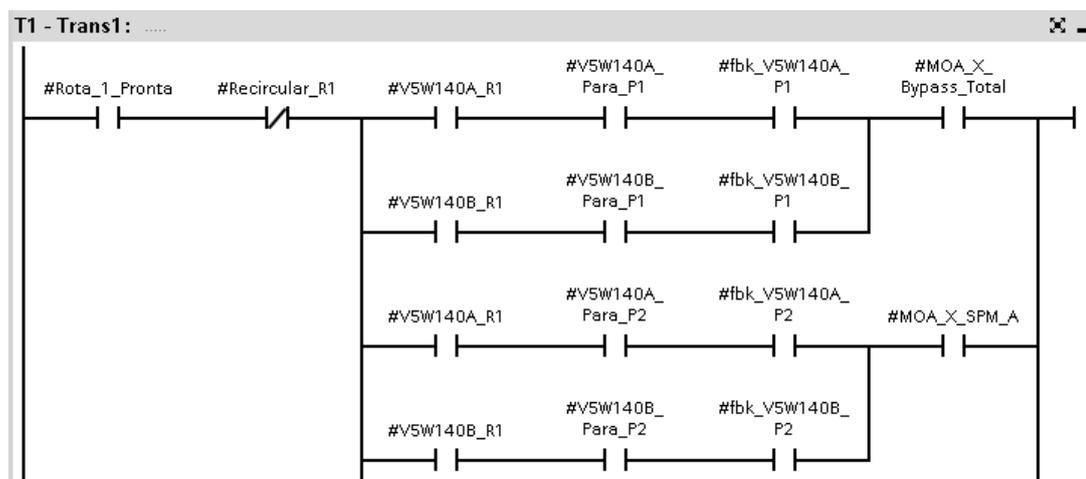
6.2.3 Descarga de Moega

Esse é o bloco que tanto inicia quanto finaliza o sistema. Como deve ser possível descarregar mais de uma moega na mesma rota, optou-se por não atribuir uma rota a uma moega, dessa forma é possível apenas sinalizar que a moega está descarregando na rota em questão sem a necessidade de alocar aquela rota somente para a descarga de uma moega.

Esse bloco deve ser replicado para cada moega existente no recebimento do entreposto, sendo que a adição de mais silos pulmão devem ser tratados dentro da sequência com a adição de ramos em paralelo com os já existentes (análogos aos ramos dos silos "A" e "B").

A sequência é iniciada com um pedido de descarga da moega ou com a sinalização do sensor de nível alto da moega. Faz-se então o pedido de um silo pulmão para a função de integração entre a moega e os silos pulmão e aguarda-se essa associação ser feita pela outra sequência. Uma vez feita a integração a sequência aguarda uma das rotas estar devidamente alocada e ligada. Com uma das rotas prontas, faz-se a checagem de que a rota finalizada é a que leva o produto para o local desejado. Esse passo é necessário porque a rota estar pronta não garante que aquela rota foi ligada para essa operação, ou seja, o pedido de rota pode ter sido feito enquanto outra rota estava sendo formada e essa outra rota irá sinalizar que está pronta para essa sequência. Para garantir que a rota que está pronta é a que leva os grãos para o destino selecionado é feita uma checagem, primeiramente se a rota está em recirculação, e após isso se a última válvula direcional (válvulas dos elevadores no caso de recirculação ou válvulas das esteiras 2 no caso de não haver recirculação) está posicionada de acordo com o destino desejado. Essa parte da lógica pode ser vista na Figura 19

Figura 19 – Lógica de verificação de rota pronta para moega



Fonte: Original

Destaca-se aqui que na Figura 19 só estão sendo exibidos dois casos: de *bypass* total e de integração da moega com o silo pulmão "A", porém, sabe-se que são cinco vias existentes nessa válvula, então existem mais três casos não mostrados na figura mas que estão na programação e funcionam de forma análoga aos exemplos mostrados.

Uma vez verificado que a rota pronta realmente é a rota destinada ao uso por essa moega, é sinalizado que a moega em questão está em uso e ocorre uma sinalização de qual rota a moega está usando (informação utilizada no desligamento da rota). Faz-se então o procedimento de posicionamento das válvulas associadas à moega da mesma forma que foi descrito na sequência de ligamento da rota.

A partir do momento que as válvulas foram devidamente posicionadas, essa sequência aguarda até que se tenha uma sinalização de nível baixo da moega ou de pedido de parada de descarga da mesma para dar continuidade na sequência. A válvula *ON/OFF* é colocada em modo automático e enviada para a posição de fechada e é feito então o *reset* das variáveis de pedido de descarga da moega, pedido de parada de descarga e moega em uso. Após receber o *feedback* de válvula fechada, a válvula é colocada em modo manual novamente e as variáveis que sinalizam o uso das rotas pela moega são desativadas.

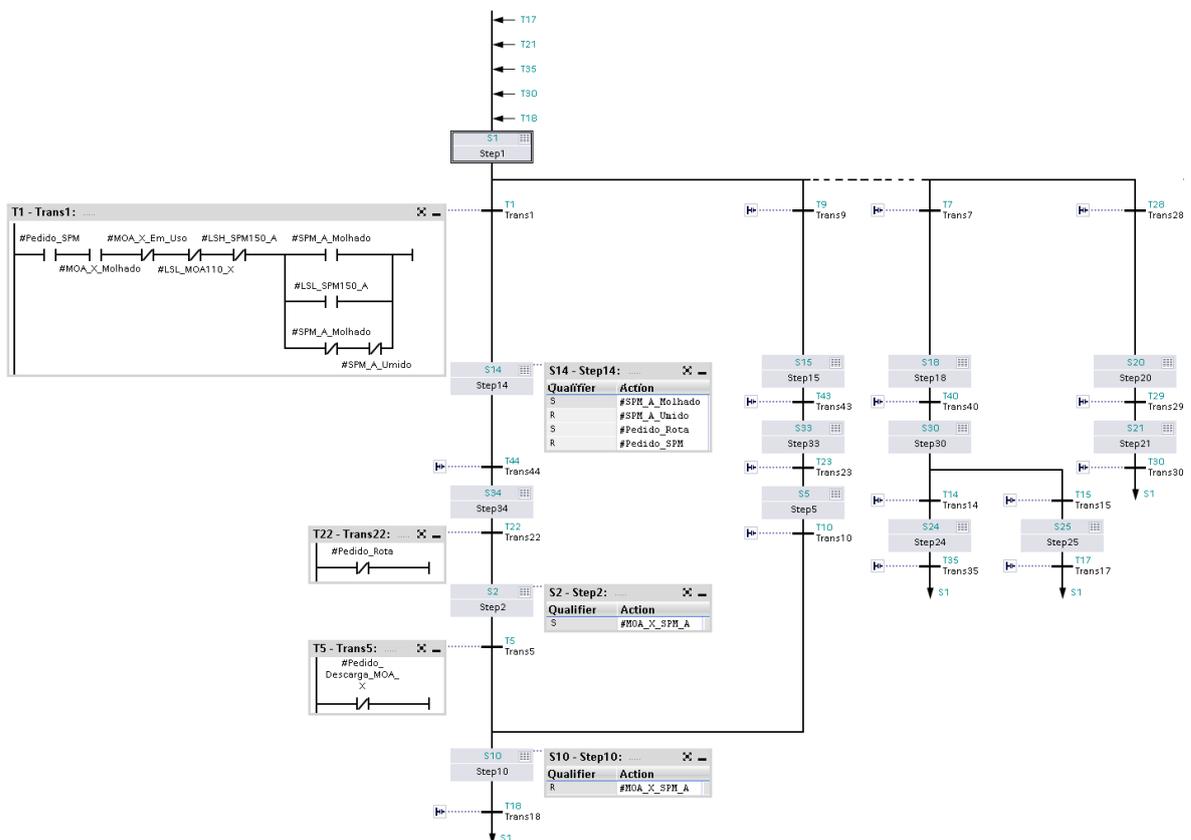
6.2.4 Função de Integração entre a Moega e os Silos Pulmão

Da mesma forma que o bloco de descarga das moegas, um bloco desse tipo deve ser adicionado para cada moega. A adição de mais silos pulmão acarreta na adição de mais ramos da sequência análogos aos já existentes.

