

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA**

**CINTIA SABRINA WEIRICH
LUÍS HENRIQUE SLONGO**

**MODELO DE CONTROLE PARA O PROCESSO DE
BENEFICIAMENTO DE SEMENTES BASEADO EM EVENTOS
DISCRETOS E TEORIA DE CONTROLE SUPERVISÓRIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2014

CINTIA SABRINA WEIRICH

LUÍS HENRIQUE SLOGO

**MODELO DE CONTROLE PARA O PROCESSO DE
BENEFICIAMENTO DE SEMENTES BASEADO EM EVENTOS
DISCRETOS E TEORIA DE CONTROLE SUPERVISÓRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica, da Coordenação de engenharia Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Me. Jaqueline Vargas
Co-orientador: Prof^o. Dr. Evandro Marcos Kolling.

TOLEDO

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso Nº 011

Modelo de Controle para o Processo de Beneficiamento de Sementes Baseado em Eventos Discretos e Teoria de Controle Supervisório

por

Cintia Sabrina Weirich

Luís Henrique Slongo

Esse Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 8:20 h do dia **09 de dezembro de 2014** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Eletrônica**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Me. Ednei Luis Miotto
(UTFPR-TD)

Prof. Me. José Dolores Vergara Dietrich
(UTFPR-TD)

Profa. Me. Jaqueline Vargas
(UTFPR-TD)
Orientadora

Visto da Coordenação

Prof. Me. Alessandro Paulo de Oliveira
Coordenador da COELE

DEDICATÓRIA

Com carinho e gratidão, dedicamos este trabalho aos nossos pais, irmã e irmão, que sempre nos apoiaram e confiaram em nosso potencial, nos incentivando a seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por ter nos dado força em todos os momentos, e nos guiou para seguir em frente.

Aos nossos amados pais, Celso e Marisa, Lauri e Claudete, irmã Regina e irmão João, que nos apoiaram em todos esses anos, nos momentos bons e ruins, que acreditaram em nossa capacidade intelectual e nos impulsionaram a seguir em frente, enfrentando todas as dificuldades para que chegássemos ao fim, e principalmente, pelo carinho, compreensão e amor.

Aos nossos familiares, que nos ajudaram, incentivaram, acreditaram em nossa capacidade e contribuíram para que tudo isto se concretizasse.

A professora orientadora Jaqueline Vargas e ao co-orientador Evandro Marcos Kolling, pela brilhante orientação, amizade, dedicação, incentivo e todos os ensinamentos e conselhos transmitidos ao longo deste trabalho.

Ao grupo IRIEDI de Toledo/PR e seus funcionários, que disponibilizaram tempo e paciência para nos apresentar e explicar o funcionamento de uma de suas Unidades.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela estrutura e pelo auxílio financeiro.

Ao nosso estimado amigo Lucas, que nos acompanhou durante esta jornada, dando-nos apoio e amizade sincera.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Agradecemos também um ao outro, principalmente pela paciência nos momentos difíceis, nas madrugadas de estudo, em algumas divergências durante a elaboração deste trabalho, e principalmente, pelo apoio, pela amizade, carinho, compreensão e amor que temos nos dedicado todos os dias, sem isto, não teríamos chegado ao fim.

A todos, muito obrigado(a)!

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

RESUMO

SLONGO, Luís Henrique, WEIRICH, Cintia Sabrina. **Modelo de controle para o processo de beneficiamento de sementes baseado em eventos discretos e teoria de controle supervisório**. 2014. 70 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2014.

Atualmente, os sistemas utilizados no recebimento e pré-tratamento da produção agrícola de grãos detém pouca tecnologia e dependem significativamente de mão-de-obra. Diante disso, existe uma importante demanda por melhorias neste processo, visando assegurar maior agilidade como também qualidade ao produto final. Nesse contexto, o presente trabalho busca automatizar as etapas de beneficiamento de grãos e/ou sementes, contemplando desde a chegada do produto até o seu armazenamento. Para tal, a teoria de controle supervisório utilizando a linguagem de autômatos foi considerada na modelagem do problema. Como resultado, um modelo de controle foi proposto levando em conta as diferentes etapas de beneficiamento. A partir do modelo obtido, um controlador foi implementado em um CLP visando atestar a viabilidade da abordagem proposta através de um quadro de comando. Além disso, um sistema supervisório foi desenvolvido para monitorar o processo considerado.

Palavras-chave: automação, sistemas de eventos discretos, autômatos, unidade de beneficiamento de sementes.

ABSTRACT

SLONGO, Luís Henrique, WEIRICH, Cintia Sabrina. **Control model for seed processing based on discrete event and supervisory control theory.** 2014. 70 pages. Course Conclusion Work - Technological Federal University of Paraná. Toledo, 2014.

Nowadays, systems used in the receipt and pretreatment of the agricultural grains production has low technology and depend significantly on manpower. In view of this, there is an important demand for improvements in this process, aiming to ensure higher agility as well as quality for the final product. In this context, the present research work seeks to automate the processing steps of grains and/or seeds, covering from the arrival of the product to its storage. For such, the supervisory control theory using the automata language has been considered in the modeling of the problem. As a result, a control model has been proposed taking into account the different steps of the processing. From the obtained model, a controller has been implemented in a CLP aiming to attest the viability of the proposed approach through a control panel. In addition, a supervisory system has been developed for monitoring the process considered.

Key words: automation, discrete event system, automata, seed processing,

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sinais relevantes para o modelo proposto	17
Figura 2 - Fluxograma do processo de tratamento de sementes	21
Figura 3 - Ferramenta UPPAAL	22
Figura 4 - Declaração dos processos.....	23
Figura 5 - Janela de propriedades de um Edge	24
Figura 6 - Interface da ferramenta Twido Suite	24
Figura 7 - Interface ferramenta Elipse E3.....	26
Figura 8 - Moega de recebimento	28
Figura 9 - Máquina de pré-limpeza.....	29
Figura 10 - Processo de secagem.....	30
Figura 11 - Bateria de silos.....	32
Figura 12 - Armazém graneleiro.....	32
Figura 13 - Exemplo de Autômatos	35
Figura 14 - Modelo de autômato do exemplo motivador	36
Figura 15 - Modelo para uma eventual falha do sistema.....	37
Figura 16 - Computador Lógico Programável.....	39
Figura 17 - Modelagem para moega	40
Figura 18 - Modelagem para o elevador 1	42
Figura 19 - Modelo para a etapa de secagem.....	42
Figura 20 - Modelo da etapa de secagem transcrita para o diagrama Ladder	43
Figura 21 - Diagrama <i>Ladder</i> que habilita a memória de semente úmida.....	44
Figura 22 - Configuração das tags	45
Figura 23 - Supervisório operando.....	45
Figura 24 - Janela de comando.....	47
Figura 25 - Modelo para moega	48
Figura 26 - Estado inicial do diagrama ladder para moega	48
Figura 27 - Autômato para armazenagem.....	49
Figura 28 - Diagrama ladder para a armazenagem.....	50
Figura 29 - Autômato correspondente a pré-limpeza	50
Figura 30 - Diagrama ladder para o processo de pré-limpeza	51
Figura 31 - Autômato para a moega.....	52

Figura 32 - Diagrama ladder para cultivar diferente	53
Figura 33 - Diagrama Ladder para a memória de indicação de máquinas desligadas	53
Figura 34 - Quadro de comando	54
Figura 35 - Sistema em funcionamento.....	55
Figura 36 - Sistema em falha	55
Figura 37 - Sistema após o conserto da falha	56
Figura 38 - Modelo de autômatos para a moega.....	63
Figura 39 - Modelo de autômatos para o elevador de sementes 01	63
Figura 40 - Modelo de autômatos para eventuais falhas.....	63
Figura 41 - Modelo de autômatos para o início do sistema.....	64
Figura 42 - Modelo de autômatos para a fita transportadora 01.....	64
Figura 43 - Modelo de autômatos para fita transportadora 02	64
Figura 44 - Modelo de autômatos para a máquina de pré-limpeza	65
Figura 45 - Modelo de autômatos para a máquina de limpeza.....	65
Figura 46 - Modelo de autômatos para o elevador de sementes 02	65
Figura 47 - Modelo de autômatos para o processo de secagem.....	66
Figura 48 - Modelo de autômatos para o elevador do secador	66
Figura 49 - Modelo de autômatos para o elevador de sementes 03	66
Figura 50 - Modelo de autômatos para a armazenagem.....	67
Figura 51 - Modelo de autômatos para a etapa de processamento	67
Figura 52 - Modelo de autômatos para a caixa de expedição	67
Figura 53 - Tela inicial do sistema supervisório.....	69
Figura 54 - Tela de controle do sistema supervisório	70
Figura 55 - Prancha com as vistas de cortes da unidade de beneficiamento	71
Tabela 1 - Umidade das sementes.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
UBS	Unidade de Beneficiamento de Sementes
SED`s	Sistemas de Eventos Discretos
CLP	Controlador Lógico Programável
IEC	International Engineering Consortium
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
UCP	Unidade Central de Processamento
PIB	Produto Interno Bruto

LISTA DE SÍMBOLOS

X	Conjunto finitos de autômatos
Σ	Conjunto de eventos
f	Função de transição
x_0	Estado inicial do autômato
X_m	Conjunto de estados marcados
x, y, z	Estados do sistema
a, b, c	Transições entre estados
$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	Símbolos/eventos
Q	Conjunto finito de estados
Q_m	Conjunto de estados marcados
q_0	Estado inicial do sistema

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	17
1.3 JUSTIFICATIVA.....	18
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	18
2. METODOLOGIA	20
2.1.FLUXOGRAMA DO PROCESSO	20
2.2.FERRAMENTA PARA A MODELAGEM DE AUTÔMATOS	20
2.3.FERRAMENTA PARA PROGRAMAÇÃO DO CLP.....	24
2.4.FERRAMENTA PARA ELABORAÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO.....	25
3. PROCESSOS DE UMA UNIDADE DE BENEFICIAMENTO DE SEMENTES	27
3.1.PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DE GRÃOS/SEMENTES	27
3.2.UNIDADES BENEFICIADORAS.....	27
3.3.RECEPÇÃO, AMOSTRAGEM E CLASSIFICAÇÃO	28
3.4.PRÉ-LIMPEZA	28
3.5.SECAGEM.....	29
3.6.LIMPEZA.....	31
3.7.ARMAZENAGEM.....	31
3.8.EXPEDIÇÃO	33
4. AUTOMAÇÃO BASEADA EM SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS	34
4.1.TEORIA DE LINGUAGENS DE AUTÔMATOS E CONTROLE SUPERVISÓRIO	
34	
4.2.CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	38
5. IMPLEMENTAÇÃO	40
5.1.MODELAGEM DO SISTEMA BASEADO EM EVENTOS DISCRETOS	40
5.2.TRANScrição DO MODELO GERADO PARA LINGUAGEM <i>LADDER</i>	42

5.3. SISTEMA SUPERVISÓRIO	44
6.1. SISTEMA EM ESPERA	47
6.2. SISTEMA COMPLETO	48
6.3. QUEBRA DO EQUIPAMENTO PRÉ-LIMPEZA	50
6.4. CULTIVAR DIFERENTE NA MOEGA.....	52
6.5. SISTEMA SUPERVISÓRIO CORRESPONDENTE À QUEBRA DA PRÉ-LIMPEZA.....	54
REFERÊNCIAS.....	59
APÊNDICE A.....	62
APÊNDICE B	68
ANEXO I.....	71

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de economia fortemente agrícola, sendo que esta corresponde a 27% do PIB (Produto Interno Bruto) (SPPERT, 2014). Isso se deve ao fato do Brasil possuir terras férteis e clima favorável para a produção de grãos. A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2014) mostra que a produção no ano de 2014 atingiu os 195,47 milhões de toneladas, firmando o Brasil entre os maiores produtores de grãos do mundo. Toda essa produção deve ser devidamente armazenada para que suporte a demanda interna e assegure a competitividade no mercado externo. A estocagem pode ser feita em armazéns convencionais, graneleiros, silos, bateria de silos, entre outros. Até chegar à armazenagem, os grãos passam por vários processos dependendo da sua classificação, exemplo deles são: pré-limpeza, limpeza e secagem. O beneficiamento das sementes é de extrema importância, pois remove sujeiras e outros materiais; classifica o produto de acordo com o tamanho, cor ou densidade, isso de acordo com a Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) e com o mercado; remove sementes danificadas que não estão favoráveis para o plantio; faz a aplicação de fungicidas quando necessário para o armazenamento adequado e a posterior comercialização (NETO et al, 2007).

As técnicas utilizadas no processo de beneficiamento e tratamento de grãos e sementes ainda são muito precárias no Brasil, conseqüentemente geram perdas de produção durante o seu armazenamento (KOLLING, 2007). A falta de uma infraestrutura adequada no processo de tratamento dos grãos faz com que os gastos com mão-de-obra sejam elevados. Além disso, algumas etapas do processo podem não ocorrer de forma adequada, fazendo com que os grãos não recebam o tratamento necessário para a armazenagem, gerando assim perdas na produção. Também podem ocorrer desgastes indesejados na parte mecânica da indústria, pela falta de limpeza e manutenção dos equipamentos, que acarreta custos com correções e consertos.

Para melhorar o processo e o produto final, a automação pode ser considerada, visando diminuir o tempo de tratamento dos grãos e sincronizar cada etapa envolvida até a obtenção do produto a ser comercializado. Tais etapas (ver Capítulo 3) devem ser controladas de maneira que não ocorram eventos indesejados, impedindo o funcionamento das máquinas em momentos que podem gerar algum erro no processo. Para tal, existem técnicas e estudos de automação que podem ser

aplicadas em processos industriais e agroindustriais, como no beneficiamento de grãos e/ou sementes.

Como solução para problemas industriais, a automação permite que o processo seja independente do homem, fazendo com que a produção seja mais elevada, gerando maiores lucros e menores gastos em menos tempo. Processos de controle e automação podem ocorrer principalmente em dois modos: o dinâmico contínuo, e o discreto (CURY, 2001) e (VIEIRA, 2007).

Sistemas dinâmicos contínuos dependem estritamente da utilização da variável contínua para seu acionamento em um processo, e são regidos por equações diferenciais (CURY, 2001). Já sistemas discretos, ou também denominados sistemas a eventos discretos (SED's), recebem estímulos de eventos que ocorrem no ambiente para assim tomar uma decisão (CURY, 2001) e (MONTGOMERY, 2004). Por se tratar do controle das etapas de um processo de tratamento de sementes, a pesquisa proposta aqui, se preocupa apenas com os eventos que envolvem a produção, ou seja, o início e o fim de uma tarefa, desconsiderando como essa foi executada. Essa teoria visa, principalmente, garantir a evolução de todas as etapas e evitar que eventos indesejados aconteçam, pois podem modificar o produto ou afetar o resultado final da produção e os fins lucrativos.

Para entender melhor os dados relevantes para a proposta apresentada, pode-se observar a Figura 1. Apenas os valores de entrada e saída, proveniente dos sensores de cada máquina, serão considerados na tomada de decisão do sistema apresentado neste trabalho. Assim, considera-se que os equipamentos envolvidos no processo já possuem um sistema de controle e seus devidos sensores já estão instalados.

Para efetuar o controle de SED's não se consideram as técnicas da denominada teoria de controle clássica. Podem ser encontradas na literatura algumas teorias de modelagem para eventos discretos como: redes de Petri (SILVESTRE, 2010), autômatos e controle supervisório (VIEIRA, 2007) e (TORRICO, 2003), cadeias de Markov (SILVA, JUNIOR), entre outros. Dentre essas técnicas, a que possui mais referências na literatura e maior simplicidade em sua modelagem, é a teoria de autômatos e controle supervisório.

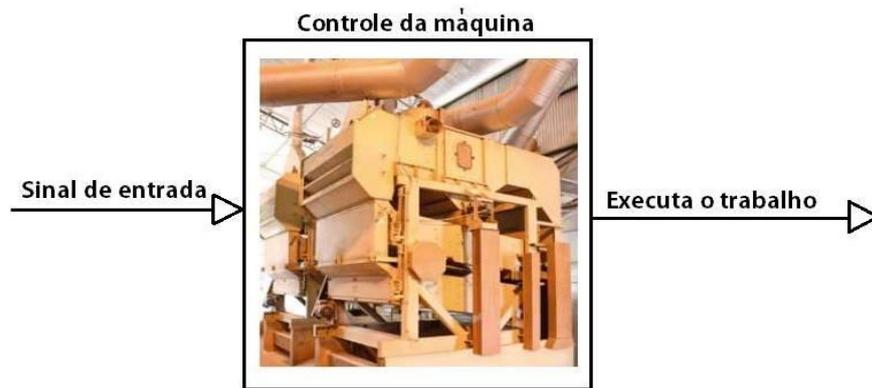


Figura 1 - Sinais relevantes para o modelo proposto
Fonte: Autoria própria.

Com isso, este trabalho propõe modelar um sistema de beneficiamento de sementes através da linguagem de autômatos, que poderá ser implementado em um Controlador Lógico Programável (CLP). Além disso, deve-se implantar um supervisão através de uma tela, permitindo que o usuário monitore o processo.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho é desenvolver um sistema de controle para o fluxo de beneficiamento de sementes com base em SED's, aplicando a teoria de controle supervisão.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Revisão bibliográfica;
- Analisar a planta a ser controlada, especificando as limitações e restrições de cada etapa do processo escolhido;
- Modelar a planta através da linguagem de autômatos;
- Modelar as restrições da planta através da teoria de controle supervisão, baseado na linguagem de autômatos;
- Implementar o modelo em um controlador lógico programável para realizar uma verificação do modelo proposto.
- Criar um sistema supervisão simples para visualização do controle do processo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os problemas de funcionamento inadequado de alguns equipamentos dentro de uma UBS podem acarretar riscos aos funcionários, desgaste de máquinas, perda de produto e também de lucro. Ainda deve ser lembrado que a maioria das unidades não são automatizadas, tornando o sistema mais lento e menos eficiente. Por isso, viu-se a necessidade de controlar o processo de uma UBS, e observá-lo de um sistema supervisorio onde, após a implementação no meio físico, o operador não terá a necessidade de se deslocar dentro da unidade para acionar algum maquinário. Com isso, pode-se diminuir o tempo para realizar todas as etapas de produção; além de possibilitar a redução das perdas por danos mecânicos; a quantidade de mão de obra reduz; e ainda as máquinas necessitarão de menos manutenção pelo uso adequado das mesmas.

