

# Aula Prática 3

## Rede de Petri: Análise e Verificação de uma Planta Industrial

### 1 Descrição da estação de distribuição da planta didática Festo

A **Planta Didática da Festo** compreende sete estações que podem ser organizadas de diferentes formas. A estação a ser estudada é a **Estação de Distribuição**, que é composta de 4 sensores, 4 atuadores e um controlador lógico programável (CLP). A configuração desta estação é apresentada na Figura 1, e seu funcionamento consiste em transportar peças do *magazine* (posição *E1*) até a estação seguinte **Estação de Teste** (posição *E2*), utilizando o braço de robô rotativo (*driver rotativo*). O funcionamento esperado da estação de distribuição é descrito abaixo:

- O *cilindro ejetor* desloca a peça do *magazine* até ficar ao alcance do *driver rotativo*;
- O *driver rotativo* recua da posição *E2* para a posição *E1*, para pegar a peça no *magazine*;
- O *vácuo* é acionado para auxiliar o *driver rotativo* no transporte da peça;
- O *driver rotativo* avança e desloca a peça até a extremidade oposta, posição *E2*;
- O *vácuo* é desligado e o *sopro* é acionado para soltar a peça na posição *E2*.

O Anexo 1 apresenta uma descrição mais detalhada dos sensores e atuadores.

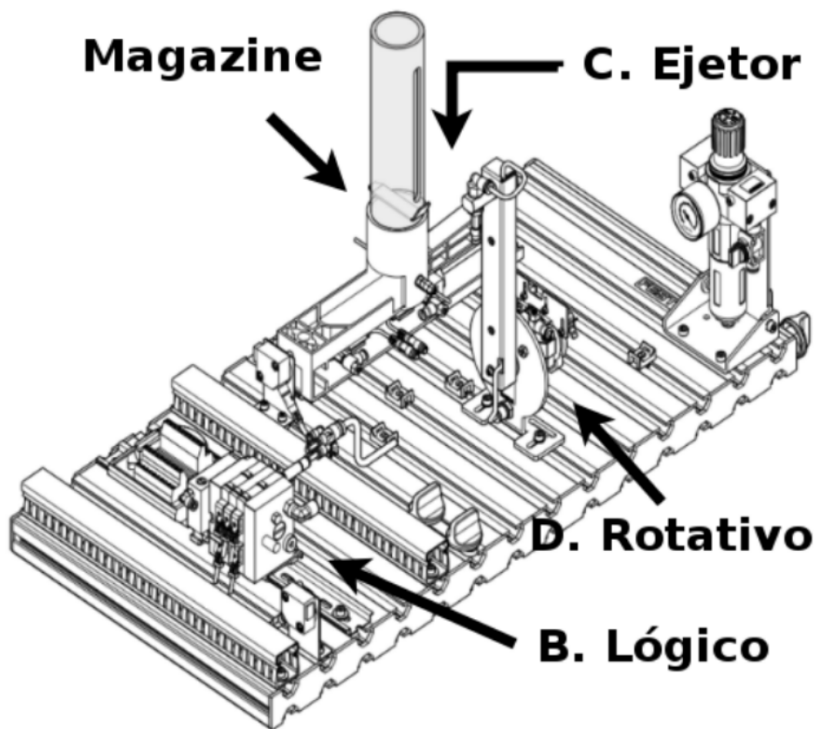


Figura 1: Estação de Distribuição da Planta FESTO

## 2 Atividades

As atividades desta aula prática são as seguintes: (i) analisar o funcionamento da estação controlada, (ii) corrigir o controlador implementado, para que a estação satisfaça determinadas propriedades, e (iii) remodelar o controlador para levar em conta o trabalho conjugado com a estação seguinte, a Estação de Testes.

O arquivo do Tina a ser utilizado nesta aula prática é o *PlantaControlador.ndr*, disponível no moodle. Este arquivo contém o modelo em rede de Petri para a Estação de Distribuição controlada pelo CLP. As ações de comando de cada um dos atuadores (cilindro, driver rotativo, dispositivo de vácuo e dispositivo de sopro) foram projetadas pelo engenheiro responsável pela planta, segundo a linha de raciocínio descrita abaixo:

- Se há peça no magazine e o cilindro está recuado, avançar o cilindro;
- Se o cilindro avançou, então há peça na posição E1. Logo, deslocar o driver

da posição E2 para a posição E1;

- Se o driver rotativo está em E1, ligar o vácuo;
- Se o driver rotativo está em E1 e o vácuo está ligado, deslocar o driver de E1 para E2;
- Ligar o sopro somente quando o vácuo estiver desligado.