Esse bloco tem por objetivo associar a moega em questão com algum dos silos pulmão, com o *bypass*, seja total ou parcial, ou então com a recirculação. A sequência se inicia com um pedido de silo pulmão vindo do bloco de descarga das moegas. A Figura 20

mostra um dos seis casos possíveis. O caso em questão exemplifica quando se associa a moega com o silo pulmão "A" e ambos possuem grãos molhados. Na primeira transição é verificado se a moega atual está carregada com grãos molhados, se ela não está em uso, se ela não está vazia e se o silo pulmão "A" não está cheio. Com esses requisitos cumpridos precisa que se tenha pelo menos um requisito cumprido de três opções: o silo pulmão "A" também está associado a grãos molhados, ou o silo pulmão "A" está com o sinal de nível baixo ativo (significando que pode ser carregado com qualquer tipo de grão), ou o silo pulmão não está associado com nenhum tipo de grão. No passo seguinte é então sinalizado que o silo pulmão "A" está associado aos grãos molhados, é feito o pedido de rota, o pedido de silo pulmão é zerado, bem como a sinalização que o silo pulmão estaria associado aos grãos úmidos. Depois desse passo foi adicionado uma transição e um estado em que se faz a checagem e o *set* de uma variável auxiliar. Isso é necessário para que não se tenha um contínuo *set* de pedido de rota e *reset* de pedido de silo pulmão enquanto se aguarda o pedido de rota ter seu valor alterado para zero. Uma vez que o pedido de rota foi removido é feita a associação da moega com o silo pulmão "A" e a sequência fica presa nesse passo até que o pedido de descarga da moega seja desativado. Uma vez finalizada a descarga ocorre a desassociação da moega com o silo pulmão em questão e a sequência volta ao início.

Figura 20 – Lógica de integração da moega com silo pulção



Fonte: Original

6.3 Intertravamentos

Os intertravamentos são regras que devem ser seguidas para que seja possível ligar ou acionar algum equipamento. Esses requisitos são verificados em cada iteração do projeto com o bloco do equipamento. Se em algum momento essa variável for ativada ocorre o desligamento do equipamento e o mesmo é impedido de ligar enquanto essa condição não for removida. Não há necessidade de reconhecimento do operador do problema para que o equipamento volte a funcionar, só é necessário que a condição de intertravamento seja removida, ou seja, nenhum intertravamento do bloco esteja ativo, para que o equipamento possa novamente ser acionado.

Em um entreposto o ligamento ocorre na sequência contrária ao fluxo normal dos grãos para evitar que ocorra "embuchamento" das máquinas. Sabendo disso, conclui-se que o intertravamento deve garantir que o equipamento posterior deve estar sempre ligado para que se possa fazer o acionamento do equipamento em questão. Como se tem sempre dois equipamentos em paralelo, faz-se necessária uma condição a mais nessa lógica para garantir que os dois equipamentos estão alocados na mesma rota.

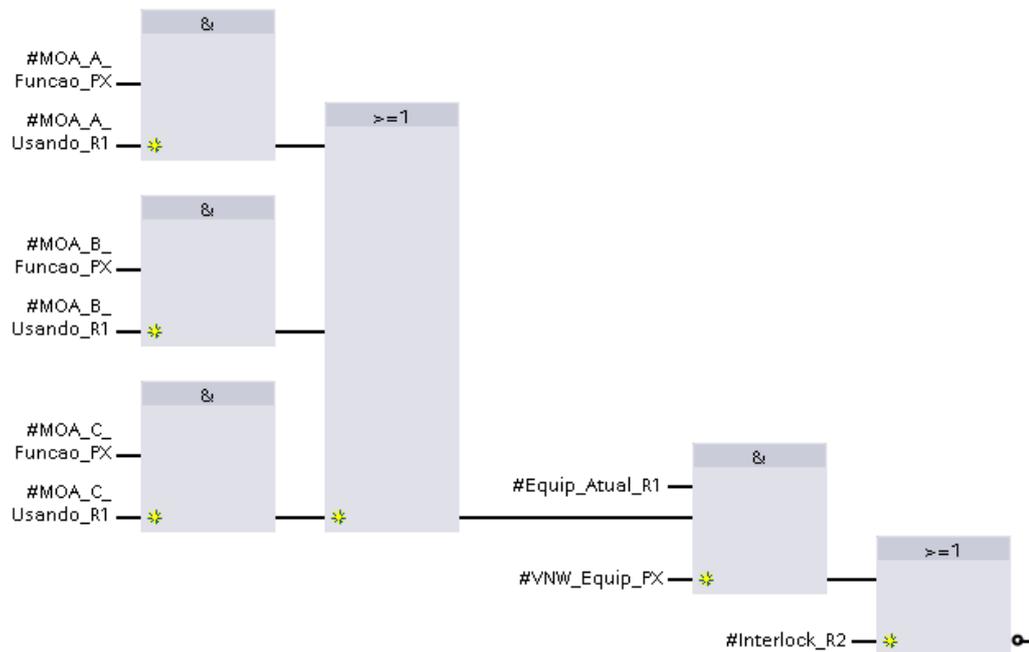
Verificou-se que há basicamente dois tipos de intertravamentos aplicados nos equipamentos dos projetos, os mesmos serão detalhados abaixo.

6.3.1 Verificador de Intertravamento em Equipamentos Finais

Chamou-se de equipamentos finais aqueles que transportam os grãos ou para um elemento de armazenamento (moega ou silo) ou para a próxima área da planta. Esses equipamentos precisam de intertravamentos especiais porque nos elementos que se encontram após eles não estão associados a uma das rotas. Isso envolve o *bypass* porque as rotas das outras áreas são independentes entre si.

Para facilitar a criação dos intertravamentos e diminuir a quantidade de blocos na lógica foi criado um bloco que realiza a verificação das condições de *interlock*. A Figura 21 mostra a lógica utilizada dentro do bloco que verifica o intertravamento. Observa-se que na imagem é mostrada a penas a lógica que verifica se os equipamentos estão na rota 1, enquanto que a parte que verifica a rota 2 foi omitida e substituída pela variável "Interlock_R2", tendo a mesma lógica mostrada na figura.

Figura 21 – Lógica de verificação de intertravamento de final de rota



Fonte: Original

Os três blocos "e" na extrema esquerda da figura verificam se alguma das moegas está realizando a função sendo verificada (*bypass*, recirculação ou envio a silos pulmão) e se a moega está usando essa rota atualmente. Os três blocos são conectados na entrada de um bloco "ou". O outro bloco "e" na imagem recebe como entrada a variável que indica que o equipamento atual está na rota, recebe a saída do bloco "ou" anterior e recebe a variável que indica que a válvula direcional que fica na saída desse equipamento está posicionada para o equipamento da função sendo realizada pela moega. Ao fim, liga-se a saída desse bloco "e" em um bloco "ou" com o resultado da mesma lógica aplicada a outra rota e o resultado final indica se deve ocorrer o intertravamento ou não.