Assim, é possível obter um sistema independente, onde apenas em caso de emergência o operador aciona um comando para pausar o trabalho de algum equipamento. Destaca-se que este trabalho visa apenas a automação do processo e não interfere no funcionamento das máquinas existentes.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos, e os mesmos também estão divididos em seções para melhor organização. O primeiro capítulo diz respeito à Introdução da proposta.

O segundo capítulo trata da Metodologia, onde são descritas as ferramentas utilizadas para a implementação do sistema.

O terceiro capítulo corresponde à revisão bibliográfica na área agrícola, voltado principalmente para o entendimento do funcionamento de uma Unidade de Beneficiamento de Sementes, destacando as características de cada etapa.

O quarto capítulo traz a revisão bibliográfica sobre a teoria de sistemas a eventos discretos e linguagem de autômatos, incluindo uma breve explicação relacionando a teoria do controle supervisorio.

No quinto capítulo está exposta a implementação deste trabalho. Ela consiste na explicação de um modelo de autômato correspondente a uma das etapas, e ainda,

a transcrição de uma dessas etapas para o diagrama *Ladder*, bem como a implementação do sistema supervisorio de todos os modelos.

No sexto capítulo são relatados os resultados da modelagem com autômatos e diagrama *Ladder*, explicando alguns cenários e as técnicas utilizadas para evitar que problemas ocorram, feitos por meio de restrições que correspondem ao controle supervisorio do modelo. Também são verificados os resultados para a união da implementação feita no diagrama *Ladder* com o sistema supervisorio criado.

Por fim, o sétimo capítulo traz as conclusões dos resultados e do trabalho como um todo, e ainda algumas propostas para a continuação deste modelo em trabalhos futuros.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi realizada uma visita na UBS do grupo IRIEDI, localizada na BR 163 entre as cidades de Toledo e Marechal Cândido Rondon. Tal unidade foi tomada como base para a elaboração de um modelo geral do controle do processo de beneficiamento de sementes, onde foram consideradas as etapas básicas de produção, desde a classificação até o armazenamento ou expedição. A prancha com as vistas de cortes, e a planta baixa da unidade pode ser vista no Anexo I.

2.1. FLUXOGRAMA DO PROCESSO

Com base na planta do Anexo I, e da análise das possíveis fases do processamento do produto, elaborou-se um fluxograma, representado na Figura 2, das etapas utilizadas na modelagem do sistema (UBS). O fluxograma foi gerado de modo a facilitar o entendimento do modelo desenvolvido, visto que as unidades de beneficiamento não possuem um padrão para as etapas ou mesmo equipamentos. Assim, dependendo do produto a ser beneficiado e da função comercial de cada unidade, estas podem assumir diferentes possibilidades de fluxo e de leiaute produtivo.

Para fazer a modelagem de acordo com o modelo proposto no fluxograma da Figura 2, tem-se utilizado a linguagem de autômatos, pois dentre as teorias é a que mais se relaciona com o problema, onde a obtenção dos resultados será mais satisfatória, além de possuir vários *softwares* livres para o auxílio na modelagem.

2.2. FERRAMENTA PARA A MODELAGEM DE AUTÔMATOS

Com a definição do fluxo, definem-se também os limites para a elaboração do modelo geral, que será implementado através de uma ferramenta para modelagem de autômatos, denominada UPPAAL. Optou-se pela escolha desta plataforma por dois motivos: primeiramente, por ela possuir uma versão acadêmica, ou seja, livre para aplicações não comerciais; e também, por permitir simular e verificar sistemas com as restrições (supervisor) sem a necessidade de compor todos os modelos gerados.

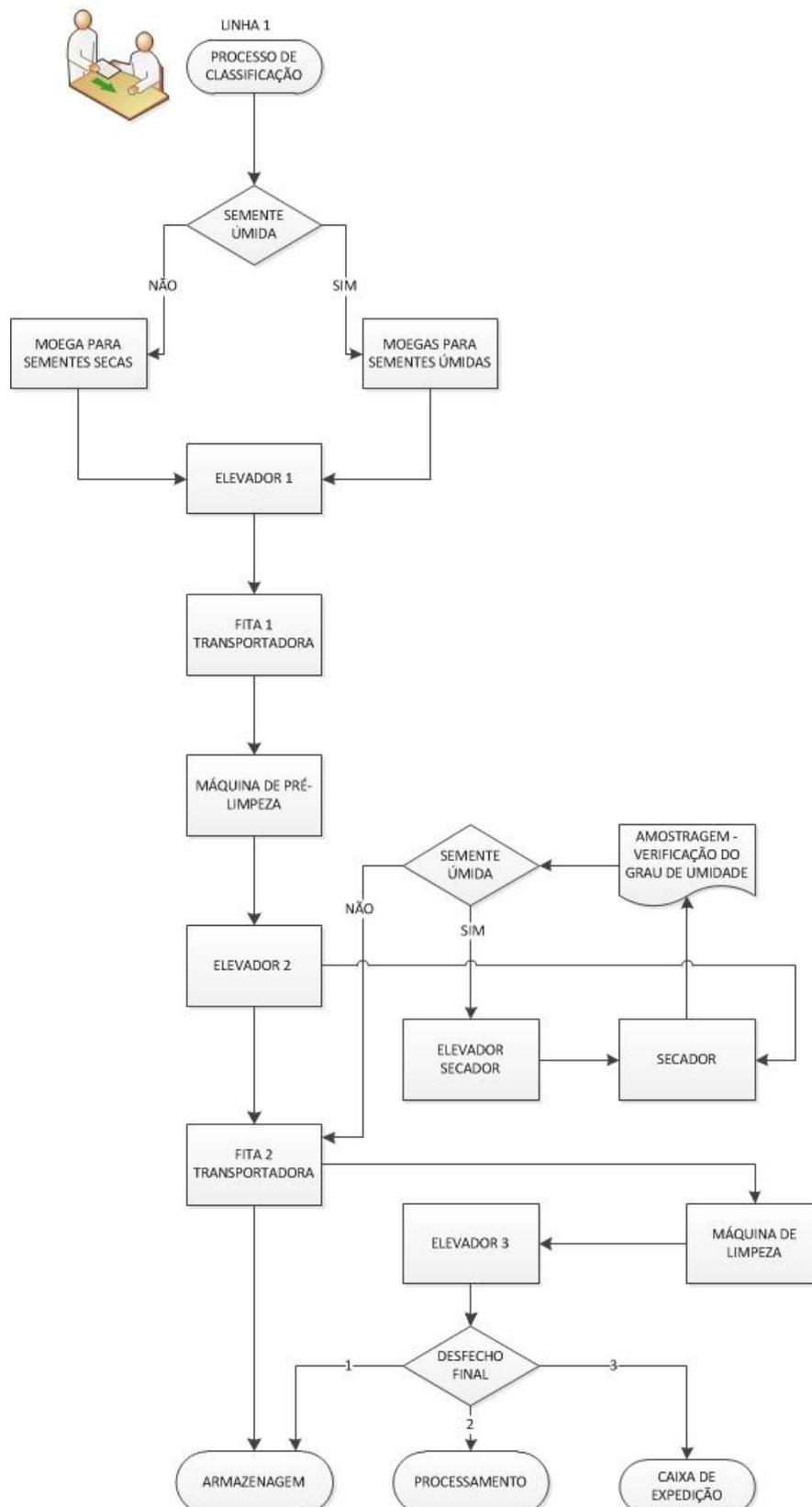


Figura 2 - Fluxograma do processo de tratamento de sementes
Fonte: Autoria própria.

A modelagem pode ser feita de forma textual ou gráfica. A primeira requer um conhecimento mais profundo da linguagem pelo usuário, enquanto a outra é mais simples para o desenvolvimento e compreensão. Para a implementação, a ferramenta possui diversas opções que facilitam a modelagem de um sistema e, dentre elas há as definições de funções, que sintaticamente são parecidas com a linguagem de programação C. Essas funções são importantes nas transições de estados dentro de um modelo de autômato, onde é possível realizar operações mais complexas permitindo, deste modo, uma modelagem satisfatória.

A Figura 3 mostra um modelo gráfico desenvolvido utilizando o UPPAAL, o editor é constituído por três partes distintas. Na área 1 se tem a interface que inclui o menu “aplicação”, e através dela criam-se os modelos de autômatos e as transições desejadas.

A área 2 permite a mudança entre as partes descritas dentro de um modelo, onde, utilizando a opção *Declarations*, é possível declarar as especificações globais, ou seja, definir funções, variáveis e constantes utilizadas em qualquer parte do modelo, e estas só poderão ser utilizadas dentro do conjunto. Além disso, em *System declarations* ficam as declarações de cada processo, com suas devidas atribuições. Pode ser observado na Figura 4 como realizar essas declarações e, ainda que para cada processo criado, o mesmo deve ser declarado dentro do *System declarations*.

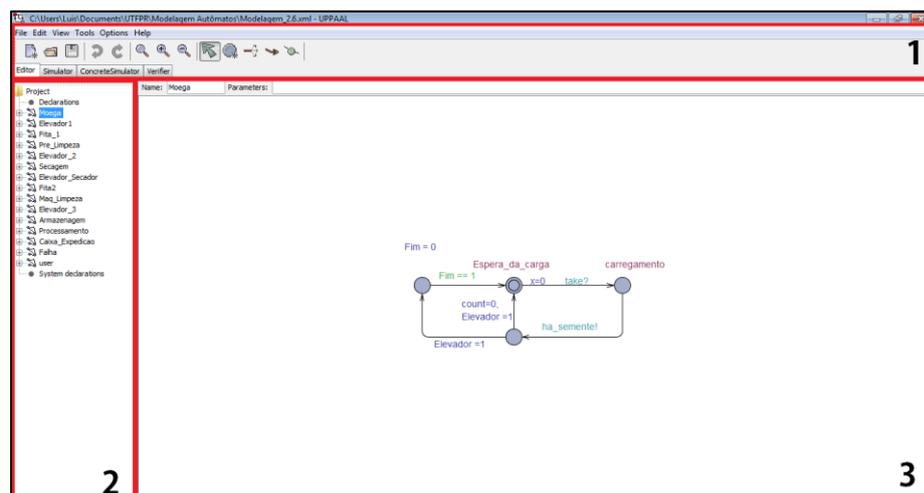


Figura 3 - Ferramenta UPPAAL
Fonte: Autoria própria.

Por fim, a área 3 é utilizada para construir a representação gráfica de um modelo de autômato selecionado na área 2. As transições e estados são

indispensáveis para a construção deste modelo. Assim, as ocorrências de transições entre dois estados correspondem a um *edge* na ferramenta, e possui, por sua vez, quatro parâmetros (*Select*, *Guard*, *Sync* e *Update*), que permitem trabalhar com as validações para as evoluções das transições. A Figura 5 apresenta a janela de edição destes parâmetros.

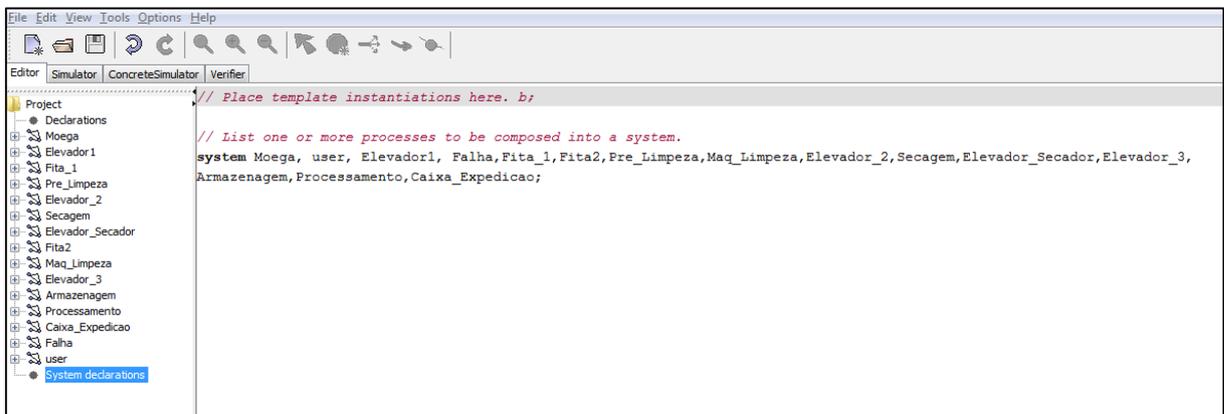


Figura 4 - Declaração dos processos
Fonte: A autoria própria.

O parâmetro *select* permite atribuições de valores a uma variável temporária e/ou global, porém são válidas apenas para transições entre dois estados. Já o parâmetro *guard* permite a ativação de uma transição sobre uma determinada condição, com isso é possível realizar restrições para a evolução de um estado. A especificação *sync* permite também a ativação de uma transição, porém esta ocorre de forma “programada”, permitindo que uma ou mais transições sejam ativadas ao mesmo tempo. Por último, o parâmetro *update* faz com que os valores das variáveis globais e locais sejam atualizados.

Após a realização da modelagem pelo *software* acima descrito, é necessário fazer a implementação do modelo para a linguagem do diagrama *Ladder*, que possui fácil programação e também conta com uma versão livre para *download*.

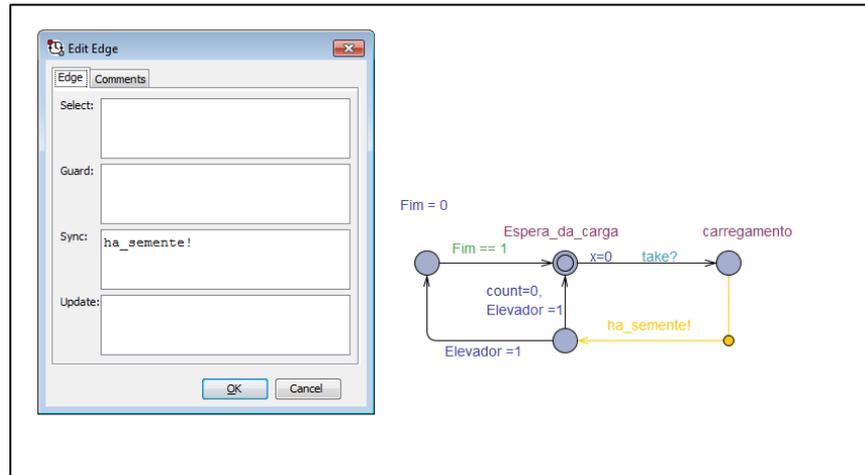


Figura 5 - Janela de propriedades de um Edge
Fonte: Autoria própria.

2.3. FERRAMENTA PARA PROGRAMAÇÃO DO CLP

Para a implementação desta proposta utilizou-se a linguagem *Ladder*, que utiliza simbologias semelhantes à representação de esquemas elétricos. Além do *Ladder*, a norma internacional IEC (*International Engineering Consortium*) 61131-3 possui outras quatro linguagens (GUIMARÃES, 2005) e (MARTINS, 2012). O desenvolvimento do sistema, para o funcionamento do modelo proposto no CLP, será transcrito do modelo de autômatos. A ferramenta utilizada para a implementação da linguagem *Ladder* é o Twido Suite V2.0 (SILVESTRE, 2010). A escolha deste *software* se justifica pelo fato da existência de uma versão livre, onde o *download* pode ser encontrado na internet na página da Schneider-Electric.

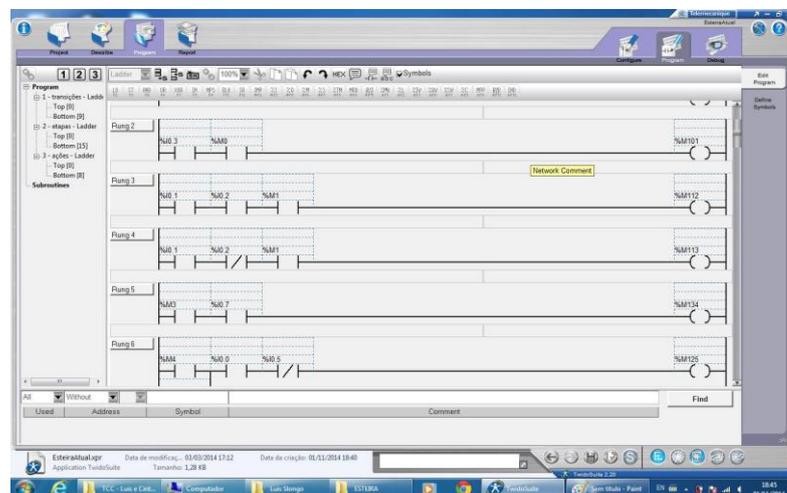


Figura 6 - Interface da ferramenta Twido Suite
Fonte: Autoria própria.

Com o sistema em funcionamento no Twido Suite (ilustrada na Figura 6), é possível em seguida comunicá-lo com um sistema supervisório monitorando assim, as ações da planta.

2.4. FERRAMENTA PARA ELABORAÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO

Visando desenvolver um sistema supervisório após a implementação do controle no CLP, foi escolhida uma ferramenta popular para sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) (GUEDES, 2009), denominada Elipse E3.

A ferramenta é de fácil interpretação e manuseio, onde o usuário pode criar a planta do processo que será controlado, colocando todos os detalhes de máquinas, botoeiras, sensores, entre outros. O controle e o sistema supervisório, são amplamente utilizados na indústria, pois os problemas são detectados mais facilmente, reduzindo gastos com mão de obra, com manutenção de equipamentos, aumentando assim os lucros e a confiabilidade do sistema. A Figura 7 ilustra a interface do Elipse E3.