### 1. **Análise de Alcançabilidade do Sistema em Malha Fechada**

Analisar o comportamento da **Estação de Distribuição**, a partir da análise de alcançabilidade do modelo contido em *PlantaControlador.ndr*.

### 2. **Verificação Formal do Comportamento do Sistema em Malha Fechada**

Verificar, usando *model-checking*, se o modelo controlado satisfaz as propriedades listadas abaixo (indicar quais fórmulas em LTL foram empregadas em cada caso). Se o sistema não satisfizer uma dada propriedade, mostre qual a sequência de eventos leva ao contra-exemplo e simule esta trajetória com o Tina.

- O sistema não é bloqueante;
- O *cilindro* nunca coloca peça em E1, caso já haja peça em E1;
- O *sopro* e o *vácuo* nunca estão acionados simultaneamente;
- Em algum momento o *vácuo* será acionado;
- Se o *sopro* está desligado, ele permanecerá desligado até que o *vácuo* seja acionado;
- Se há peça na posição E1, esta peça eventualmente chegará à posição E2;
- O *driver rotativo* nunca vai da posição E2 para a posição E1 sem ter deixado a peça que carrega em E2;
- O *sopro* nunca é acionado sem que haja peça no *driver rotativo* na posição E2;
- Proponha agora uma outra propriedade de interesse e verifique se o sistema a satisfaz.

### 3. **Correção das ações de Controle**

Proponha alterações no controlador, de modo que o sistema em malha fechada satisfaça todas as propriedades listadas no item anterior. Verifique formalmente todas as propriedades testadas para o novo controlador.

#### 4. Modelagem e Verificação com Inclusão da Estação de Teste:

A Figura 2 apresenta em rede de Petri um sistema utilizado para sincronizar a **Estação de Distribuição** com a **Estação de Teste**, que não faz parte deste experimento. Este sistema consiste em um bit lógico (sensor óptico) que sinaliza que a **Estação de Teste** encontra-se em operação. Este bit visa evitar que o *driver rotativo* desloque uma nova peça para a **Estação de Teste** (posição **E2**) caso esta ainda esteja trabalhando.

- Propor um novo controlador levando em conta esta nova restrição;
- Propor uma formula LTL para verificar que o *driver rotativo* respeitará esta nova restrição.

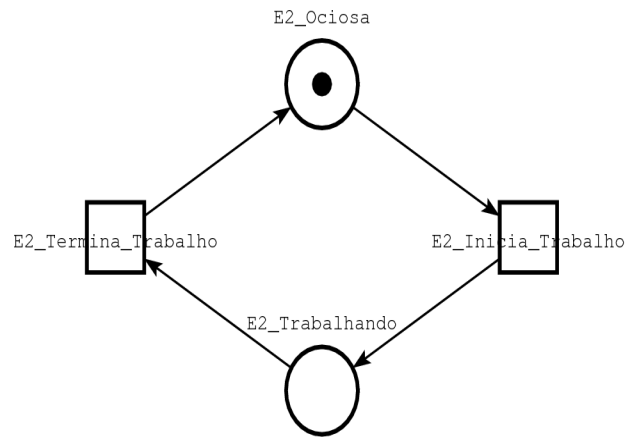


Figura 2: Bit de sincronização entre as plantas 1 e 2

## Anexo 1: Sensores e atuadores da estação de distribuição

Este anexo apresenta uma breve descrição dos sensores e atuadores da Estação de Distribuição.

### 1. Sensores

- *Sensor de Proximidade*: determina a posição do *Cilindro Ejetor* (avancado/recuado);

- *Sensor de Feixe Luminoso* que se encontra na base do *Magazine*: indica que uma peça está em espera, quando o feixe é interrompido;
- *Sensor de Posição do driver Rotativo*: informa se ele se encontra na **Estação E1 ou E2**
- *Sensor de Vácuo*: detecta se um vácuo foi gerado na ponta do *driver Rotativo* para permitir o deslocamento da peça de uma estação para outra.

## 2. Atuadores

- *Cilindro Ejetor*: próximo ao *Magazine* de peças, o *Cilindro* pode recuar e avançar, deslocando as peças para ficar ao alcance do *driver Rotativo*.
- *driver Rotativo*: se desloca no sentido horário ou anti-horário, para que ele se encontra na **Estação E1 ou E2**.
- *Dispositivo de Vácuo*: provova vácuo na ponta do *driver Rotativo* para ajudar a transportar as peças de uma estação para outra, sendo desligado na **Estação E2**.
- *Dispositivo de Sopro*: auxilia o *driver Rotativo* a soltar a peça, quando este se encontra na **Estação E2**.

## 3 Agradecimentos:

Esta aula prática foi elaborada a partir de uma proposição de **Rodrigo Saad** durante seu pós-doutorado no DAS-UFSC em 2012-2013.