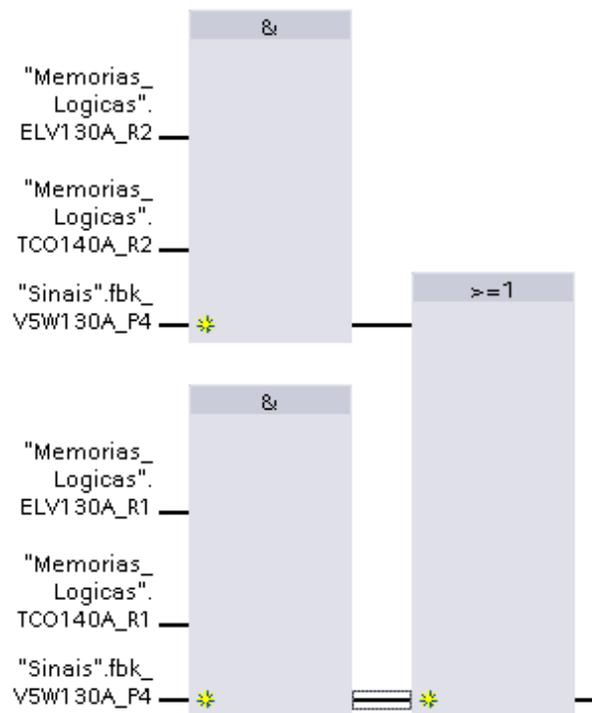
As condições colocadas nessa lógica são as únicas que devem permitir o funcionamento do equipamento, ou seja, a saída desse bloco somente será positiva quando alguma dessas condições for satisfeita e sabe-se que o intertravamento é ativado com nível lógico alto. Faz-se necessário então que se tenha uma inversão do sinal final de intertravamento, porém isso deve ser feito fora desse bloco, na saída do bloco "ou" que junta todas as condições de intertravamento. Dessa forma o intertravamento só será desativado quando houver uma das condições descritas acima, significando que o equipamento pode ser ligado.

6.3.2 Verificador de Intertravamento em Equipamentos Intermediários

Quando a verificação do *interlock* deve ser feita em um equipamento que não está no fim da rota, ou que não está realizando essa função (como pode acontecer com os

elevadores, que podem recircular ou enviar os grãos para as esteiras), não se faz necessário o uso de um bloco específico para esse teste porque a lógica consiste apenas em dois blocos "e" ligados a um bloco "ou", como mostrado na Figura 22 que exemplifica o teste no elevador para o caso de estar enviando os grãos para a transportadora "A".

Figura 22 – Lógica de verificação de intertravamento simples



Fonte: Original

6.4 Proteções

Assim como o intertravamento, o *protect* também é checado em cada iteração com o bloco. A proteção realiza a mesma função do intertravamento em relação ao desligamento e bloqueio do equipamento. A diferença entre essas duas funções é que quando ocorre a ativação da proteção é necessário que se tenha uma confirmação do operador que o problema realmente foi resolvido, enquanto essa confirmação não for feita na interface humano-máquina o equipamento fica impossibilitado de ser acionado.

Dos equipamentos utilizados nessa área, os únicos que possuem motores são os elevadores e as esteiras. Esses equipamentos possuem os mesmos *protects*, eles são elencados e detalhados abaixo.

6.4.1 Zero Speed

Para identificar o acontecimento desse problema é adicionado um sensor como um *encoder* no lado oposto de onde fica posicionado o motor. Esse sensor deve ser configurado para verificar que esse lado da esteira ou elevador está girando na mesma velocidade que o eixo do motor, garantindo que não está ocorrendo escorregamento excessivo e que a esteira não está patinando. A ocorrência desse problema pode indicar que a esteira está frouxa ou que há falha no acoplamento da correia, podendo fazer até que o equipamento pegue fogo.

6.4.2 Embuchamento

Os equipamentos de transporte normalmente possuem tubulações que ajudam a guiar os grãos até o próximo equipamento da rota. Quando o equipamento posterior não consegue transportar os grãos com a mesma velocidade ou capacidade de seu antecessor ocorre o acúmulo de grãos na tubulação de entrada desse equipamento. Uma vez que se tem uma quantidade grande de produto acumulado no canal de ligação, os grãos podem levar ao entupimento total dessa via e chegar até o equipamento anterior. Acontecendo isso, haverá um acúmulo de produto nesse equipamento, levando a excesso de carga e possível derramamento dos grãos para o solo. Com o excesso de grãos acumulados nesse equipamento, o mesmo não consegue realizar a partida e se faz necessário uma remoção manual desse excesso de grãos do equipamento para que seja possível reiniciar o equipamento. Coloca-se então um sensor no início dessa tubulação, uma vez que se tenha atingido esse nível deve ocorrer o desligamento do equipamento anterior para impedir que se tenha transbordo dos grãos ou acúmulo dos mesmos nesse equipamento.

6.4.3 Desalinhamento

Para evitar que se tenha um desalinhamento e mau funcionamento das esteiras e elevadores, os mesmos possuem sensores de contato seco nos dois lados da correia, ao longo do equipamento. Uma vez que esses sensores são ativados o equipamento deve ser parado para evitar que possa ocorrer até mesmo o escape total da correia ou danificação dos componentes dessa máquina. A fim de evitar que se tenha paradas desnecessárias, configura-se um pequeno tempo que o sinal precisa permanecer ativo para que realmente se tenha a ativação do *protect*, uma vez que trepidações podem causar acionamentos rápidos nesses sensores, gerando falsos positivos.

6.4.4 Emergência

Como o próprio nome diz, essa proteção é acionada quando se tem uma emergência envolvendo esse equipamento. Essa ativação é feita de forma manual por qualquer pessoa através de botões ou cordões que acompanham o equipamento em sua extensão.

6.4.5 Amperímetro Digital

Esse é o único *protect* que não existe obrigatoriamente em todas as esteiras e elevadores. O medidor de corrente realiza a parada do equipamento quando o valor medido pode danificar o equipamento, isso normalmente acontece quando há uma carga exagerada no equipamento, gerada pelo carregamento excessivo de grãos com taxa alta de umidade.

6.4.6 Sobrecarga do Motor

Quando acontece a sobrecarga do motor, o disjuntor associado a ele desarma, uma vez que se teve um valor de corrente elétrica maior que o projetado para a rede, podendo danificar a fiação da planta. Isso pode ocorrer por picos de corrente quando se tem a partida de vários motores ao mesmo tempo ou quando a soma das correntes de todos os equipamentos ultrapassa o valor da corrente nominal projetada para o sistema.