Com essa ferramenta, uma tela pode ser criada com a planta geral da unidade de beneficiamento (de acordo com o fluxograma da Figura 2). Assim, para os testes e resultados é possível comunicar o CLP e a tela de interface com usuário.

Uma vez definidas as ferramentas utilizadas para a elaboração do modelo geral, é necessário compreender as teorias envolvidas para o desenvolvimento deste trabalho. Para tanto, fez-se necessário estudos referentes as etapas de beneficiamento das sementes e de sistemas a eventos discretos. Os entendimentos dessas teorias para gerar um modelo confiável e eficaz estão descritas no Capítulo 3 e Capítulo 4.

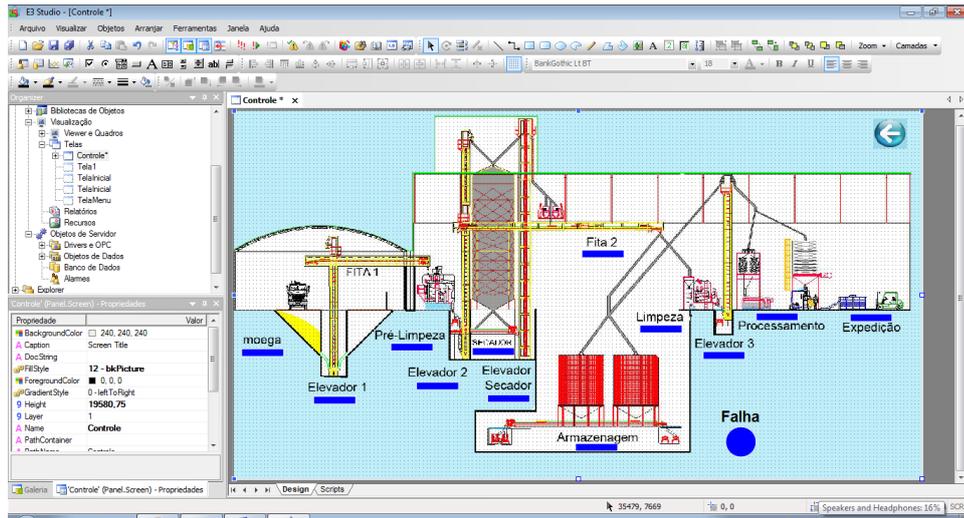


Figura 7 - Interface ferramenta Elipse E3
Fonte: Autoria própria.

3. PROCESSOS DE UMA UNIDADE DE BENEFICIAMENTO DE SEMENTES

Este Capítulo busca esclarecer o funcionamento das principais etapas de um processo de beneficiamento de sementes para, assim, tornar mais claro o entendimento do modelo a ser gerado e controlado.

3.1. PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DE GRÃOS/SEMENTES

O expressivo e contínuo crescimento da agricultura brasileira nos últimos anos coloca o Brasil entre os maiores produtores mundiais e, segundo dados da CONAB (2014), destaca-se um aumento de 5,3% da área plantada em relação à safra de 2012/13, totalizando uma estimativa para 2013/14 de 56,40 milhões de hectares de área plantada.

Todo esse crescimento requer uma infraestrutura adequada para o armazenamento e comercialização da produção agrícola. Para um bom armazenamento, várias etapas de beneficiamento, do recebimento à estocagem dos produtos, devem ser observadas. Tais etapas são retratadas nas próximas seções, a fim de se esclarecer o princípio e a importância de cada evento no processo de beneficiamento de grãos e/ou sementes.

3.2. UNIDADES BENEFICIADORAS

Após a colheita, os produtos são direcionados às unidades beneficiadoras. Essas Unidades que recebem, beneficiam e armazenam produtos agrícolas têm por objetivo manter, durante determinado período, as características dos grãos e/ou sementes após sua retirada das lavouras.

A manutenção das características e qualidade do produto depende da boa condução das diversas etapas de beneficiamento dentro das unidades.

As etapas de beneficiamento iniciam com o processo de recebimento do produto, onde é classificado e segue para as fases de limpeza, secagem e armazenamento, aguardando a expedição de comercialização. Essas etapas são detalhadas adiante, a fim de contribuir com a descrição e caracterização dos eventos acerca de cada processo.

3.3. RECEPÇÃO, AMOSTRAGEM E CLASSIFICAÇÃO

Ao chegar na unidade de beneficiamento, o grão ou semente colhido passa pela classificação e pesagem, onde se analisará a qualidade do produto, as impurezas, o grau de umidade.

Esta classificação é feita por meio de amostragens de cada carregamento e os padrões de classificação do produto, geralmente, seguem normas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura.

Cabe ao processo classificatório determinar qual será o lote da carga recebida, e para qual unidade de armazenamento provisório o produto deve seguir. Tal armazenamento é denominado moega, que tem como principal função acelerar e otimizar o fluxo de recebimento dos grãos. A Figura 8 mostra duas moegas em corte.

A descarga é feita, principalmente, em duas formas, manualmente, ou através de plataformas basculantes (tombadores). As moegas são geralmente construídas em formas cônicas para facilitar a chegada do produto a outros equipamentos, como elevadores e fitas, responsáveis pelo transporte do produto às demais etapas de beneficiamento. Das moegas o produto seguirá para as etapas de limpeza, iniciando, geralmente, com o processo de pré-limpeza em máquinas específicas.

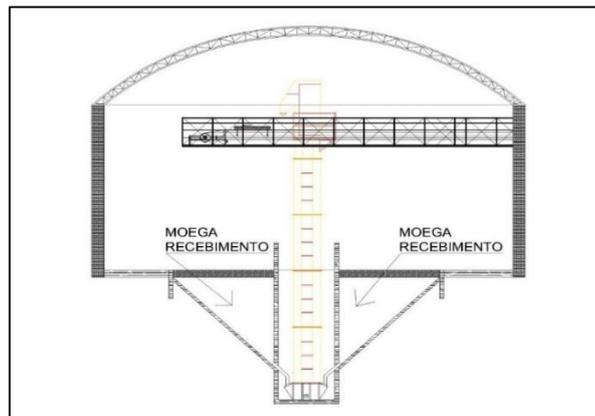


Figura 8 - Moega de recebimento
Fonte: Autoria própria.

3.4. PRÉ-LIMPEZA

O processo de pré-limpeza é considerado o primeiro passo do beneficiamento antes do processo de secagem. A limpeza do produto apresenta-se como uma das etapas vitais à secagem e ao armazenamento seguro dos grãos e sementes

(KOLLING, 2007) e (MARIN, 2014). Nessa etapa são retiradas as impurezas mais grossas e materiais estranhos (insetos, folhas verdes, sabugos) que possuem formas, densidades e muitas vezes dimensões diferentes. Além da retirada parcial das impurezas contribui para uma secagem mais eficiente e menos onerosa em consumo de energia nos secadores.

Para ser realizada a pré-limpeza, o sistema atua de duas formas: a primeira é feita por máquinas que liberam ar para retirada das impurezas leves; e a segunda é através do sistema de peneiramento, onde peneiras de formas e tamanhos diferentes permitem a retirada das partículas maiores e menores. A Figura 9 ilustra a imagem de uma máquina de pré-limpeza.

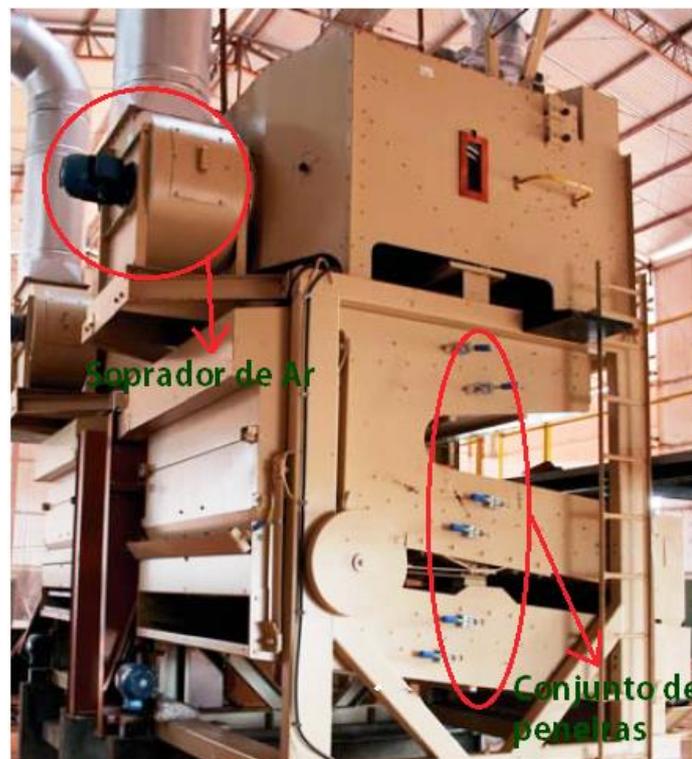


Figura 9 - Máquina de pré-limpeza
Fonte: Kepler Weber (2014).

3.5. SECAGEM

Um dos processos mais importantes do beneficiamento dos produtos agrícolas. Consiste, basicamente, em um tratamento térmico para a redução da umidade da massa dos grãos, visando garantir uma armazenagem segura.

Tal processo é realizado frequentemente por secagem artificial, ou seja, por meio de processos mecânicos para a circulação do ar no interior dos secadores. Esses

equipamentos são constituídos por vários itens, dentre eles temos as colunas de secagem, difusores de ar, exaustores, fornalhas e retentores de fagulhas que garante que o grão não entre em contato com as faíscas provenientes das fornalhas.

O ar que circula nos secadores é geralmente, proveniente de fornalhas a lenha. A Figura 10 ilustra o funcionamento deste processo.



Figura 10 - Processo de secagem
Fonte: Kepler Weber (2014).

A retirada de umidade de produto deve acontecer até que este atinja as umidades padrões de armazenamento seguro, muito próximas da umidade padrão de comercialização. Logicamente, a umidade de armazenamento seguro, depende do produto beneficiado. Na Tabela 1 segue os valores de umidade de algumas sementes pós-colheita e prontas para a comercialização.

De acordo com Neto (2007), as porcentagens de umidade das sementes podem variar de região para região do Brasil, pois dependem muito das condições climáticas de cada lugar. A Tabela 1 traz valores de umidades de sementes que são seguidos em todo o Brasil, não apenas para uma região em específico. Por exemplo, a umidade da soja após secagem na região oeste e norte do Paraná fica em torno de 11,5% a 12%, que está dentro do valor mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Umidade das sementes

PRODUTO	COLHEITA		IDEAL
	Máximo	Ótimo	Após secagem
MILHO	23	20-22	12
SOJA	18	15-18	11-14
SORGO	26	23-26	9
TRIGO	23	15-17	8

Fonte: (AGRIFARM7,2014) ;(NETO et al,2007)

3.6. LIMPEZA

Depois de o produto passar pelos processos de pré-limpeza e secagem, deve-se fazer a limpeza do mesmo, pois ainda pode haver muitas impurezas e grãos impróprios para a comercialização. A máquina utilizada é igual à do processo de pré-limpeza, que possui ventiladores e peneiras para a retirada da sujeira. Porém, nessa etapa, ocorre a retirada dos grãos quebrados ou muito pequenos, considerados impróprios.

Em alguns lugares, também pode se observar na etapa de limpeza a utilização de mesas dessimétricas e espirais, que realizam o processo de limpeza classificando o produto pelo seu peso, como no caso do beneficiamento de sementes.

A partir daí as sementes podem avançar para a etapa de classificação por características físicas e dessimétricas, no caso de sementes, ou para armazenagem ou expedição para grãos.

3.7. ARMAZENAGEM

Após limpo e seco o produto é levado pelos transportadores, às estruturas de armazenamento/estocagem. Existem diversas estruturas possíveis para o armazenamento dos grãos, e cada uma possui a sua particularidade, mas com a mesma função, manter o máximo das características dos produtos. Para que isto seja possível a técnica da aeração é empregada nos silos e armazéns, que com o uso do ar, deixam a temperatura e a umidade do produto constantes (SILVA, 2011). Algumas das estruturas mais utilizadas são:

- **Silos** – Construídos principalmente em chapas metálicas, são células de armazenamento individual geralmente em formas cilíndricas. Quando agrupadas para o recebimento e processamento, recebem o nome de baterias de silos, deste modo aumentando a capacidade de armazenamento (SILVA, 2000). A Figura 11 ilustra a imagem de uma bateria de silo.
- **Armazéns graneleiros:** São caracterizadas por serem unidades de armazenamento horizontal. Possuem grande capacidade de armazenamento, e propicia, principalmente, a manutenção da qualidade do produto juntamente com a facilidade de enchimento e esvaziamento do armazém (SILVA, 2000). A Figura 12 ilustra um armazém tipo graneleiro.



Figura 11 - Bateria de silos
Fonte: Kepler Weber (2014).



Figura 12 - Armazém graneleiro
Fonte: Cerenge Armazéns Gerais.

3.8. EXPEDIÇÃO

O processo da expedição é o destino final do produto, tratando-se da etapa de retirada do produto da unidade, nas características delimitadas pelos contratos de comercialização. O sistema de expedição consiste basicamente em um depósito superior, onde abaixo dele o veículo de transporte é carregado. Em alguns lugares, principalmente o de carregamento de vagões, o sistema possui balanças para controlar a carga depositada, nos sistemas mais tradicionais, o controle de carga é feito na mesma balança de recebimento do produto.

Com base no exposto, pôde-se elaborar um modelo geral de controle, levando em consideração cada etapa de beneficiamento. Para modelar o controle da planta, existem algumas técnicas e teorias, que garantem uma organização e fluidez de cada etapa. Tais técnicas já foram discutidas na Metodologia, no Capítulo 2, e podem ser mais aprofundadas no Capítulo 4.

4. AUTOMAÇÃO BASEADA EM SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS

Neste Capítulo serão discutidas as teorias para a modelagem do controle da UBS analisada. Para melhor entendimento do problema, o sistema proposto é constituído por eventos que ocorrem de forma instantânea no tempo, sem tempo definido para iniciar e terminar. Tais eventos podem levar a planta a uma transição, e em seguida, uma mudança de estado (CURY, 2001). É isso que define o sistema como sendo de eventos discretos e por esse motivo, a forma clássica de modelagem por meio de equações diferenciais não pode ser aplicada. Para isso, existem vários tipos de modelos que podem ser aplicados a fim de obter os resultados adequados como, Redes de Petri (CABRAL, 2013); Cadeias de Markov (SILVA, JUNIOR); álgebra de Max-Plus (MAIA, et. al, 2005); linguagem de autômatos e controle supervisorio (CASSANDRAS, LAFORTUNE, 1999); entre outros.

4.1. TEORIA DE LINGUAGENS DE AUTÔMATOS E CONTROLE SUPERVISÓRIO

Dentre as teorias estudadas, a teoria de autômatos e controle supervisorio foi a escolhida para a modelagem da planta a ser controlada neste trabalho. Isso devido a viabilidade, o comportamento da planta, a quantidade de documentação na literatura, e a existência de ferramentas de fácil acesso.

Os autômatos, que também podem ser entendidos como máquinas de estados, são definidos como uma linguagem que possui regras definidas, capaz de representar um sistema de eventos discretos. Segundo Cury (2001), um autômato pode ser definido como uma quintupla (conjunto de cinco variáveis), podendo ser visualizado em (1):

$$G = (X, \Sigma, f, x_0, X_m) \quad (1)$$

Para tal quintupla, a variável X representa um conjunto finito de autômatos, Σ representa um conjunto de eventos que está relacionado com G , f a função de transição que pode ser parcial na sua extensão, x_0 o estado inicial do autômato, e X_m é o conjunto de estados marcados (estados que podem representar o final do processo). Um autômato pode ser representado mais facilmente por um grafo de estados e transições, como o da Figura 13. Os nós x , y e z são os estados do sistema,

e os arcos a, b e g são as transições entre os estados. Círculos duplos representam os estados marcados ou finais, e a seta o estado inicial x_0 .

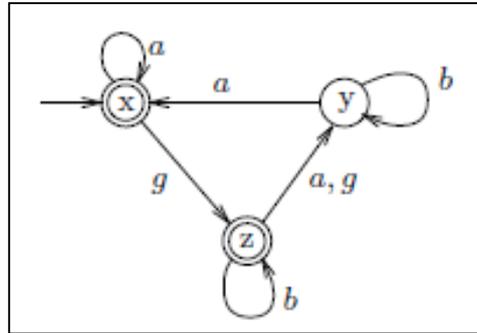


Figura 13 - Exemplo de Autômatos
Fonte: Teoria de Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos (Cury,2001).

Este é um exemplo simples de autômato para o entendimento inicial do problema. Problemas muito mais complexos podem ser representados e solucionados com este método. Segundo Vieira (2007), um sistema a eventos discretos é caracterizado por estados cuja evolução depende da ocorrência abrupta e sem duração de tempos dos determinados eventos. Estes podem ser definidos a partir de um alfabeto onde um conjunto de símbolos/eventos formam palavras. De modo geral um alfabeto é representado pela letra maiúscula Σ , um exemplo desta representação pode ser visto em (2):

$$\Sigma = \{\alpha, \beta, \gamma, \delta\} \quad (2)$$

Então, (2) é definido como um alfabeto, onde, $\alpha\alpha$, β , $\alpha\beta$, $\gamma\alpha\beta$, são exemplos de palavras formadas. A combinação dos símbolos irá determinar o comportamento do sistema e, se houver uma palavra vazia, ou seja uma palavra sem combinação, de comprimento nulo, esta palavra será então definida pelo símbolo ϵ (MONTGOMERY, 2004). A maneira de representação por meio de um alfabeto é definida como linguagens formais, que atuam de modo a facilitar a apresentação dos eventos por meio de símbolos.

Assim, os autômatos são formalismos capazes de representar estas linguagens através de transições de estados, ao reconhecer as palavras de uma

determinada linguagem, o autômato fará a leitura das sequências de símbolos, e a cada leitura provocará mudanças em seus estados.

De modo a associar este formalismo como âmbito deste trabalho, retirou-se um exemplo motivador de (MONTGOMERY, 2004) a fim de demonstrar a transformação de um alfabeto em um autômato representado graficamente. O autômato por ele apresentado é definido por:

$$\Sigma = (\alpha; \beta; \gamma); \text{ – Conjuntos de símbolos}; \quad (3)$$

$$Q = (0; 1; 2) \text{ – Conjunto finitos de estados}; \quad (4)$$

$$q_0 = 0 \text{ – Estado inicial do sistema}; \quad (5)$$

$$Q_m = \{1; 2\}; \text{ – Conjunto de estados marcados, representam os estados finais}; \quad (6)$$

E as funções de transições de estados são representadas por:

$$\delta(\alpha, 0) = 1, \delta(\alpha, 2) = 2, \delta(\beta, 1) = 0, \delta(\beta, 2) = 1, \delta(\gamma, 1) = 1, \delta(\gamma, 2) = 0; \quad (7)$$

Estas expressões facilitam a representação de mudança de estados, ou seja, para um determinado evento α (representado graficamente por um arco) haverá uma mudança do estado 0 para o estado marcado 1, esta mesma lógica se aplica para as demais funções deste exemplo. Após transcrever todas as expressões tem-se o autômato representado pela Figura 14.

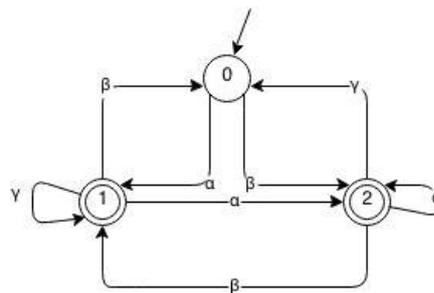


Figura 14 - Modelo de autômato do exemplo motivador
Fonte: Autoria própria.

Contudo, pode-se observar que quanto maior for o número de estados, maior será a complexidade, a visualização e compreensão por meio de sua representação gráfica.

Lembrando que o objetivo deste trabalho é automatizar o processo de tratamento de sementes por meio da linguagem de autômatos, tem-se como exemplo a Figura 15, que representa a linguagem gráfica para a etapa de falha utilizada na modelagem do sistema (os demais modelos podem ser visualizados no Capítulo 5 e no APÊNDICE A).

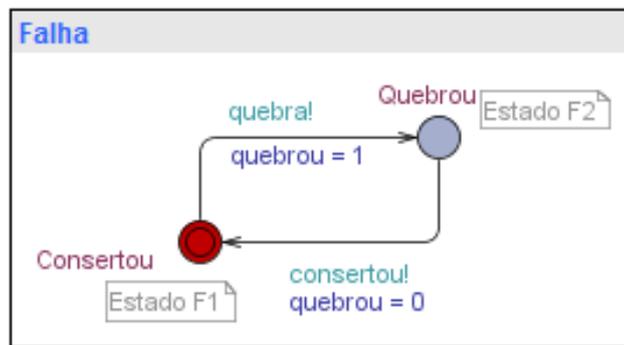


Figura 15 - Modelo para uma eventual falha do sistema.
Fonte: Autoria própria.

Para a teoria aqui exposta, deve-se ter atenção na separação do que é estado, transição, estado inicial e final, evitando assim possíveis erros que impeçam de solucionar o problema proposto. Para sintetizá-lo, pode-se dividir o sistema completo em várias partes, utilizando assim vários sistemas de autômatos, o que por sua vez facilitará a detecção de possíveis falhas no processo.

A utilização de autômatos na modelagem do trabalho proposto facilita o controle geral da planta, isso porque é possível aplicar a denominada teoria de controle supervísório (CASSANDRAS, LAFORTUNE, 1999) e (TORRICO, 2003). Essa técnica permite que se modelem as restrições (supervisor) da planta separadas do modelo geral, facilitando sua elaboração. Como foi exposto por Vieira (2007), o próprio sistema é que define qual etapa ou evento irá ocorrer em determinado momento. O supervisor modelado é responsável por observar qual etapa irá ocorrer, para então, concatenar os subeventos e atualizar as entradas para que novos eventos sejam habilitados, ou antigos desabilitados.

Após a modelagem da planta de uma unidade beneficiadora através de autômatos e controle supervísório, é necessário implementar tal modelo. Para isso, faz-se necessário a utilização de um controlador que permita uma programação

através do modelo discreto pronto. O controlador mais usual em ambientes industriais é o CLP (controlador lógico programável), que será visto a seguir.

4.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Um controlador lógico programável, conhecido popularmente como CLP (MELLO), pode ser entendido como um controlador que possui memória e uma Unidade Central de Processamento (UCP), onde, através de uma lógica nela gravada, gerencia diversos acionamentos e leituras de parâmetros (ENGELOGIC, 2012) e (GUEDES, 2009). Como exemplo de tais parâmetros se têm níveis de temperatura e umidade, utilizados principalmente em ambientes industriais. O CLP pode acionar diversos tipos de motores em diversas aplicações, ou até mesmo, através de suas entradas analógicas ou digitais é possível fazer uso de sensores que irão auxiliar nos processos industriais.

O dispositivo surgiu devido às necessidades da indústria automobilística nos anos 60 (KOPELVSKI, 2010). Quando a produção, ou algum automóvel se modificava, as equipes tinham enormes dificuldades em atualizar o sistema. Assim, acabavam tendo que mudar todo o sistema, gerando transtornos e atrasos para a empresa. Com isso, surgiu o CLP, visando facilitar a produção industrial bem como sua operação. É um dispositivo de fácil entendimento e programação, suporta altas e baixas temperaturas, poeira, vibrações e umidade. Outra vantagem deste dispositivo é que, uma de suas linguagens de programação, o diagrama *Ladder*, é de fácil entendimento (GUEDES, 2009), e a partir das divisões do processo em, etapas, transições e ações, podem-se desenvolver várias aplicações.

Com tudo, o CLP é um aliado para os sistemas a eventos discretos, utilizado principalmente para aplicações dentro de ambientes industriais para o controle de processos ou automação industrial. Em seu funcionamento, as variáveis assumem valores booleanos (ativo ou inativo), ou valores que estejam dentro de um conjunto finito. Deste modo, facilita-se o trabalho com variáveis ditas analógicas, bem como variáveis digitais. A Figura 16 ilustra a imagem de um CLP.



Figura 16 - Computador Lógico Programável
Fonte: Schneider Electric (2014).

Até aqui, foi possível fazer um estudo mais aprofundado e detalhado da estrutura de uma UBS e seu funcionamento, podendo assim, determinar quais as técnicas e teorias da automação podem auxiliar na otimização dos processos. Além disso, com a metodologia para a elaboração do trabalho, o próximo passo é desenvolver a modelagem do sistema geral e realizar alguns testes na ferramenta utilizada, demonstrando a eficiência da mesma.

5. IMPLEMENTAÇÃO

Durante o decorrer deste trabalho foi visto o funcionamento de uma unidade de tratamento de sementes, bem como as teorias e técnicas que estão sendo empregadas no desenvolvimento. Desse modo, o processo de implementação teve início tomando como base o fluxograma da Figura 2. Será analisada então, o modelo gerado com auxílio da ferramenta para linguagem de autômatos, o diagrama *Ladder* e a elaboração do sistema supervisor.

5.1. MODELAGEM DO SISTEMA BASEADO EM EVENTOS DISCRETOS

Os modelos gerados em autômatos representam o funcionamento de cada máquina separadamente e a possibilidade de defeito em cada uma. Assim, na modelagem de cada etapa já foram consideradas as restrições (como por exemplo, a pré limpeza só pode ser acionada se a fita que leva as sementes até ela estiver ligada). Com a utilização da ferramenta UPPAAL, não foi necessário gerar um modelo único composto, pois esta sincroniza cada modelo gerado restringindo os eventos indesejados, funcionando como um supervisor. Um dos modelos de autômatos pode ser observado na Figura 17, que representa o funcionamento do sistema referente à moega (parte inicial do sistema).

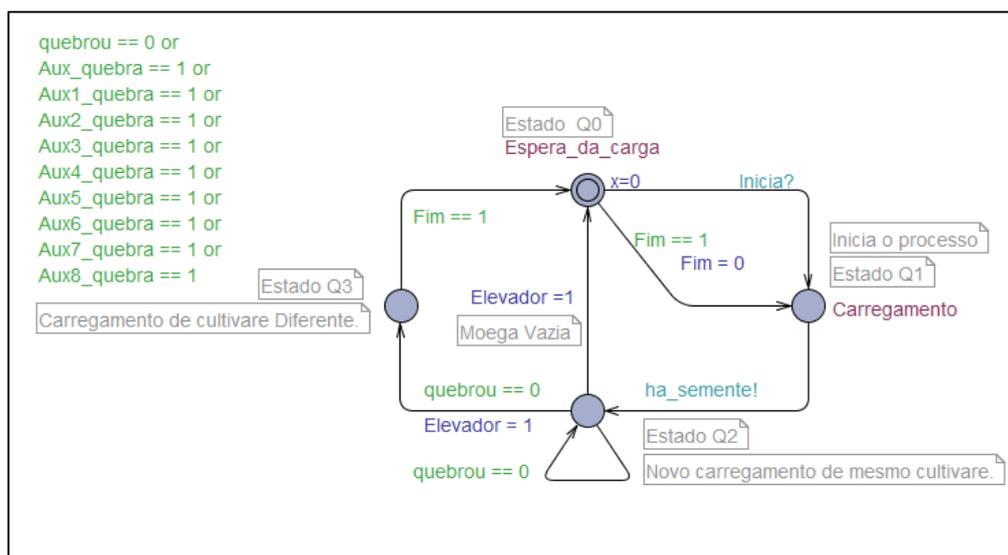


Figura 17 - Modelagem para moega
Fonte: Autoria própria.

Primeiramente, a moega inicia-se no estado Q0, o qual caracteriza a espera da carga. Quando ela for habilitada, passará para o carregamento no estado Q1, indicando a presença de sementes dentro da moega. Após isso, segue para o estado Q2, transição que ocorre uma vez que a restrição “há semente” for verdadeira ou habilitada (a manipulação desta condição se dará dentro do modelo para o elevador 1, representado na Figura 18), ou seja, uma vez que se detecta a presença de sementes no elevador 1, ocorre a mudança do estado Q1 para o estado Q2. Consequentemente, ocorre a mudança do estado Q4 do modelo do elevador 1 para o estado Q5 (Figura 18), indicando que a carga está sendo transportada.

Pode ser observado na Figura 17 que, quando o processo estiver no estado Q2 existirão duas possíveis transições: poderá ocorrer por um novo carregamento com mesmo cultivar e, quando acabarem as sementes, a moega voltará ao estado inicial Q0; ou ir para o estado Q3, quando chegar um carregamento de cultivar diferente do anterior. Essas restrições foram adicionadas visando evitar mistura de cultivares, garantindo assim o tratamento adequado para as sementes.

O funcionamento do autômato correspondente ao elevador 1 pode ser visualizado na Figura 18, lembrando que todos os elevadores envolvidos no processo seguem este mesmo princípio de funcionamento. Assim, observa-se que o elevador fica esperando a carga chegar, e quando esta ocorre, o processo de transporte é iniciado. Como foi explicado anteriormente, o elevador altera o estado Q4 para Q5 quando detecta que há semente na fita, isso se dá através de um sinal proveniente de sensores de presença (considerando que já foram implantados na UBS).

Outra restrição importante para o elevador 1, referente a sua quebra, (estado Q6), ou seja, se por algum motivo for necessário parar a máquina durante o processo, seja por defeito ou quebra, o elevador e a moega param. Isso garante que não continuarão entrando mais sementes para o elevador, evitando atolamento de carga, podendo gerar perdas. As etapas posteriores ao elevador 1, continuarão executando suas funções. Depois de feita a manutenção da máquina, o processo retorna de onde parou (estado Q5) e continua normalmente. O retorno ao estado Q4 do elevador 1 depende da restrição “Verifica moega()”, que analisa se a moega está com carga ou não. Se estiver vazia, o elevador pode terminar o seu processo e voltar ao estado inicial, caso contrário, o elevador 1 continua no estado Q5 até terminar as sementes dentro da moega.

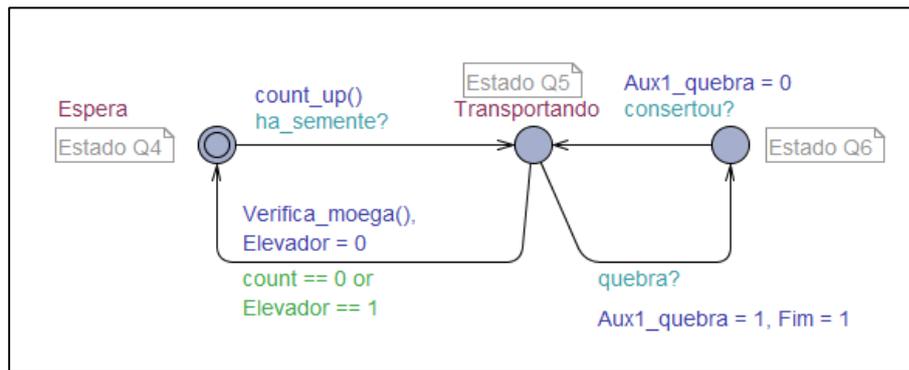


Figura 18 - Modelagem para o elevador 1
Fonte: Autoria própria.

Assim, pode ser entendido o funcionamento dos autômatos de acordo com o que acontecesse na realidade de uma UBS. Para este trabalho foram criados 15 modelos de autômatos, que podem ser visualizados no Apêndice A.

5.2. TRANSCRIÇÃO DO MODELO GERADO PARA LINGUAGEM *LADDER*

Depois da elaboração dos modelos na linguagem de autômatos, foi necessário transcrevê-los para a linguagem de diagrama *Ladder*, pois assim, é possível implementar e realizar testes no CLP. A Figura 19 ilustra o exemplo escolhido (etapa de secagem) a fim de demonstrar esta transcrição para o diagrama *Ladder*. Na Figura 20 tem-se o mesmo modelo implementado no diagrama *Ladder*.

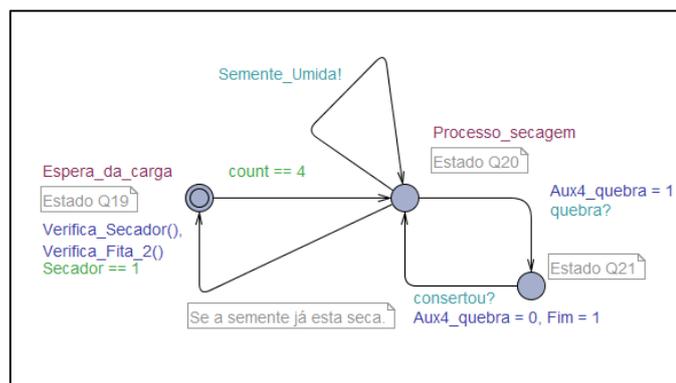


Figura 19 - Modelo para a etapa de secagem
Fonte: Autoria própria.

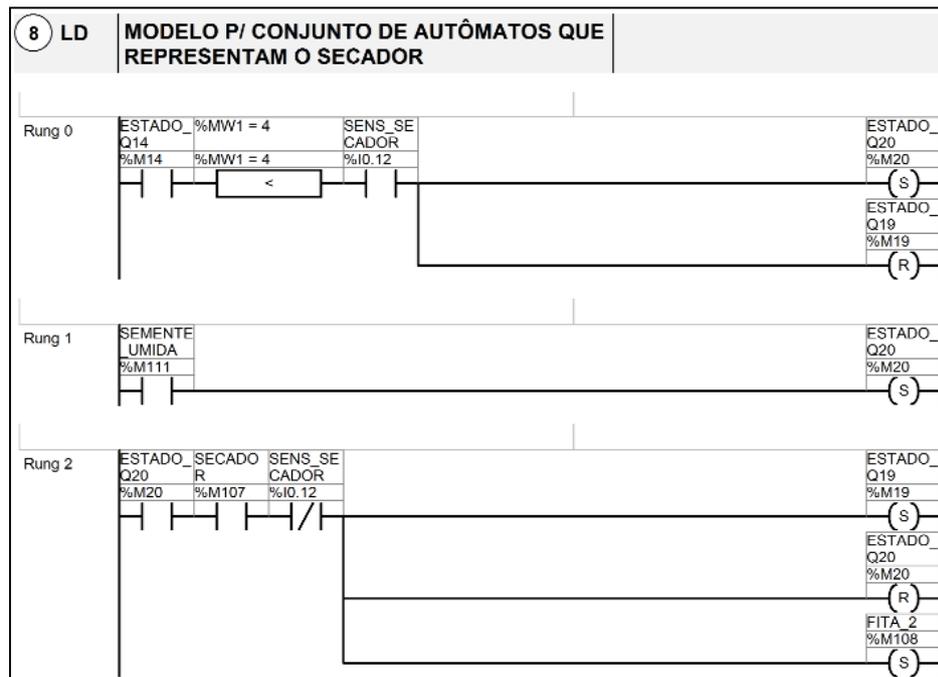


Figura 20 - Modelo da etapa de secagem transcrita para o diagrama *Ladder*
Fonte: Autoria própria.

Todos os estados, transições e restrições feitos nos modelos de autômatos devem ser transcritos obedecendo a mesma lógica, afim de se garantir a eficiência do modelo gerado. Portanto, ao observar a Figura 19, e analisar a transição do estado Q19 para o estado Q20, verifica-se que a mesma ocorre através da condição feita com a variável count. Esta condição que habilita a transição se dá dentro do diagrama *Ladder* através de uma entrada digital (I0.12), que é acionada por meio de um sensor indicando a presença de sementes no secador. A Figura 20 em sua primeira linha ilustra a ocorrência desta transição.