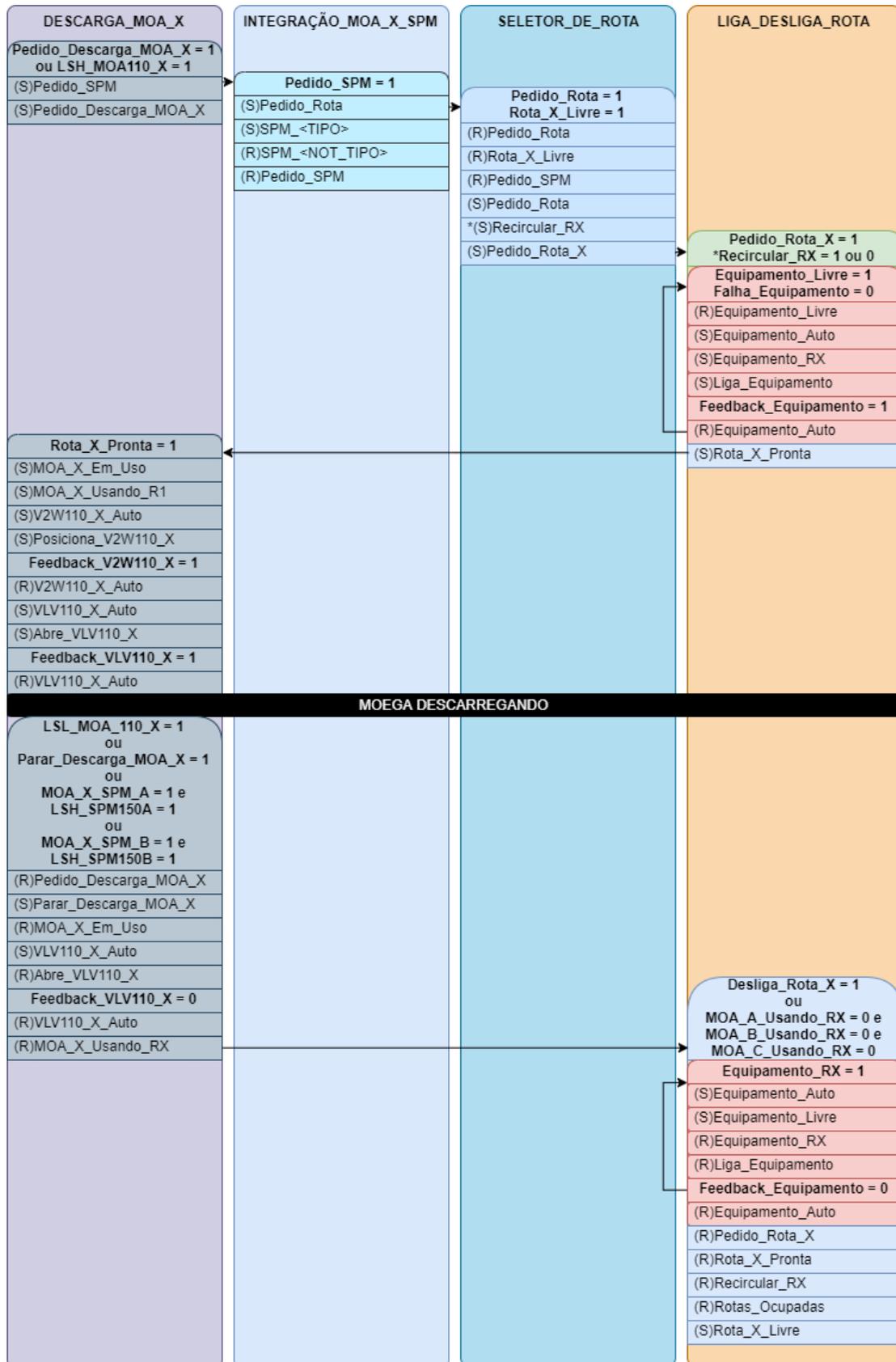
6.5 Permissões

As permissões possuem um funcionamento parecido com o intertravamento, a diferença principal é que essa função somente impede o ligamento do equipamento, uma vez que ele já está ligado ou acionado o mesmo não é desligado ao se romper a condição imposta. Os equipamentos do projeto não possuem nenhuma permissão, uma vez que todos os casos se encaixavam em intertravamento ou proteção.

6.6 Fluxo de Sinais e Ações

Para se ter um melhor entendimento do real funcionamento da lógica aplicada ao sistema e de como cada sequência se comporta, fez-se um fluxograma relacionando cada sequência com as suas variáveis. Os textos em negrito nos blocos representam um requisito que deve ser cumprido para que as variáveis abaixo deles sejam *setadas* ou *resetadas*. As setas indicam que essa mudança no sinal acarretou no disparo de ações em outras sequências. A descrição de cima para baixo está no sentido temporal de funcionamento do sistema e quando se tem setas que levam ao próprio bloco (na área de "LIGA_DESLIGA_ROTA") significa que há uma repetição desses passos. Esse recurso foi utilizado para evitar repetições desnecessárias no ligamento e desligamento de cada equipamento, uma vez que todos funcionam da mesma forma. A tarja preta no meio da imagem mostra uma espera maior no funcionamento do sistema, uma vez que é quando a rota está completamente ligada e a moega está realizando o descarregamento no destino programado.

Figura 23 – Fluxograma de sinais e ações programadas



Fonte: Original

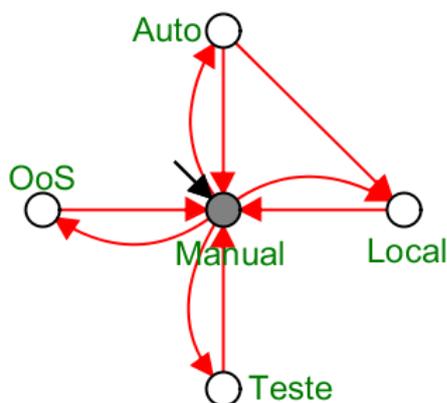
6.7 Blocos de Equipamentos

Os equipamentos automáticos que são utilizados no projeto devem ser modelados para atuar como uma interface entre o projeto e o equipamento físico em si. Esses blocos devem receber os sinais vindos da programação e dos equipamentos em campo, processar esses dados e tratá-los para realizar alguma ação no sistema, como ligar e desligar o motor, posicionar a válvula e indicar os estados de funcionamento e falha do equipamento, por exemplo.

6.7.1 Modelagem da Válvula de Cinco Vias

Os equipamentos de forma geral podem funcionar em quatro modos diferentes: manual, automático, local, teste. Além disso, eles podem estar fora de serviço (OoS - *Out of Service*). Respeitando o funcionamento correto dos equipamentos em campo, desenvolveu-se o autômato visto na Figura 24. Verifica-se que tanto o estado inicial, quanto o desejado são no modo manual. Isso acontece porque mesmo quando a planta está funcionando no modo automático o equipamento é sempre mantido no modo manual, ele só é colocado em modo automático no momento que será realizado o acionamento do mesmo (vide Figura 16).

Figura 24 – Modelagem dos modos de operação da válvula



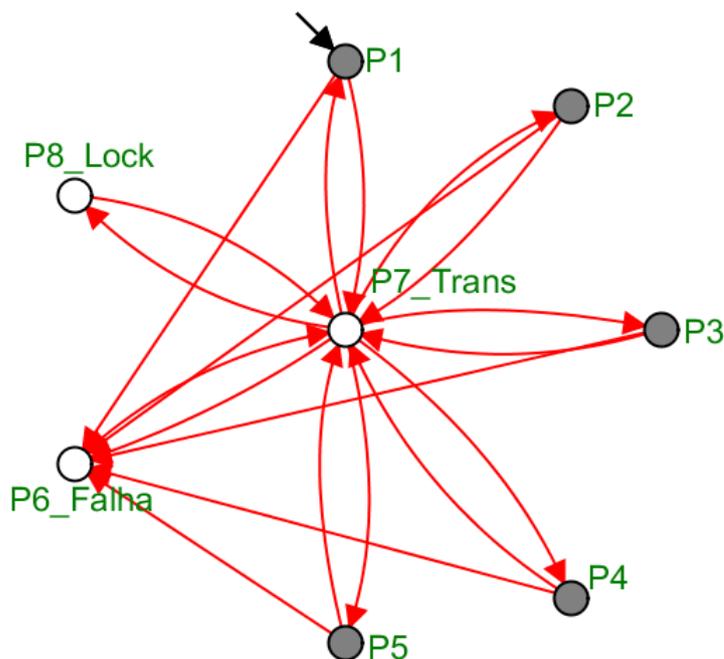
Fonte: Original

A modelagem da posições da válvula e as transições dessas posições pode ser vista na Figura 25. Optou-se por haver apenas um estado de transição entre as posições (estado que não se tem *feedback* de nenhuma posição). Nesse caso pode-se ter como estados aceitáveis todas as posições da válvula e o estado inicial poderia ser qualquer posição da válvula.