O estado Q20 dentro do diagrama *Ladder* está relacionado diretamente à memória M20 que corresponde a uma saída digital, ou seja, a ocorrência da transição do estado Q19 para o Q20 faz com que a máquina saia do repouso (desligada) e comece o seu trabalho (ligada). A máquina permanecerá ligada até que o sensor indique que não há mais sementes a serem processadas, e que a restrição que permite o desligamento correto da máquina seja habilitada (memória M107 correspondente para o diagrama *Ladder* e variável Secador dentro da modelagem de autômatos). O diagrama completo pode ser encontrado em (SLONGO, WEIRICH,2014).

Se as sementes (selecionadas por amostras) que saem do secador não estiverem com os padrões de umidade corretos, deverão passar novamente pela

secagem. Tal transição pode ser observada na Figura 20 através da sincronização da variável semente úmida. Tanto para o modelo quanto para o *Ladder*, esta variável (memória) é setada dentro do diagrama do elevador secador. Portanto, ao se tratar do diagrama *Ladder* a indicação da semente úmida ocorre através de uma memória auxiliar M111 (Figura 21), a qual pode ser habilitada por meio de uma entrada digital (I0.13) proveniente de um sensoramento, ou por meio de um botão acionado pelo operador.

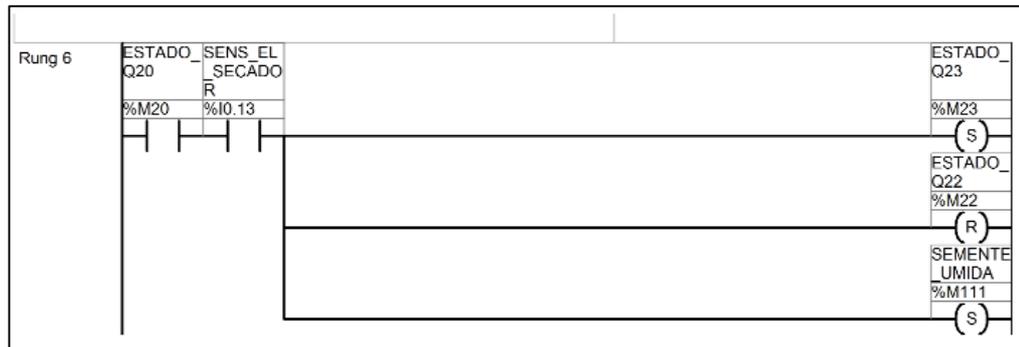


Figura 21 - Diagrama *Ladder* que habilita a memória de semente úmida
Fonte: Autoria própria.

Assim, após a transcrição de todos os modelos para linguagem *Ladder*, é possível implementar o sistema supervisório, permitindo a visualização dos estados do sistema em funcionamento.

5.3. SISTEMA SUPERVISÓRIO

Como já mencionado no Capítulo 2, o sistema supervisório para a interação com o usuário tem sido implementado com a ferramenta Eclipse E3. Para este trabalho foram elaboradas telas de interface com o usuário a partir da modelagem do sistema proposto. Tais telas podem ser visualizadas no Apêndice B.

A tela elaborada para o controle é bastante simples, onde através da criação de um *drive* de comunicação (Modbus.dll) é possível realizar a interação entre o diagrama *Ladder* e o sistema supervisório, permitindo assim a visualização dos estados de operação. Para fazer uso dessa interação são criadas tags (variáveis envolvidas no processo) de comunicação dentro do diretório *drive*, as quais estão diretamente associadas com as memórias criadas dentro do diagrama *Ladder*. A Figura 22 ilustra

a configuração das tags relacionando-as com as memórias do diagrama *Ladder* (P4/N4).

Nome	Dispo...	Item	P1/N1...	P2/N2...	P3/N3...	P4/N4...	Ta...	Var...	Leitura?	Escrita?	Escala?	Min UE	Max UE	UE	Min I/O	Max I/O
Driver1			0	0	0	0										
Estado Q1			1	6	0	1		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q2			1	6	0	2		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q5			1	6	0	5		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q8			1	6	0	8		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q11			1	6	0	11		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q14			1	6	0	14		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q17			1	6	0	17		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q25			1	6	0	25		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q20			1	6	0	20		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q23			1	6	0	23		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q28			1	6	0	28		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q31			1	6	0	31		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q33			1	6	0	33		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Estado Q35			1	6	0	35		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Memoria m11			1	6	0	115		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
m1			1	6	0	144		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Memoria p_rr			1	6	0	145		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Falha fita 02			1	6	0	120		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Falha Pre Lim			1	6	0	123		1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000

Figura 22 - Configuração das tags
Fonte: Autoria própria.

A forma de demonstrar as etapas do processo que estão em funcionamento se dá a partir de associações do tipo conexão digital, que são configuradas dentro dos respectivos retângulos de cada etapa e também das sinalizações nas próprias máquinas. Assim, é relacionada cada tag de comunicação criada no *drive* que, quando habilitada, permite a mudança de cor que passarão de vermelho (desligado) para verde (ligado), simbolizando assim a operação da máquina, como pode ser visto na Figura 23.

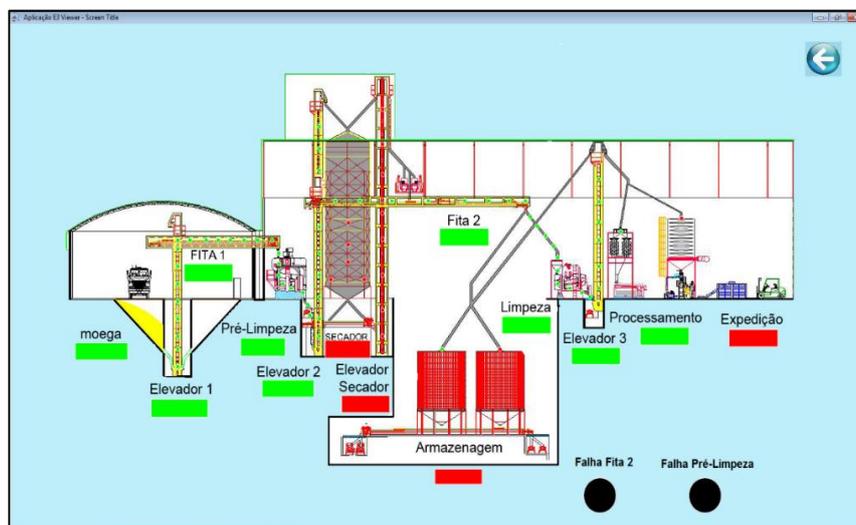


Figura 23 - Supervisório operando
Fonte: Autoria própria.

Após o término da implementação (modelagem pela linguagem de autômatos, transcrição para a linguagem do diagrama *Ladder* e a confecção da tela para o sistema supervisorio), o próximo passo para a finalização deste estudo é realizar simulações para a validação do funcionamento do sistema.

6. RESULTADOS

Para a obtenção dos resultados foram consideradas as duas implementações desenvolvidas: modelagem por autômatos e controle supervisão; e diagrama *Ladder*. Inicialmente, foram realizados os testes através da modelagem feita na linguagem de autômatos. Após isso, analisou-se o diagrama *Ladder*, confirmando que todas as etapas ocorrem de acordo com o funcionamento real da UBS, considerando todas as restrições impostas durante a implementação. Para melhor compreensão dos resultados, serão relatados alguns cenários que podem acontecer dentro da unidade de beneficiamento, relacionando a equivalência entre a modelagem de autômatos com o diagrama *Ladder*.

6.1. SISTEMA EM ESPERA

O sistema em espera faz uma correlação entre os estados iniciais das simulações dos modelos de autômatos e da implementação do diagrama *Ladder*, ou seja, compara os estados iniciais de espera do carregamento para a iniciação do sistema.

Para o modelo de autômatos as etapas finais são representadas através círculos duplos. Tais estados finais, para este caso, também são os estados iniciais, os quais durante a implementação foram denominados de espera da carga. Para a evolução, existe uma janela de comando (Figura 24) que permitirá através da tecla *next* que o usuário de início ao processo, onde ocorrerá a mudança do estado de espera para o estado de carregamento, como ilustra a Figura 25.

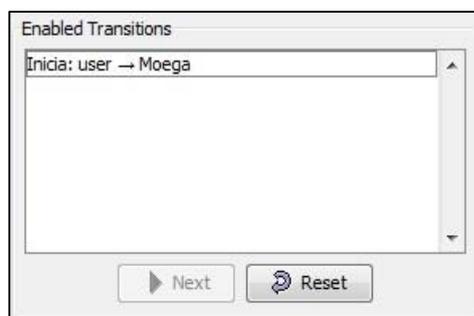


Figura 24 - Janela de comando
Fonte: Autoria própria.

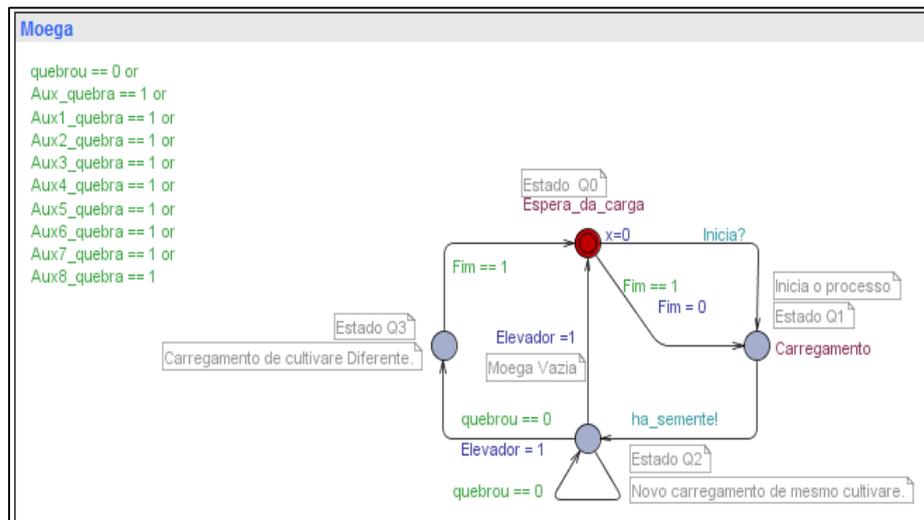


Figura 25 - Modelo para moega
Fonte: Autoria própria.

Simultaneamente, na Figura 26, observa-se o estado inicial da moega na linguagem *Ladder*, onde através do sensoriamento representado pela entrada digital %I0.0, quando habilitada, fará com que o estado Q1 seja setado, e o estado Q0 seja resetado. Portanto, as mesmas ações que ocorrem nos autômatos ocorrerão no diagrama *Ladder*, visto que o mesmo foi implementado com base no modelo, demonstrando assim a sua equivalência.

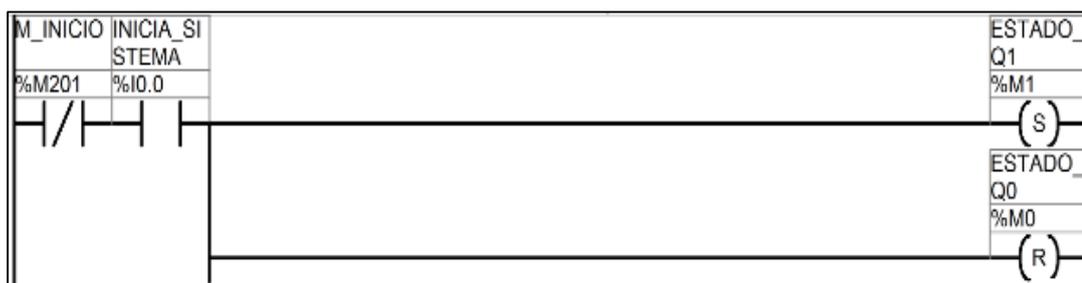


Figura 26 - Estado inicial do diagrama ladder para moega
Fonte: Autoria própria.

Uma vez demonstrado os resultados com base no sistema em espera, é imprescindível que se elabore os resultados com base no sistema em pleno funcionamento, permitindo assim a visualização do processo por completo, desde seu estado inicial até o seu desfecho.

6.2. SISTEMA COMPLETO

O sistema estará em pleno funcionamento quando todas as etapas forem habilitadas pelo usuário. Chegando ao fim, deve ser escolhido o destino final das sementes, que pode ser armazenagem, expedição ou processamento. As três opções finais possuem os mesmos parâmetros. Então, para exemplificar este cenário, o destino escolhido foi a armazenagem.

Lembrando que quando o processo está ativo até a última etapa, todas as máquinas estão operando, a moega ainda está fornecendo as sementes, os elevadores e fitas estão transportando, as máquinas de pré-limpeza e limpeza estão executando o processo de limpeza da carga, a máquina de secagem está fazendo o processo de secagem, e a armazenagem (etapa final escolhida) também está ocorrendo.

Então, pode ser observado na Figura 27 o funcionamento do modelo respectivo à etapa de armazenagem. O estado fica na condição de armazenando a carga, enquanto existir carregamento no elevador 3 (elevador que leva as sementes até o destino final). Quando não existe mais carregamento no elevador 3, o autômato da armazenagem volta ao estado Q30, que fica esperando por um novo carregamento.

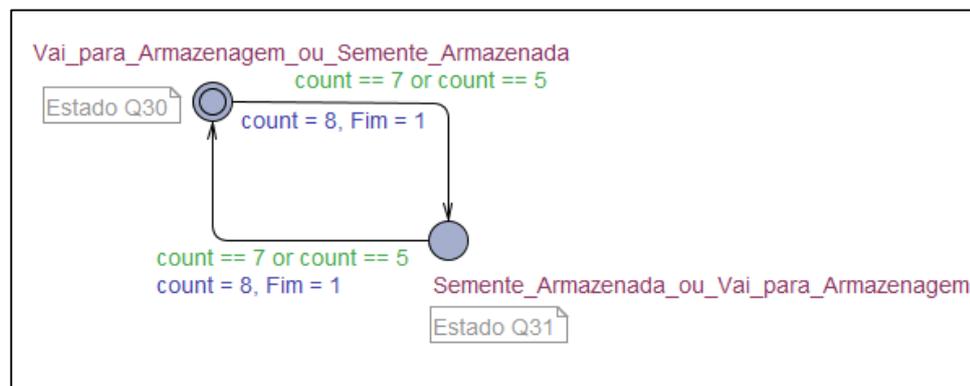


Figura 27 - Autômato para armazenagem
Fonte: Autoria própria.

O mesmo processo ocorre no diagrama *Ladder*, que pode ser visto na Figura 28. Quando a armazenagem é habilitada, o estado Q30, que corresponde ao processo parado, é resetado, e o estado Q31, correspondente ao estado em que a armazenagem ocorre, é setado. Isso permite que o processo de armazenagem se inicie.

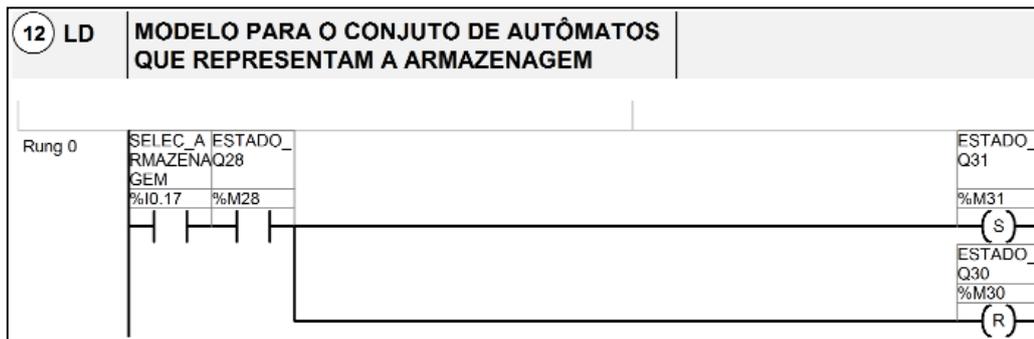


Figura 28 - Diagrama ladder para a armazenagem
Fonte: Autoria própria.

Até aqui, pôde-se validar ocorrências ideais dentro da UBS, sem considerar parada de equipamentos devido a alguma falha. Assim, fez-se necessário acrescentar ao cenário de teste a quebra de alguma máquina, visando aproximar as simulações de casos reais.

6.3. QUEBRA DO EQUIPAMENTO PRÉ-LIMPEZA

Um cenário muito importante que deve ser considerado é o de quebra/falha de algum equipamento para verificar o funcionamento das restrições elaboradas, a fim de se evitar outros problemas. Exemplos de problemas em virtude da quebra/falhas são sobrecarga de sementes nas máquinas, transbordamento, embuchamento das sementes nas máquinas, etc. Para o teste, foi escolhida a simulação da quebra da máquina de pré-limpeza, demonstrando como o sistema funciona com tal problema.

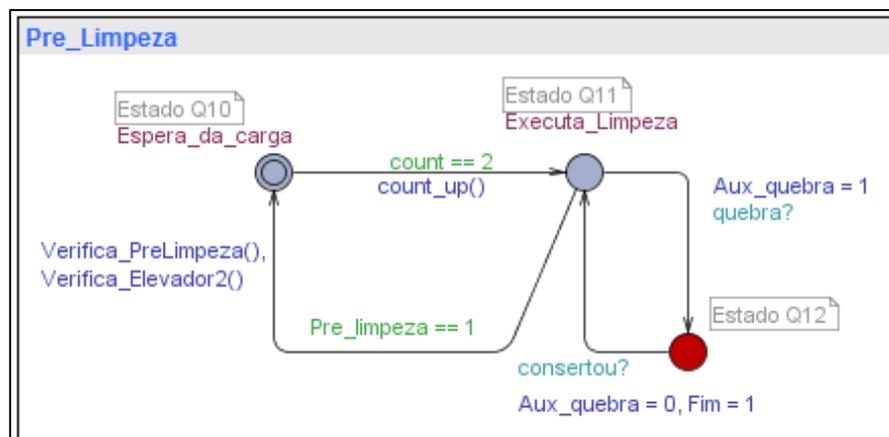


Figura 29 - Autômato correspondente a pré-limpeza
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 29 pode ser visto o modelo de autômatos correspondente à máquina de pré-limpeza. Quando todo o sistema estiver trabalhando, esta máquina estará no estado Q11, executando a limpeza das sementes. Pode-se observar que, no momento da parada da máquina, o processo irá para o estado da quebra, que corresponde ao estado Q12, e permanecerá nesse estado até o seu conserto.

Neste caso, as restrições servem para fazer com que todas as máquinas anteriores à pré-limpeza sejam paradas, ou seja, a moega, o elevador 1 e a fita 1 deverão pausar seu processo, para assim, evitar os possíveis problemas decorrentes dessa quebra. As máquinas posteriores deverão continuar seu processo, pois uma vez que as sementes deixam a máquina de pré-limpeza não necessitam ficar esperando o seu funcionamento. Assim, evita-se que as sementes nunca deixem de receber o seu devido beneficiamento.

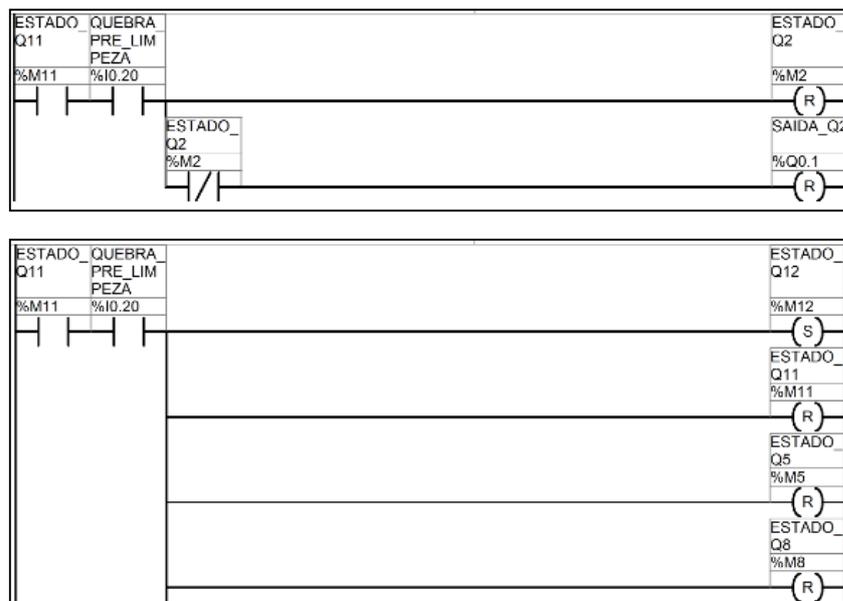


Figura 30 - Diagrama ladder para o processo de pré-limpeza
Fonte: Autoria própria.

O mesmo processo acontece para o diagrama *Ladder*, visualizado na Figura 30 onde, quando ocorrendo a quebra, o estado Q11 é resetado, e o estado Q12 é setado. Os demais estados antecedentes também são resetados, para que pausem o seu trabalho, até que a máquina de pré-limpeza seja consertada (ver Seção 6.5).

Além dos cenários apresentados anteriormente, em uma UBS pode ocorrer a chegada de mais carregamento, porém de cultivar diferente. Isso será tratado na próxima seção.

6.4. CULTIVAR DIFERENTE NA MOEGA

Se o sistema está em funcionamento com um tipo de cultivar e antes de chegar ao fim do processo um cultivar diferente entra na moega, deve-se evitar que estes carregamentos diferentes se misturem. Caso contrário, toda esta produção estará perdida. Desse modo, elaboraram-se restrições para evitar a ocorrência desse problema.

Para melhor entendimento, devem ser observadas as Figura 31 e Figura 32, onde uma vez que enviado o sinal de que há um cultivar diferente para entrar na moega, o estado Q3 do autômato é habilitado, e no diagrama *Ladder* é setado. Porém, esse carregamento só entrará na moega para início do processo, quando o carregamento atual chegar ao fim. Para isso, todas as máquinas deverão primeiramente ser desligadas (fim do processo anterior) e, só então, a carga de cultivar diferente poderá passar pelo sistema.

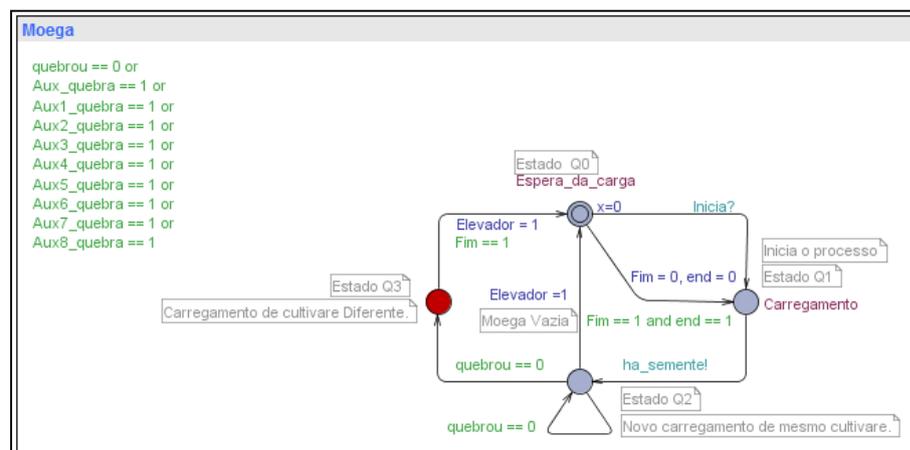


Figura 31 - Autômato para a moega

Fonte: Autoria própria.

O diagrama *Ladder*, apresentado na Figura 32, mostra como o sistema atuará quando selecionada a entrada de um cultivar diferente, onde o processo aguardará pelo sinal do sensor indicando que não há mais sementes na moega (entrada digital I0.8). Esse evento seta a memória %M101 (memória que auxilia no desligamento do elevador 1) e, somente quando todas as etapas forem finalizadas, a memória %M104 é setada (memória a qual indica que todas as máquinas estão desligadas, representada na Figura 33). Uma vez setada a memória %M104, em conjunto com a

indicação do operador da existência de uma nova carga de um cultivar diferente, o estado Q1 é setado, e o estado Q0 é resetado, permitindo assim o carregamento.

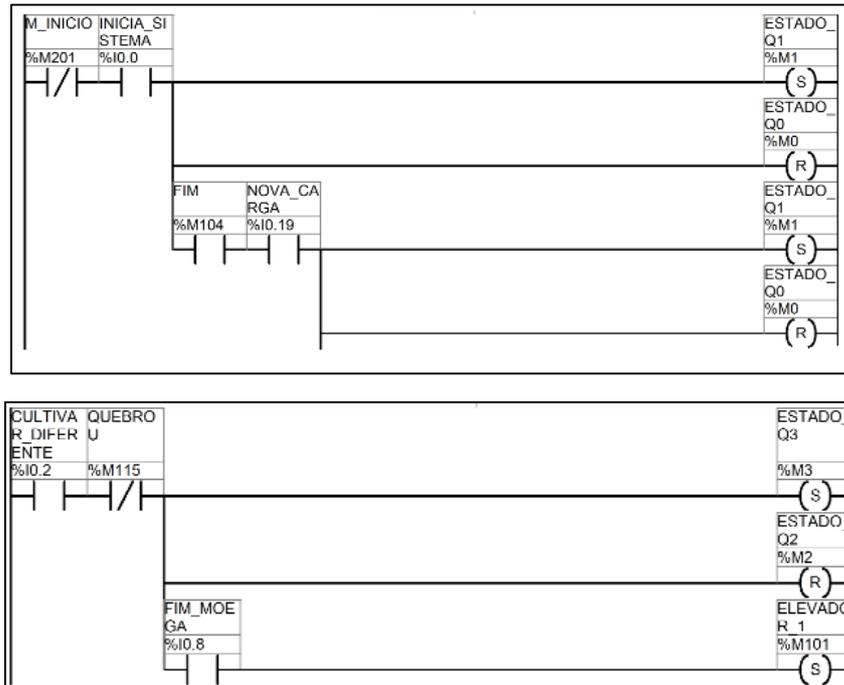


Figura 32 - Diagrama Ladder para cultivar diferente
 Fonte: Autoria própria.

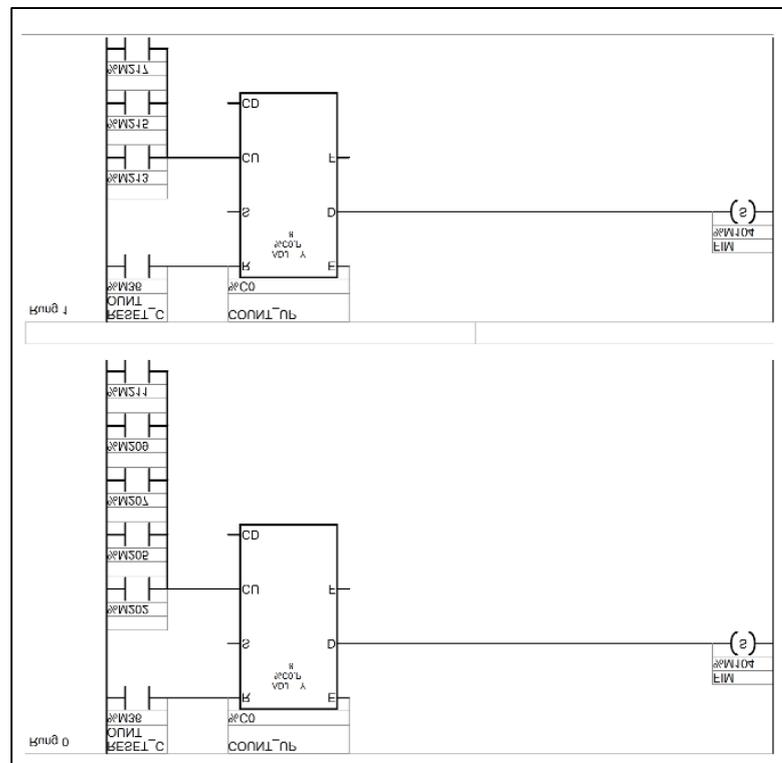


Figura 33 - Diagrama Ladder para a memória de indicação de máquinas desligadas
 Fonte: Autoria própria.

Observando novamente a Figura 32, mais precisamente na terceira linha, vale ressaltar uma restrição importante para este cenário. Se o operador enviar o sinal acidentalmente de uma nova carga e o processo não estiver no fim, as mudanças de estados não ocorrerão, visto que a memória %M104 só será habilitada com o desligamento de todas as máquinas, desse modo, evitando a mistura de cultivar na linha de processo.

6.5. SISTEMA SUPERVISÓRIO CORRESPONDENTE À QUEBRA DA PRÉ-LIMPEZA

Para a demonstração do sistema atuando por completo, confeccionou-se um quadro de comando (Figura 34) a fim de simular a atuação dos sensores, bem como a ilustração das máquinas ligadas. Isso permite relacionar a implementação do diagrama *Ladder* no CLP com o sistema supervisorio. O sistema confeccionado permite a realização de testes e a demonstração das etapas que estão ocorrendo dentro da UBS, visando constatar se o modelo apresentado pode ser aplicado ao meio real.

Devido à restrição do meio físico (como por exemplo, mais entradas digitais), foi possível apenas a implementação de duas falhas, a da máquina de pré-limpeza, a qual será aqui abordada; e a da fita 2. A escolha da falha na pré-limpeza se dá pelo fato da necessidade de complementar o que já foi visto na Seção 6.3.



Figura 34 - Quadro de comando
Fonte: Autoria própria.

A Figura 35 retrata todo o sistema, onde as lâmpadas acesas representam as etapas que estão em funcionamento. Assim, de acordo com a implementação, a qual pode ser vista no diagrama *Ladder* (SLONGO, WEIRICH, 2014), sabe-se que as lâmpadas correspondem em sequência ao elevador 1, à fita 1, à pré-limpeza, ao elevador 2, à fita 2, ao secador, à limpeza, ao elevador 3 e à expedição. A medida que uma etapa é iniciada pelo seu comando no quadro, sua respectiva imagem é acionada na tela do supervisor, permitindo assim o acompanhamento do processo de beneficiamento.

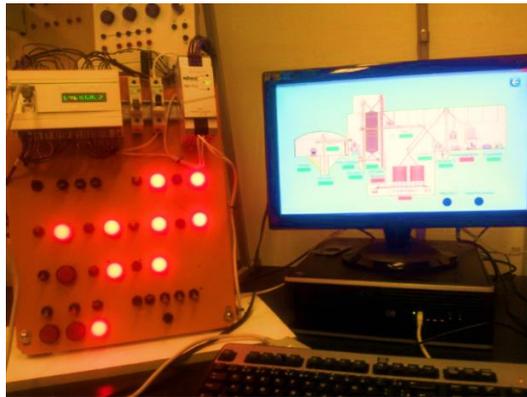


Figura 35 - Sistema em funcionamento
Fonte: Autoria própria.

Com o sistema em funcionamento, fez-se a simulação da quebra/falha da pré-limpeza para visualizar o comportamento das etapas que antecedem e procedem a mesma. Fazendo isso, as etapas anteriores devem ser desligadas (através das lâmpadas), e as etapas que estão após a pré-limpeza devem continuar ligadas. Na Figura 36 este cenário pode ser observado com mais detalhes onde, as lâmpadas que correspondem a pré-limpeza, fita 1 e elevador 1, estão desligadas, simulando o comportamento das máquinas.

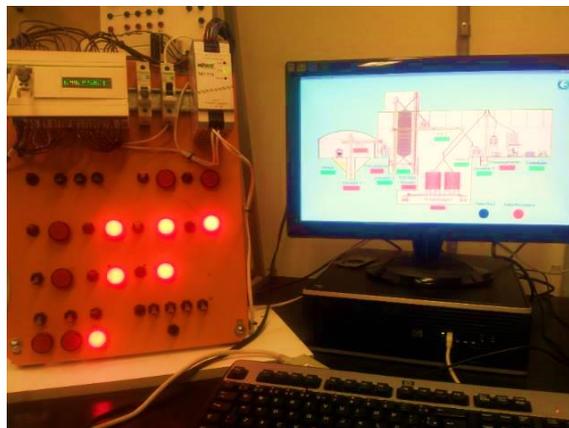


Figura 36 - Sistema em falha
Fonte: Autoria própria.

Uma vez corrigida a falha, o processo volta a funcionar normalmente, ou seja, os demais equipamentos que antecedem a pré-limpeza voltam a operar (Figura 37) garantindo assim que as sementes cheguem a seu destino final.

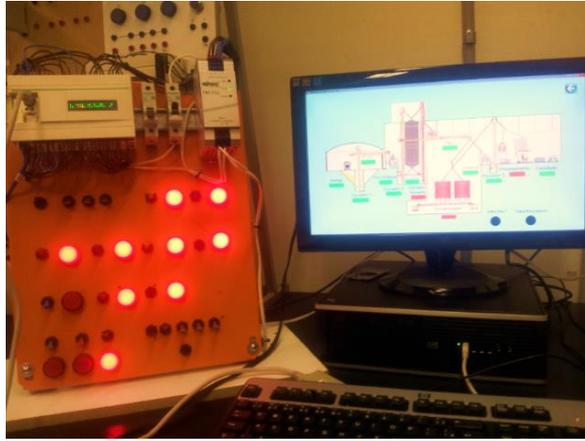


Figura 37 - Sistema após o conserto da falha
Fonte: Autoria própria.

Por fim, com os testes em diferentes cenários, foi possível analisar se o trabalho alcançou os seus objetivos, se as técnicas utilizadas foram satisfatórias e quais foram as dificuldades para chegar até o resultado final. Além disso, é possível visualizar quais são as melhorias que podem ser realizadas a partir desta proposta.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a elaboração deste modelo foi possível perceber a importância da automação na área agrícola. Sabe-se que para a implantação de um modelo como esse devem ser feitos investimentos elevados em infraestrutura e equipamentos. Neste Capítulo serão feitas observações da finalização deste trabalho, tanto dos pontos positivos quanto dos negativos, seguidas de propostas para projetos futuros.

7.1. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que as técnicas empregadas para a elaboração do modelo foram adequadas. Assim, a ferramenta para a linguagem de autômatos foi suficiente para atingir os objetivos propostos, permitindo a modelagem de cada etapa do sistema em conjunto com as restrições que evitam os eventuais problemas e falhas dentro da unidade. Além disso, a utilização do diagrama *Ladder* tem se mostrado suficiente a partir da transcrição dos autômatos, realizada de forma clara, sem a necessidade de grandes alterações.

Com o sistema pronto foi possível realizar os testes no CLP, porém o modelo de CLP utilizado não demonstrou ser o mais adequado, visto que, as entradas e saídas digitais são insuficientes para a realização de todos os testes. Com isso, para a real aplicação há a necessidade de estudos, verificando o melhor modelo de CLP para implementar o sistema proposto. Para a realização dos testes deste trabalho, englobando todas as possíveis entradas do sistema, seria necessário anexar ao CLP um módulo de expansão de entradas digitais, material que não estava disponível em laboratório e que não foi possível comprar devido a empresa fornecedora estar implantando um novo sistema, paralisando totalmente as suas vendas.

Além disso, a ferramenta para a confecção da tela do sistema supervisor também atendeu às necessidades, levando em conta que a tela criada não teve muita complexidade. Com ela, foi possível comunicar o programa do CLP e visualizar as etapas dentro da UBS. Contudo, a comunicação entre o supervisor e o CLP foi lenta, porém ser comprometer o sistema.