Existe ainda o modo de simulação, utilizado para realizar testes na lógica do sistema. Ele funciona realizando todas as checagens de requisitos e intertravamentos, porém não faz o *set* das saídas, ou seja, não realiza o acionamento dos equipamentos. Esse recurso era

representado como um estado adicional nos equipamentos da biblioteca, porém optou-se por adicionar transições adicionais entre os estados de forma que se tenha um tratamento específico quando essa variável de simulação está ativo, não realizando o acionamento da saída da válvula.

Figura 25 – Modelagem das posições da válvula



Fonte: Original

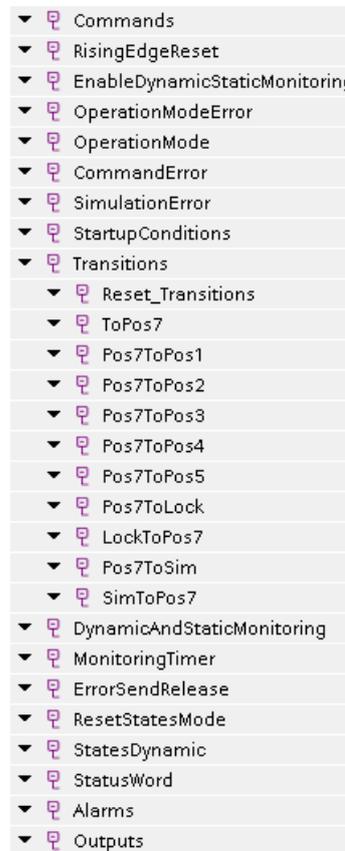
6.7.2 Programação e Funcionamento da Válvula de Cinco Vias

Para simplificar a explicação do funcionamento da válvula, será apresentado o código de forma mais superficial, suprimindo as partes de tratamento de erro, *reset* de variáveis e recebimentos e atribuições das variáveis de entrada e saída. Todas as rotinas foram encapsuladas em blocos de código chamados "REGION" para melhor organização e facilitar alterações futuras. As regiões criadas podem ser vistas na Figura 26.

O código se inicia com a leitura das variáveis do sistema e do supervisor. Após a verificação dos quatro tipos de erros (modo de operação, operação, comando e simulação), na região "StartupConditions" é feita a verificação dos três pré-requisitos de acionamento da válvula: *permit*, *protect* e *interlock*.

Uma vez que não se tenha nenhum empecilho nas proteções do equipamento, inicia-se a ativação das transições do modelo. Qualquer pedido de posicionamento da válvula ativará todas as transições que levam ao estado de transição "P7", com exceção das transições originadas em "P6" e "P8". Essa "transição compartilhada" foi denominada "ToPos7". A seguir é feita a verificação de todas as transições que tem origem em "P7" e destino em alguma posição desejada da válvula. Essas transições podem ser ativadas de

Figura 26 – Divisões criadas no código



Fonte: Original

quatro modos diferentes (como visto na Figura 24): manual, automático, local ou teste. Em cada transição são verificados os quatro modos de funcionamento. Por último, são verificadas as transições que relacionam "P7" com a variável de simulação e com o estado "Lock"

Existem dois tratamentos importantes relacionados a temporizadores que devem ser feitos sempre que é realizado um pedido de transição de estado da válvula: o primeiro se chama monitoramento estático. Sempre que um equipamento está parado em alguma posição é feita a checagem se o sistema está recebendo o *feedback* do equipamento em campo. Esse monitoramento compara a posição que o equipamento deveria estar (estado atual da máquina de estados) com o sinal recebido do equipamento em campo. O equipamento deve entrar em falha caso esses sinais sejam divergentes por um determinado tempo mínimo. O segundo monitoramento é denominado dinâmico. Ele realiza a verificação quando se está tendo uma mudança da posição do equipamento, ou seja, quando ocorre um pedido de mudança de posição, há um período que não se tem *feedback* de nenhuma posição (até que se chegue na próxima posição). Uma vez que o tempo limite de transição de estados (determinado experimentalmente em campo) é atingida, o equipamento deve entrar em falha.

Nesse ponto do código todas as formas de erro possíveis já foram vistas e acionadas, sendo assim, inicia-se a região chamada "ErrorSendRelease". Essa região realiza a ativação das transições que levam ao estado de falha e ativa a transição do estado de falha para o estado de transição quando os erros são corrigidos.

Com todas as transições já tratadas até essa parte do código, inicia-se a região contendo a máquina de estados. Os estados são identificados com os mesmos números da Figura 25. A primeira verificação feita em cada estado sempre é o da transição que leva ao estado de falha, uma vez que se deve ter prioridade para levar a esse estado quando acontece algo de errado. Cada transição associa um número a uma variável em comum para que se tenha uma forma de saber qual foi a última transição que ocorreu caso seja necessário. Se por algum motivo o estado seja associado a algum valor que não esteja no intervalo de 1 a 8, a máquina de estados é levada para a posição de transição, "P7".

Por fim são realizadas as atribuições dos valores às variáveis de *status*, alarme e de saída, finalizando assim o código de funcionamento da válvula de cinco vias.

6.8 Sistema Supervisório

O desenvolvimento do sistema supervisório é feito baseado no padrão GreyLogix desenvolvido no primeiro semestre de 2019 [14]. O *template* de uma tela padrão, bem como quase todos os equipamentos utilizados nesse projeto já foram definidos e desenhados, porém esses desenhos foram feitos no *Graphics Designer* do *WinCC* e eles não podem ser reutilizados nesse *software*. Faz-se necessário o desenvolvimento dos blocos novamente, seguindo os padrões já definidos para que se mantenha o mesmo estilo de supervisório definido anteriormente.

6.8.1 *Template* das Telas do Projeto

Como já se sabe que o projeto possui mais área além do recebimento, faz-se necessário o desenvolvimento de um *template* padrão de tela básica. Seguindo os mesmos padrões da tela desenvolvida no *Graphics Designer*, definiu-se alguns pontos básicos que todas as telas de supervisório do projeto devem ter. A tela base desenvolvida pode ser vista na Figura 27, entre os requisitos definidos estão a core de fundo, RGB(182, 1082, 182), a cor do cabeçalho, RGB(128, 128, 128), a presença do título da tela no canto superior esquerdo com cor RGB(73, 73, 73) e de tamanho 20. Além disso, foram criados botões no cabeçalho para possibilitar a navegação entre as telas do entreposto.

Figura 27 – Tela básica de desenvolvimento das telas do projeto



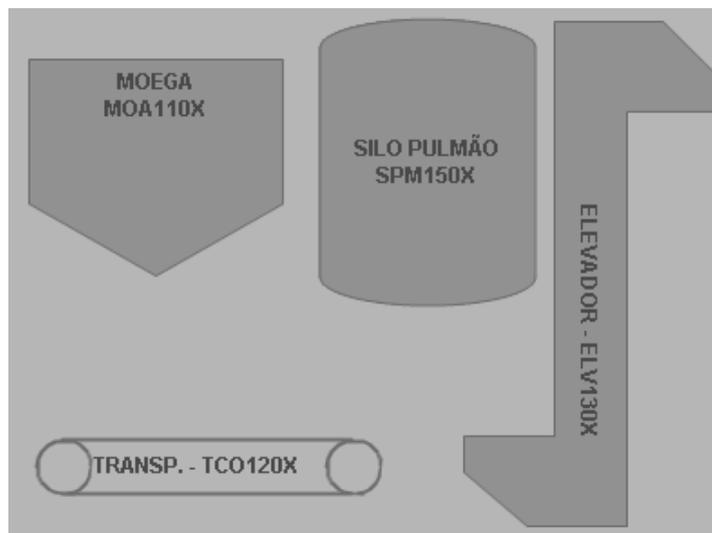
Fonte: Original

6.8.2 Blocos Estáticos

Os blocos estáticos são normalmente associados a equipamentos que não possuem um *faceplate* no sistema supervisório. Sua importância está mais associada a se ter uma maior facilidade no entendimento do processo através de representações gráficas que lembram os equipamentos reais. Apesar de se querer ter uma fidelidade a representação real dos equipamentos o objetivo desses desenhos deve ser a mais simplificada possível, de forma que seja possível distinguir o equipamento em questão mas não se tenha uma poluição dos detalhes que possa causar distrações desnecessárias ao operador. A Figura 28 mostra os blocos desenvolvidos para a área de recebimento do entreposto.

É visível a simplicidade no desenho de cada equipamento. Com poucos traços é possível distinguir cada equipamento e dar características únicas a cada desenho. Definiu-se como padrão também adicionar o nome de cada equipamento e sua respectiva "TAG". Esses textos inscritos nos objetos devem ter cor RGB(73, 73, 73), tamanho 12, fonte Arial e em negrito.

Figura 28 – Blocos estáticos



Fonte: Original

6.8.3 Blocos Dinâmicos

Os blocos dinâmicos representam os equipamentos ativos do sistema. São os elementos que interagem através de sinais de entrada e saída com os equipamentos em campo, ou seja, são os motores, válvulas e sensores utilizados no projeto. A engenheira Marina Padilha já desenvolveu uma biblioteca padrão para ser utilizada no *TIA Portal*, portanto é possível utilizar esses blocos no sistema supervisório desenvolvido.

Por terem sido desenvolvidos em 2017, os objetos dinâmicos da biblioteca desenvolvida pela Marina não estão de acordo com os padrões de cores definidos para sistemas supervisórios do escritório de Florianópolis da GreyLogix Brasil. Foi necessário realizar alterações simples nesses objetos para que eles se adequassem ao padrão, dessa forma, eles serão apresentados de forma simples nesse documento. Além dessas alterações visuais, os blocos tiveram que sofrer algumas alterações nos bits de comunicação com o sistema supervisório para que fosse adicionada a informação de rota atual ao equipamento, além da adição dessa animação na representação gráfica dos blocos.

Apenas dois objetos dinâmicos não tinham sido desenvolvidos: a válvula de duas vias e a válvula de cinco vias. A primeira, porém, possui os mesmos sinais e o mesmo funcionamento de uma válvula *ON/OFF*, sendo assim, também foram necessárias somente pequenas alterações na programação desses blocos. A válvula de cinco vias foi desenvolvida por completo com a mesma metodologia que a Marina desenvolveu os outros blocos (para manter o mesmo padrão), isso significa que foi utilizada uma modelagem em autômatos finitos, a programação foi feita em linguagem SCL (*Structured Control Language* e seu funcionamento é regido por uma máquina de estados).

6.8.3.1 Block Icons

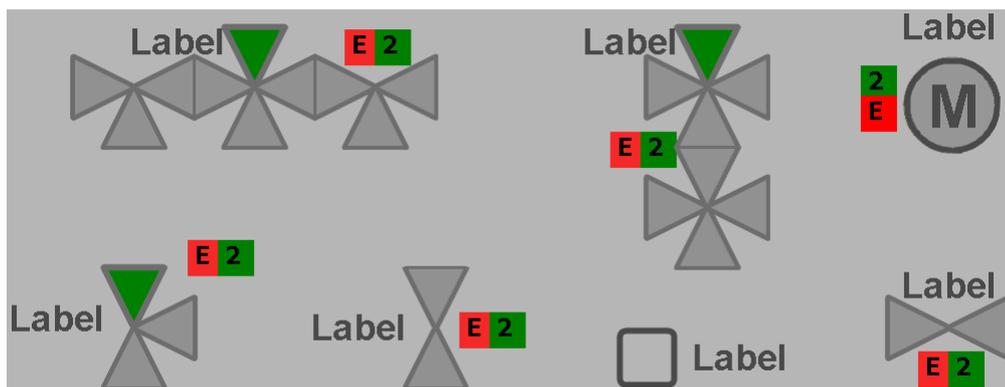
Chamam-se *Block Icons* os blocos padrão dos equipamentos no supervisório que podem ser associados a diferentes equipamentos. Todos os *Block Icons* utilizados no projeto pode ser vistos na Figura 29.

É possível observar que a representação dos objetos inteligentes também foi alterada de forma que respeite as cores definidas como padrão para supervisório do escritório de Florianópolis da GreyLogix Brasil. Cada equipamento possui dois quadrados coloridos com letras e números. O quadrado vermelho com um "E" inscrito representa quando há algum erro no equipamento, ele fica invisível durante o funcionamento do supervisório, aparecendo somente quando o bit de erro é acionado. O bloco verde só aparece quando o equipamento está ligado e associado a uma rota. Ele pode mostrar os números 1 ou 2, dependendo da rota em que o equipamento se encontra.

Quando algum dos equipamentos da imagem é acionado, o mesmo fica inteiramente verde (no caso do motor e das válvulas *ON/OFF*) ou ficam verde somente as partes que formam o caminho da válvula de duas ou cinco vias. O quadrado cinza entre as duas válvulas *ON/OFF* é um objeto de monitoramento digital. Ele só muda de cor, ficando vermelho, quando o sinal digital recebido é diferente do seu valor desejado.

Dos objetos representados, as válvulas de cinco vias e a válvula de duas vias foram criadas para o projeto, enquanto as outras foram somente alteradas da biblioteca desenvolvida pela Marina Padilha.

Figura 29 – *Block Icons* dos objetos dinâmicos usados



Fonte: Original

6.8.3.2 Faceplates

Os *faceplates* de todos os equipamentos são quase iguais, havendo apenas alterações pontuais para adequação a cada equipamento. Eles foram desenvolvidos com base nos *faceplates* da biblioteca padrão. Será mostrado somente as janelas da válvula de cinco vias,

uma vez que foi a que sofreu mais alterações, sendo que as outras funcionam de forma análoga.

A Figura 30 mostra a página que abre inicialmente quando se clica no bloco da válvula de cinco vias. Pode-se perceber que no momento em que foi capturada a imagem a válvula em questão estava funcionando em modo automático, estava posicionada em "P2" sem problemas de proteção, intertravamento ou permissão e os erros externo e de monitoração não estavam acionados. A representação da válvula no topo da figura é alterado conforme a posição da válvula é modificada, mostrando qual é a posição ativa no momento junto com o texto ao lado dessa válvula.

A aba da extrema direita só é mostrada ao clicar nas áreas escrito "Modo de Operação" ou "Comandos". Essa aba pode ser recolhida clicando na seta na porção inferior da mesma. Na aba localizada na extrema esquerda dessa janela é possível alternar a janela ativa e as informações mostradas nesse *faceplate*. Essas outras informações podem ser vistas no conjunto de Figuras 31.