Portanto, a execução deste trabalho alcançou todos os objetivos aqui determinados, onde, a fim de simulação, as técnicas empregadas foram suficientes.

Além disso, a implementação dos modelos de autômatos, do diagrama *Ladder* e da tela do supervisor, atenderam às especificações e restrições do fluxo considerado para uma UBS.

7.2. PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho se trata de um desenvolvimento inicial de um modelo que pode futuramente ser implantado em uma UBS. Para tanto, alguns trabalhos, pesquisas e implementações deverão ser realizadas, como os propostos abaixo:

- Realizar estudos sobre o tempo que cada máquina leva para concluir suas atividades, assim, aprimorar o modelo proposto acrescentando tempo de desligamento de cada máquina do sistema;
- Fazer testes em cada um dos equipamentos de uma UBS, e verificar a quantidade de motores que são acionados em cada etapa, as peculiaridades de cada máquina, e ainda, realizar um levantamento do tipo e quantidade de sensores que seriam necessários para a implantação do sistema automatizado, podendo ser aplicado inicialmente em uma das máquinas;
- Realizar testes em ambiente real verificando a funcionalidade e necessidades do sistema de controle a ser implantado.

REFERÊNCIAS

AGRIFARM7. **Teor de umidade dos grãos.** Disponível em: <<ftp://ftp.ufv.br/dea/poscolheita/Tecnologias%20de%20Secagem%20e%20Armazenagem%20para%20Agricultura%20Familiar/Livro/AGRIFARM7.PDF>>. Acesso em 08 de outubro de 2014.

CABRAL, O. G. de F. **Uma rede de petri diagnosticadora para sistemas a eventos discretos modelados por autômatos finitos.** 2013. 77 f. Projeto de graduação (Grau de engenheiro eletricitista). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CASSANDRAS, C. G.; LAFORTUNE, S. **Introduction to discrete event systems.** 1999. 2 ed. Kluwer Academic Publishers, Massachussets.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 1 – Safra 2013/14, n.7 – Sétimo Levantamento, Abr. 2014. p. 1 – 6

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 1 – Safra 2013/14, n. 8 – Oitavo Levantamento, Maio, 2014. 96 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 2 – Safra 2014/15, n.1 – Primeiro Levantamento, Out. 2014. p. 9

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Capacidade estática dos armazéns.** Disponível em: <<http://sisdep.conab.gov.br/capacidadeestatica/>>. Acesso em: 15 maio 2014.

CURY, R.E. José. **Teoria de Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos.** Canela, RS. V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE. 2001. 82 p.

ENGELOGIC. **Automação e Controle Industrial Ltda.** Histórico dos CLP's. 2012. Disponível em: <<http://www.engelologic.com.br/arquivos/153>>. Acesso em 25 de junho de 2014.

GUEDES, L. R. **Sistema de controle, utilizando CLP e supervisor, para correção de fator de potência e balanceamento de fases no secundário de um transformador de uma subestação.** 2009. 47 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas, Ouro Preto, 2009.

GUIMARÃES, F. C. H. **Norma IEC 61131-3 para programação de controladores programáveis: estudo e aplicação.** 2005. 86 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

KOLLING, E. M. **Análise técnica de unidade beneficiadora e armazenadora de produtos agrícolas,** Maringá, PR, p. 2-9, 2007.

KOPELVSKI, M. M. **Teoria de CLP.** São Paulo, SP. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. 2010. 24 p.

MAIA, A. C.; HARDOUIN, L.; MENDES, S. R. Identificação de sistemas a eventos discretos maxplus lineares. **Revista Controle & Automação.** V.16, p. 407-416, out/nov/dez. 2005.

MARIN, J. **Unidades de recebimento, secagem e armazenamento de produtos agrícolas – aspectos estruturais e conteúdos armazenados.** COAMO: Campo Mourão, 2014. 48 slides, colorido.

MARTINS, M. G. **Princípios de automação industrial.** Santa Maria, RS. Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência. 2012. 215 f.

MELLO, S. M da. CLP – **Controlador lógico programável.** Disponível em: <http://www.ice.edu.br/TNX/encontrocomputacao/artigosinternos/aluno_marilourdes_silva_clp.pdf>. Acesso em 30 de junho de 2014.

MONTGOMERY, E. **Introdução aos sistemas a eventos discretos e à teoria de controle supervisor.** Rio de Janeiro, RJ. 2004. 120 p.

NETO, F. B. J de, et al. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade – série sementes. **Circular Técnica,** Londrina, v. 1, n. 40. 12 p, mar. 2007.

SILVA, da C. L. **Aeração de grãos armazenados**. Boletim Técnico. Departamento de Engenharia de Alimentos. Universidade Federal do Espírito Santo, 2011. 7 f. Alegre, Espírito Santo, 2011, revisado em 2014.

SILVA, M. da C. T.; JUNIOR, V. V. **Cadeias de Markov: conceitos e aplicações em modelos de difusão de informação**. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pivic/trabalhos/TALLYTA-CAROLYNE-MARTINS-DA-SILVA-PIVIC.PDF>>. Acesso em 17 de junho de 2014.

SILVA, S. e J. de. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, MG. 2000. Cap. 14.

SILVESTRE, P. R. **Implementação em Ladder de sistemas de automação descritos por redes de petri interpretadas para controle**. 2010. 87 f. Projeto de graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SLONGO, L. H.; WEIRICH, C. S. – **Implementação autômatos – ladder**. Disponível em: <<https://www.dropbox.com/s/94l7rrlainz0dr2/Ladder%20Final.pdf?dl=0>>. 2014.

SPPERT. **Atividades econômicas do Brasil**. Disponível em: <http://www.sppert.com.br/Artigos/Brasil/Economia/Atividades_Econ%C3%B4micas/Atividades_Econ%C3%B4micas_do_Brasil/>. Acesso em 27 de abril de 2014.

TORRICO, C. R. C. **Controle supervisorio hierárquico de sistemas a eventos discretos: uma abordagem baseada na agregação de estados**. 2003. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica – Área de concentração em Controle, Automação e Informática Industrial) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

VIEIRA, D.A. **Método de implementação do controle de sistemas a eventos discretos com aplicação da teoria de controle supervisorio**. 2007. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica – Área em Controle e Automação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

APÊNDICE A

O apêndice A irá ilustrar os quinze modelos de autômatos gerados para as etapas do processo de beneficiamento de sementes.

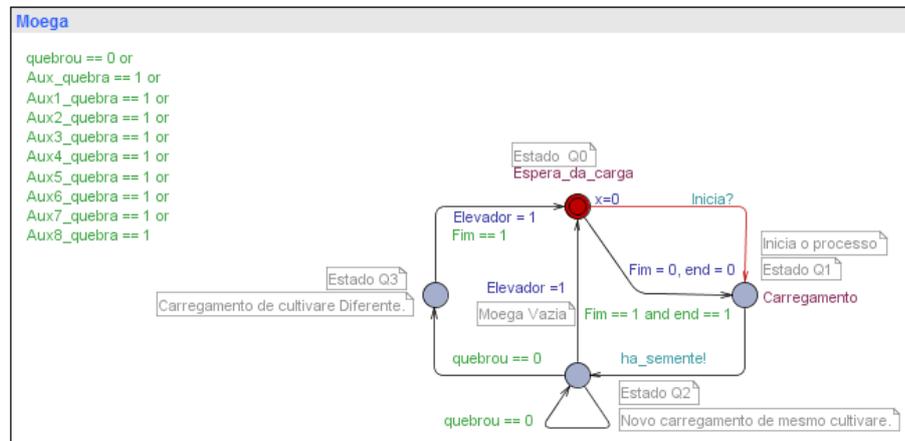


Figura 38 - Modelo de autômatos para a moega

Fonte: Autoria própria.

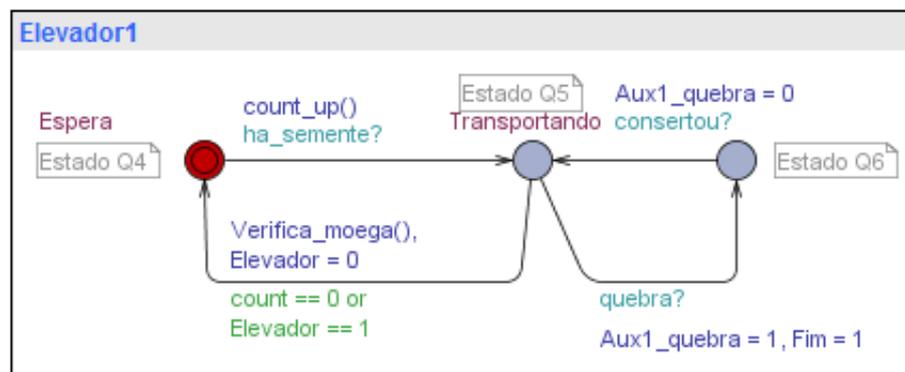


Figura 39 - Modelo de autômatos para o elevador de sementes 01

Fonte: Autoria própria.

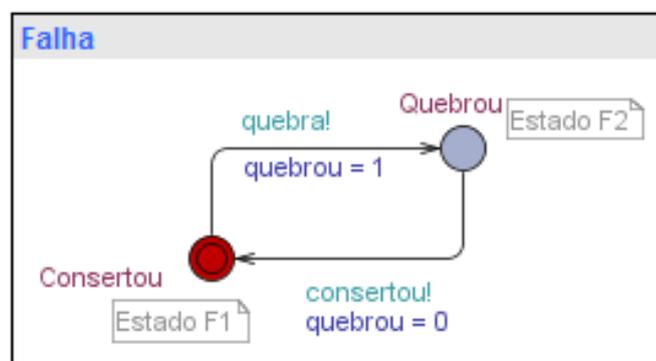


Figura 40 - Modelo de autômatos para eventuais falhas

Fonte: Autoria própria.

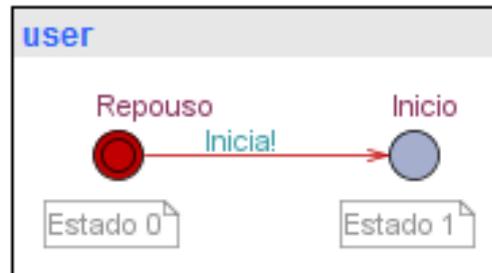


Figura 41 - Modelo de autômatos para o início do sistema
Fonte: Autoria própria.

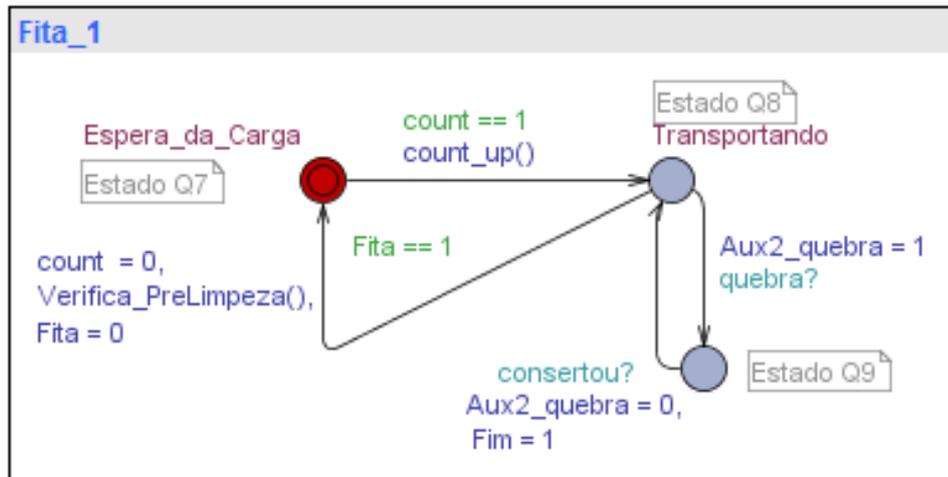


Figura 42 - Modelo de autômatos para a fita transportadora 01
Fonte: Autoria própria.

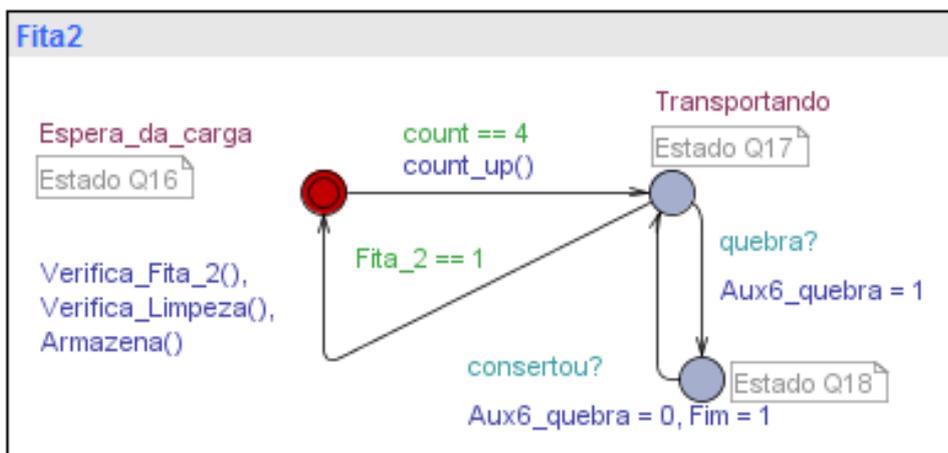


Figura 43 - Modelo de autômatos para fita transportadora 02
Fonte: Autoria própria.

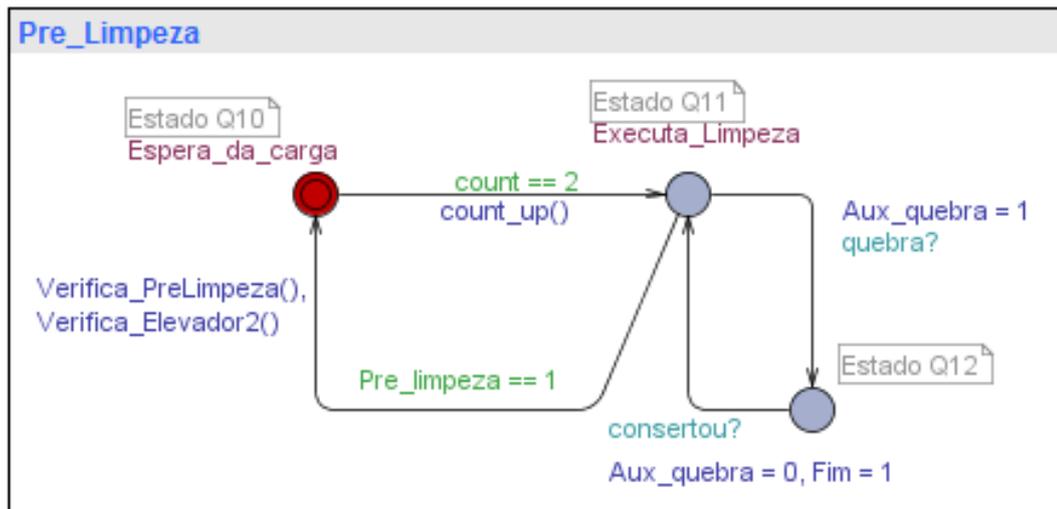


Figura 44 - Modelo de autômatos para a máquina de pré-limpeza
Fonte: Autoria própria.

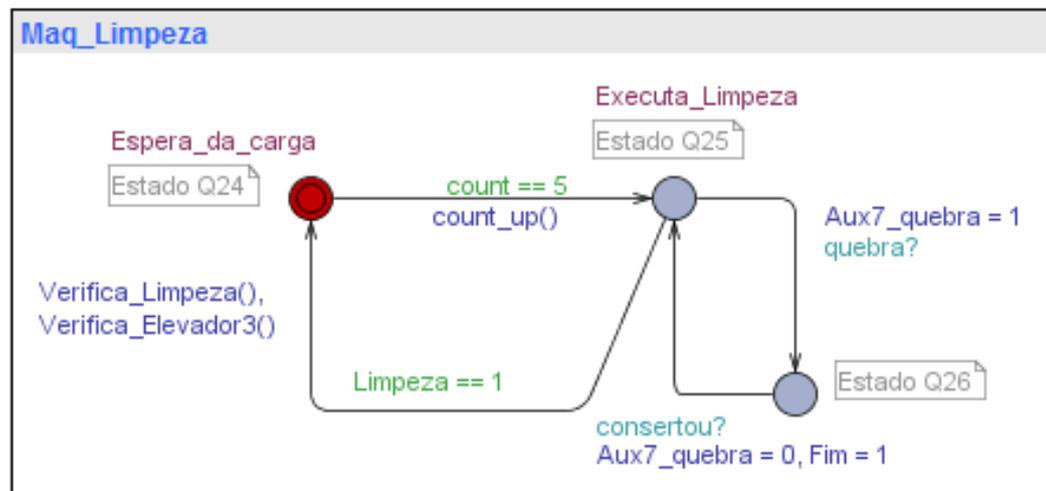


Figura 45 - Modelo de autômatos para a máquina de limpeza
Fonte: Autoria própria.

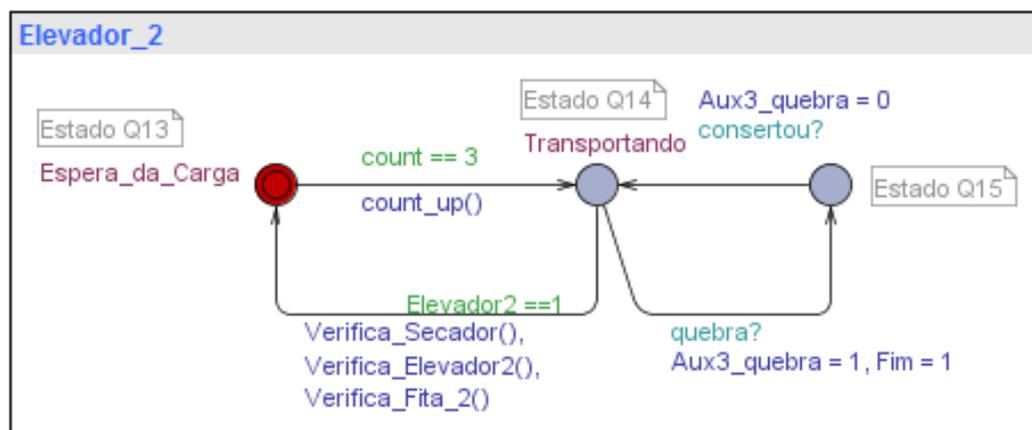


Figura 46 - Modelo de autômatos para o elevador de sementes 02
Fonte: Autoria própria.