Figura 30 – Página inicial do *faceplate* da válvula de cinco vias



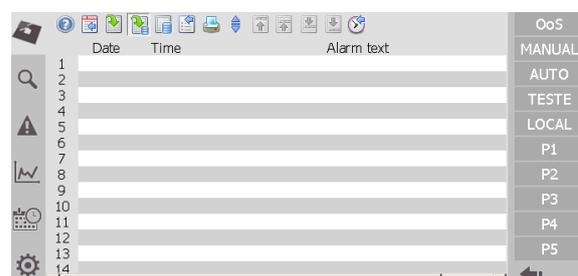
Fonte: Original

Figura 31 – Páginas secundárias do *faceplate* da válvula de cinco vias

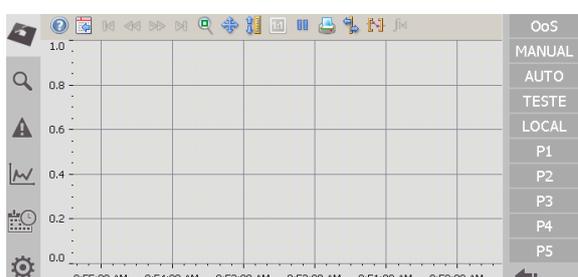
(a) Página de intertravamentos



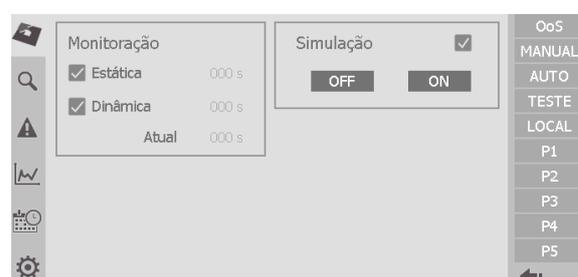
(b) Página de alarmes



(c) Página de gráficos



(d) Página de configurações



Fonte:Original

Além dessas janelas secundárias, há uma janela planejada para ser implementada chamada "Horímetro", que irá mostrar o tempo que o equipamento está em uso, porém não se viu necessidade de implementação para o projeto em questão, mas foi deixado o ícone que já tinha nos *faceplates* para implementações futuras.

6.8.4 Tela Final

Um exemplo da tela final desenvolvida em funcionamento pode ser vista na Figura 32. Nesse exemplo está acontecendo o envio de grãos molhados da moega "A" para o silo pulmão "B" e a recirculação de grãos úmidos da moega "B" para a moega "C". As duas rotas formadas estão descritas abaixo. Os equipamentos em série que não podem estar em rotas diferentes foram colocados na mesma linha.

A rota 1 foi formada com os seguintes equipamentos:

- "MOA110A", "VLV110A", "V2W110A";
- "TCO120A", "V2W120A";
- "ELV130B", "V5W130B";
- "TCO140A", "V5W140A";

- "SP150B".

A rota 2 realiza a recirculação através dos equipamentos listados abaixo:

- "MOA110B", "VLV110B", "V2W110B";
- "TCO120B", "V2W120B";
- "ELV130A", "V5W130A";
- "MOA110C".

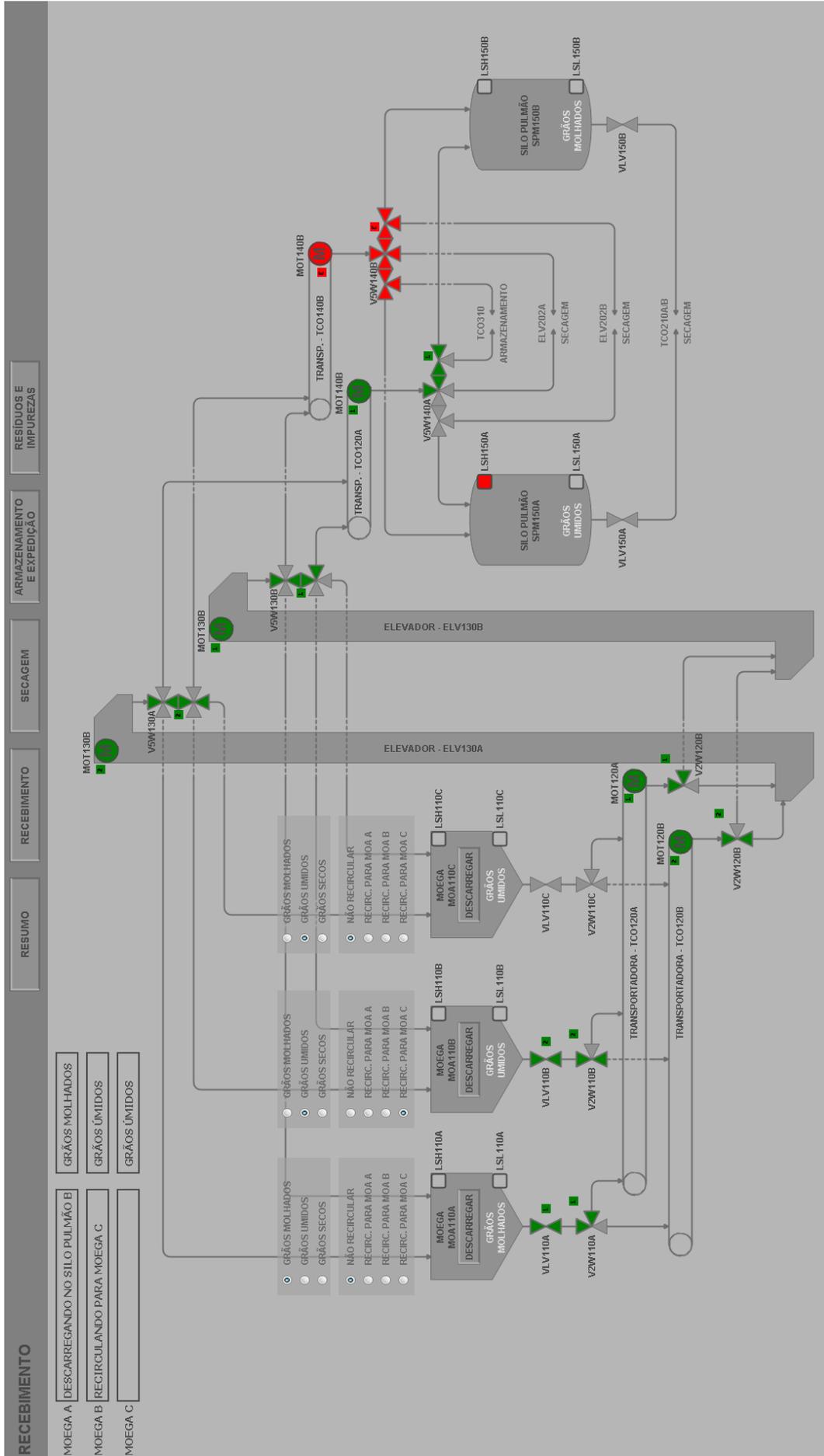
Pode-se visualizar que abaixo do título da tela foram colocadas caixas de texto que descrevem qual operação cada moega está realizando atualmente (somente com relação à saída de grãos das mesmas) e ao lado também é mostrado o tipo de grão que está sendo transportado.

Acima de cada moega há dois menus de opção: o primeiro é utilizado para definir que tipo de grão está carregado nessa moega, e o segundo serve para escolher qual operação se quer realizar com o produto armazenado na moega em questão.

Observa-se também que a esteira transportadora "TCO140B" está em falha, assim como sua respectiva válvula "V5W140B", porém isso não impediu a criação da rota 2 para realizar a recirculação da moega "B" para a moega "C".

Por fim, percebe-se que o silo pulmão "A" está cheio, sinalizado por seu sensor "LSH150A" e as válvulas de liberação dos dois silos estão fechadas, bem como a válvula de liberação dos grãos da moega "C".

Figura 32 – Tela final da área de recebimento do entreposto modelo



Fonte: Original

7 Conclusão

Esse trabalho apresentou o sequenciamento das atividades do desenvolvimento do projeto de automação de um entreposto modelo de recebimento de grãos. O entendimento do processo e do funcionamento atual de uma planta desse tipo se mostrou extremamente importante para poder priorizar os problemas mais críticos e encontrar soluções viáveis para o projeto. Esse entendimento foi aprofundado durante o desenvolvimento do modelo em uma rede de Petri, uma vez que foi necessário entender o funcionamento de cada equipamento individualmente para poder modelá-lo da forma correta. A modelagem feita, mesmo que de forma mais simplificada, possibilitou testes, na própria ferramenta, que auxiliaram na detecção de erros, problemas e requisitos faltantes no projeto e facilitaram o desenvolvimento da programação na ferramenta de programação da Siemens.

O desenvolvimento do projeto de automação no *TIA Portal* seguiu os padrões de organização utilizados na GreyLogix Brasil, e a criação de blocos genéricos garante que será mais fácil e rápido realizar os projetos dessa área no futuro. A modelagem e/ou alterações feitas em códigos já existentes também seguiu o mesmo padrão já utilizado, de forma que se torna mais fácil a realização de manutenções e/ou alterações nesses códigos. O desprendimento do uso de um *hardware* específico garantiu maior versatilidade para o projeto, podendo ser implementado em diversos controladores lógicos programáveis da Siemens.

O sistema supervisorio desenvolvido seguiu os mesmos princípios já utilizados em outro *software* de automação, de modo que se tem maior padronização das telas desenvolvidas e cria-se uma identidade específica da empresa nos sistemas supervisorios desenvolvidos.

Através da análise do projeto desenvolvido é possível verificar que os requisitos propostos pela empresa e pelos supervisores foram atingidos de forma bastante satisfatória. A modelagem em uma rede de Petri validou o modelo simplificado e gera grande confiança no projeto efetivamente implementado, uma vez que foram feitas adições e alterações sobre o modelo original.

Os testes feitos no *TIA Portal* também aumentam a confiabilidade do projeto, uma vez que foi possível encontrar erros e alterar o que fosse necessário para que se assegurasse que se teria todas as funcionalidades necessárias para que o projeto atingisse o objetivo inicial. Através do uso de *scripts* que alteram o valor das variáveis foi possível testar vários cenários que poderiam acontecer no sistema.

Não se tem como medir os ganhos ou se realmente foi vantajoso implementar o sistema em questão uma vez que não foi feita a implementação do projeto até o presente

momento. Acredita-se que os custos adicionais serão rapidamente pagos através da economia de energia e diminuição de custos de parada e manutenção das plantas que receberão esse sistema.

7.1 Trabalhos Futuros

Como mencionado anteriormente o projeto aqui desenvolvido está em fase puramente teórica. A implementação dependerá do interesse de alguma empresa se interessar na modernização de seu entreposto para receber a tecnologia desenvolvida. Abaixo serão citados alguns dos projetos que serão desenvolvidos a partir desse trabalho.

7.1.1 Malhas de Controle

A possível implementação de malhas de controle com a utilização de controladores PID na saída da moega é um estudo que deve ser realizado para comprovar se esse investimento traria benefícios muito maiores que um controle *ON/OFF* que pode ser implementado de forma mais fácil e barata.

Além dessa malha de controle existem várias outras malhas que podem ser implementadas nas outras áreas da planta (principalmente nas máquinas de pré-limpeza, limpeza e no secador) que podem melhorar a eficiência desses equipamentos e aumentar a produtividade da planta.

7.1.2 Projetos das Outras Áreas

No Capítulo 3 o entreposto possui 6 grandes áreas. Como realizar o projeto de todas as áreas ficaria inviável no tempo disponibilizado para o desenvolvimento do projeto de fim de curso, os mesmos serão desenvolvidos posteriormente. Apesar de se ter várias áreas, sabe-se que o desenvolvimento das mesmas será muito menor, uma vez que já se tem os principais blocos de equipamentos desenvolvidos, alguns dos blocos de lógica utilizados no projeto aqui desenvolvidos podem ser reutilizados e o desenvolvedor agora possui toda a base de conhecimento das ferramentas que são utilizadas no desenvolvimento do projeto de automação da planta.

7.1.3 Integração das Áreas

Após ter todas as áreas desenvolvidas, validadas e testadas no *TIA Portal*, ainda terá que ser feita a integração das áreas. A validação de todas as rotas com o sistema integrado se mostra inviável, uma vez que por ser um processo em que as áreas principais sempre possuem dois equipamentos em paralelo, a possibilidade de rotas cresce exponencialmente a cada área que é adicionada no projeto.

7.1.4 Estudo de *Hardware* e Custos

A programação foi desenvolvida em um CLP da série S7, modelo 1510, porém a programação pode ser aplicada em qualquer CLP da família 1500 e 1200 da Siemens. Isso quer dizer que o projeto pode ser aplicado em entrepostos que já utilizam *hardware* desse tipo e pode ser realizado um estudo para verificar em cada caso e arquitetura do entreposto para se ter o CLP mais barato que consiga processar a programação desenvolvida.

Para garantir que se terá um retorno financeiro com a aplicação do projeto é possível realizar um estudo de custos da adição dos sinais que deverão ser incluídos no entreposto e da compra ou desenvolvimento das válvulas de cinco vias automáticas que são utilizadas na recirculação e no *bypass*.

Referências

- 1 SOJA em números. [S.l.]: Embrapa. <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. [Acesso em 21 de Outubro de 2019]. Citado na página 8.
- 2 AGRUPECUÁRIA brasileira em números. [S.l.]: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros>>. [Acesso em 21 de Outubro de 2019]. Citado na página 8.
- 3 ANÁLISE de mercado. [S.l.]: Conab. <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado>>. [Acesso em 21 de Outubro de 2019]. Citado na página 8.
- 4 WANG, Z. et al. Transgenic soybean plants expressing spb18s dsrna exhibit enhanced resistance to the soybean pod borer leguminivora glycinivorella (lepidoptera: Olethreutidae). *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, p. e21461, 2018. Citado na página 9.
- 5 ANDRADE, J. F. et al. Assessing the influence of row spacing on soybean yield using experimental and producer survey data. *Field Crops Research*, v. 230, p. 98 – 106, 2019. Citado na página 9.
- 6 XSTORY - Bilfinger Greylogix GmbH. [S.l.]: Bilfinger Greylogix GmbH. <<https://greylogix.com/xstory/>>. [Acesso em 13 de Maio de 2019]. Citado na página 14.
- 7 GLx Brasil. [S.l.]: GreyLogix Brasil. <<http://www.greylogix.com.br/>>. [Acesso em 13 de Maio de 2018]. Citado na página 15.
- 8 SIEMENS apresenta novidades do TIA Portal V15. [S.l.]: Siemens. <<https://w3.siemens.com.br/home/br/pt/cc/imprensa/pages/siemens-apresenta-novidades-do-tia-portal-v15.aspx>>. [Acesso em 11 de Novembro de 2019]. Citado na página 16.
- 9 CASSANDRAS CHRISTOS G. E LAFORTUNE, S. *Introduction to Discrete Event Systems*. [S.l.]: Springer, 2008. ISBN 9780387333328. Citado na página 18.
- 10 CARDOSO JANETTE E VALETTE, R. *Redes de Petri*. [S.l.]: Ed. UFSC, 1997. ISBN 8532800955. Citado na página 18.
- 11 ROQUE, L. A. O. L. *Automação de Processos com Linguagem Ladder e Sistemas Supervisórios*. [S.l.]: LTC, 2014. ISBN 8521625227. Citado na página 18.
- 12 I.S. EN 60848:2013, GRAFCET specification language for sequential function charts. 2013. Citado na página 18.
- 13 PROGRAMMING Guideline for S7-1200/1500. [S.l.]: Siemens. <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/040/90885040/att_970576/v1/81318674_Programming_guideline_DOC_v16_en.pdf>. [Acesso em 11 de Novembro de 2019]. Citado na página 18.

-
- 14 MARSCHALL, E. Proposta de padrões e metodologia de desenvolvimento de sistemas supervisórios de alto desempenho. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 62.