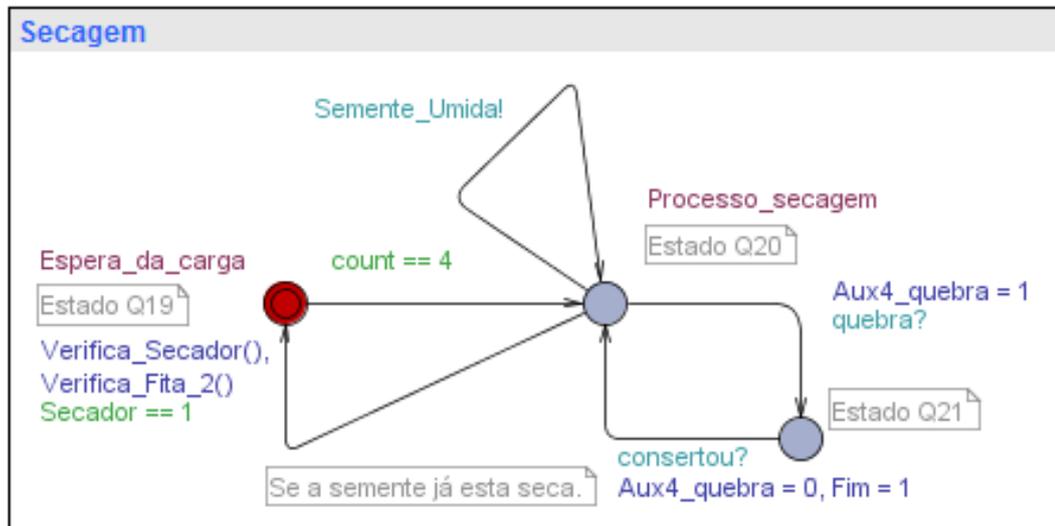


Figura 47 - Modelo de autômatos para o processo de secagem
Fonte: Autoria própria.

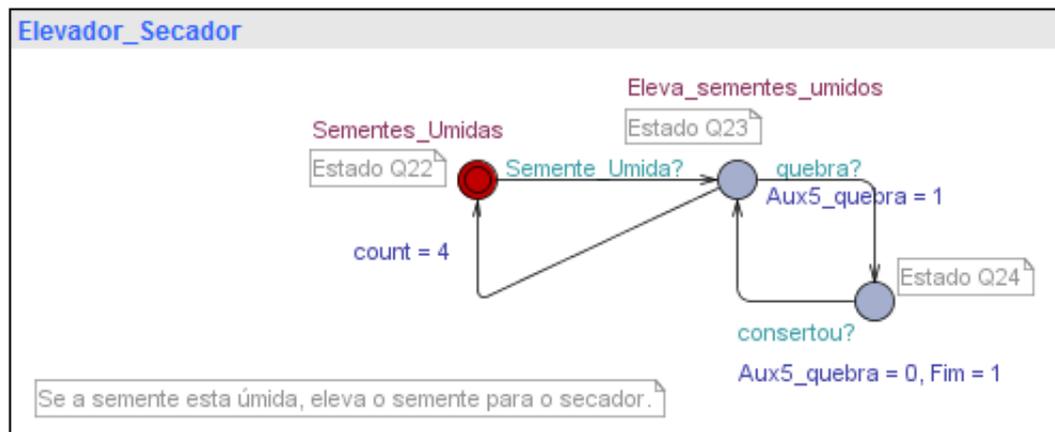


Figura 48 - Modelo de autômatos para o elevador do secador
Fonte: Autoria própria.

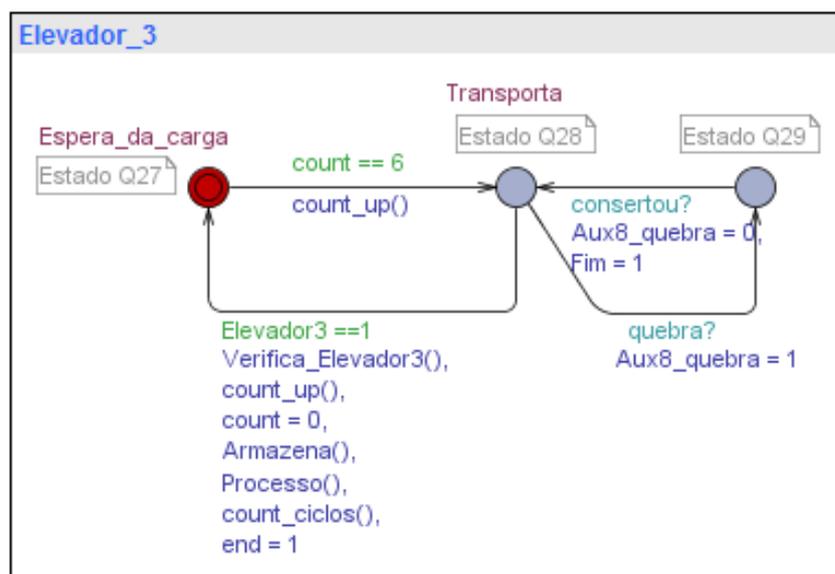


Figura 49 - Modelo de autômatos para o elevador de sementes 03
Fonte: Autoria própria.

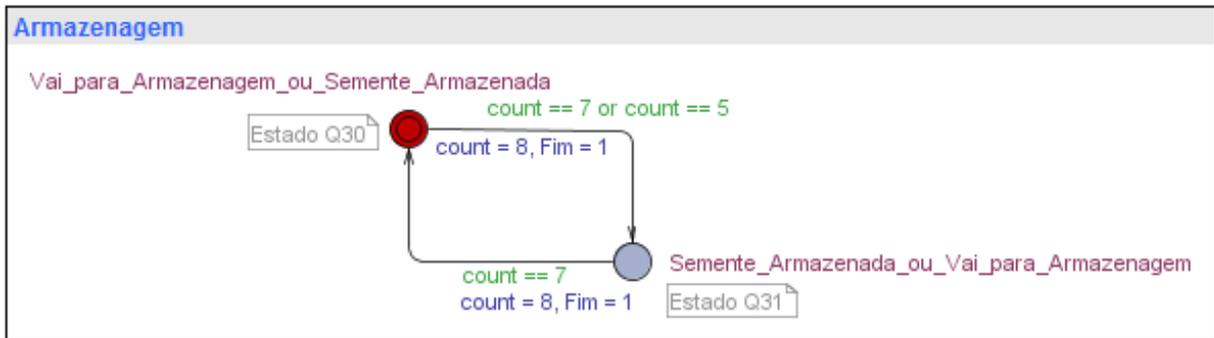


Figura 50 - Modelo de autômatos para a armazenagem
 Fonte: Autoria própria.

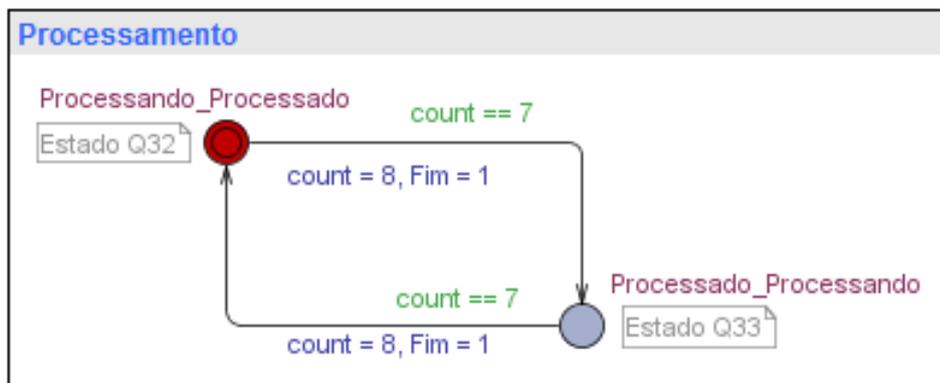


Figura 51 - Modelo de autômatos para a etapa de processamento
 Fonte: Autoria própria.

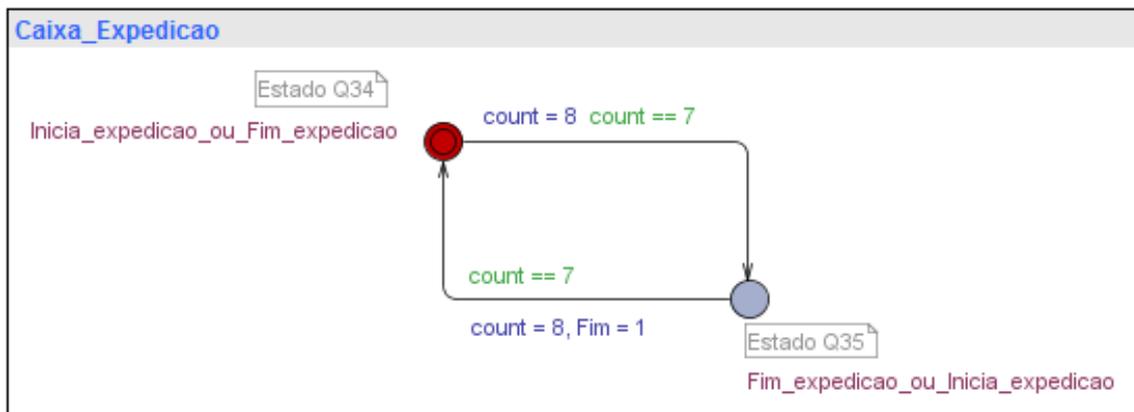


Figura 52 - Modelo de autômatos para a caixa de expedição
 Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE B



Figura 53 - Tela inicial do sistema supervisório
Fonte: Autoria própria.

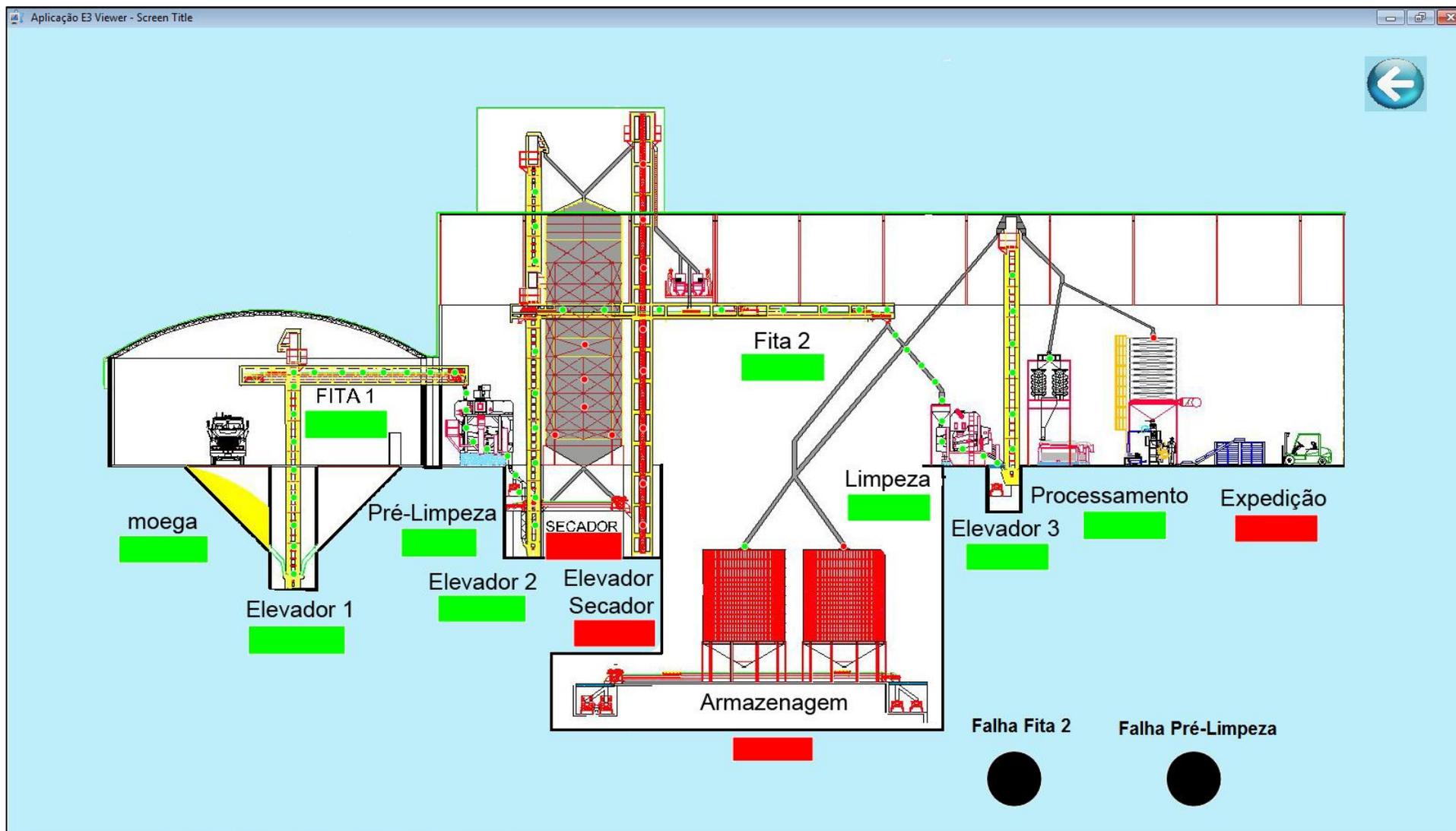


Figura 54 - Tela de controle do sistema supervisório
Fonte: Autoria própria.

ANEXO I

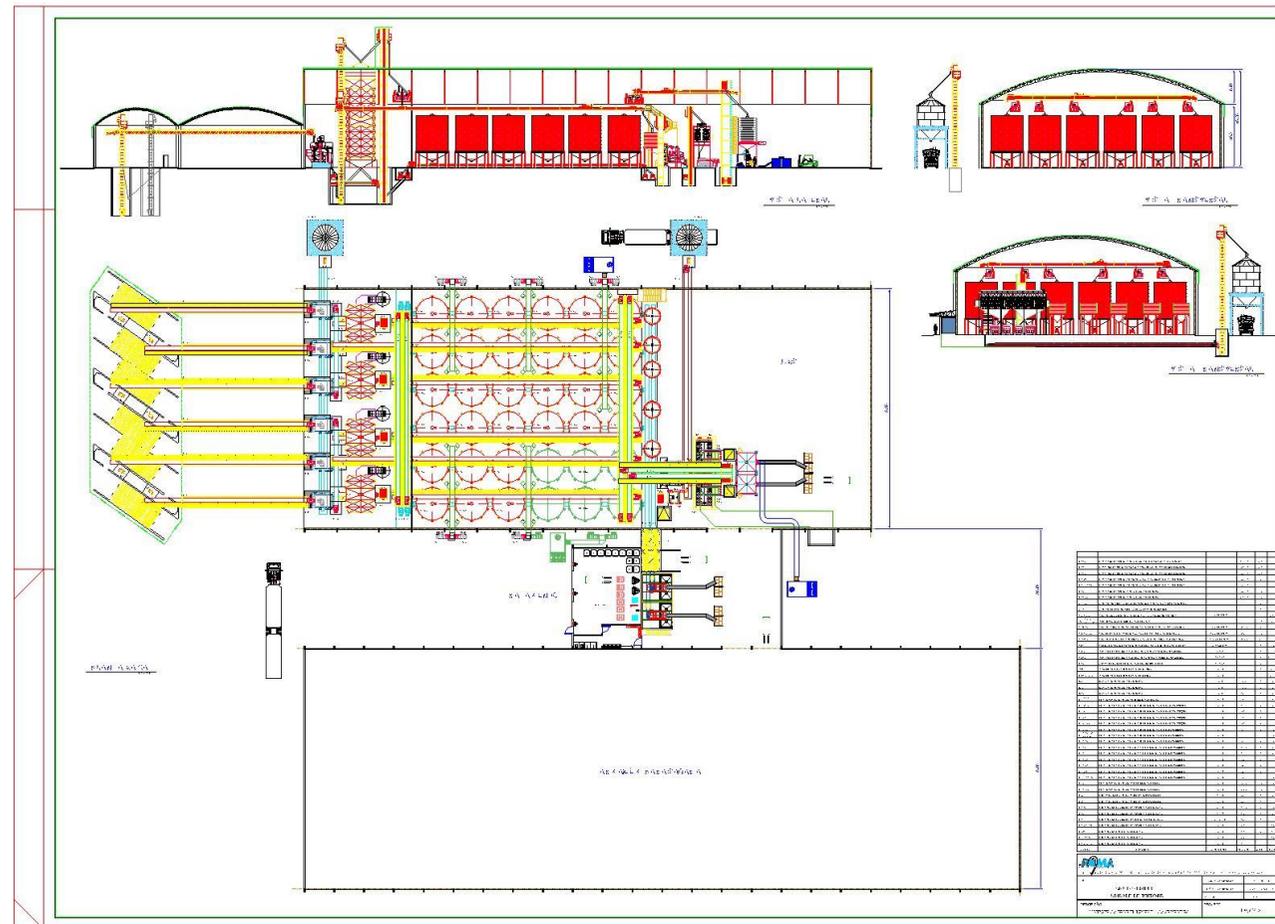


Figura 55 - Prancha com as vistas de cortes da unidade de beneficiamento
 Fonte: Grupo IRIEDI (2014).