

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

DAS5203 - MODELAGEM E CONTROLE DE SISTEMAS A  
EVENTOS DISCRETOS

---

## Experiência 5

---

*Alunos:*

Ígor A. R. YAMAMOTO  
Iago SILVESTRE

*Professores:*

Fabio BALDISSERA  
José E. R. CURY  
Max H. de QUEIROZ

29 de Maio de 2016

# Sumário

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Roteiro aula prática 5</b>                                | <b>2</b> |
| 1.1      | Objetivo . . . . .   | 2        |
| 1.2      | Descrição do Processo . . . . .                              | 2        |
| 1.3      | Atividades . . . . .   | 3        |
| <b>2</b> | <b>Resolução</b>   | <b>4</b> |
| 2.1      | Modelos Separados do Torno (T) e da Fresa (F) . . . . .      | 4        |
| 2.2      | Modelo Agrupado do Torno (T) e da Fresa (F) . . . . .        | 5        |
| 2.3      | Modelo do Robô (R) . . . . .                                 | 6        |
| 2.4      | Comportamento do Sistema de Acordo com T, F e R . . . . .    | 6        |
| 2.5      | Modelo Agrupado de T, F e R . . . . .                        | 8        |
| 2.6      | Modelo da Fábrica com o Buffer (B) . . . . .                 | 9        |
| 2.7      | Comportamento do Sistema de acordo com T, F, R e B . . . . . | 9        |
| 2.8      | Sistema sem Bloqueios . . . . .                              | 11       |

# 1 Roteiro aula prática 5

## 1.1 Objetivo

O objetivo desta experiência é praticar a modelagem de sistemas a eventos discretos com autômatos e apresentar ferramentas para manipulação e emulação desses modelos. Os resultados dessas tarefas deverão ser organizados na forma de um relatório a ser entregue no prazo de uma semana.

## 1.2 Descrição do Processo

Considere uma pequena fábrica com um torno (T), um robô (R), uma fresa (F) e um buffer (B) que pode armazenar até quatro peças na entrada da fresa, conforme o diagrama abaixo. O torno inicia sua operação consumindo uma peça da sua entrada (evento t1) e só volta a ficar disponível quando o robô retirar a peça pronta do torno (evento t2). Do mesmo modo, a fresa começa a operar retirando uma peça de B com o evento f1 e termina a operação quando o robô retirar a peça fresada com o evento f2. O robô pode depositar uma peça oriunda do torno no buffer (evento r1) ou depositar uma peça da fresa na saída de produtos finais (evento r2). Assuma que a entrada do torno sempre possui peças e que a saída de produtos finais sempre pode receber peças.

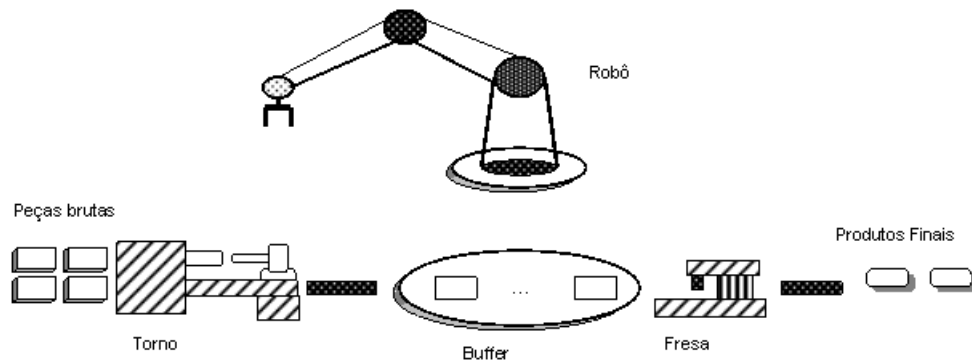


Figura 1: Modelo da Fábrica

### 1.3 Atividades

1. Construa no SUPREMICA um autômato para modelar o comportamento do torno T e outro para a fresa F.
2. Obtenha um modelo único para o funcionamento conjunto de T e F, sem considerar as limitações do armazém B e o comportamento do robô R. Modele diretamente e compare com o modelo obtido através da operação *synchronize* no SUPREMICA.
3. Usando apenas os eventos t2, f2, r1 e r2, modele o comportamento do robô R.
4. Usando a ferramenta SUPREMICA, emule o comportamento do sistema de acordo com os modelos de T, F e R e apresente uma seqüência de eventos que leve a um overflow em B e outra que leve a um underflow em B.
5. Calcule um autômato que modele o funcionamento conjunto de T, F e R, sem considerar as limitações do armazém B. Verifique a existência ou não de bloqueio.
6. Modele uma lógica de controle que limite o funcionamento da fábrica à capacidade do armazém B, evitando o overflow e o underflow de peças. Calcule o modelo completo (composição da lógica de controle com as máquinas) e verifique a existência de bloqueios.
7. Emule o comportamento do sistema de acordo com os modelos de T, F, R e B usando a ferramenta SUPREMICA e apresente uma seqüência de eventos que leve a uma situação de bloqueio, caso exista.
8. Modifique o modelo acima de forma a evitar eventuais situações de bloqueio. Calcule o modelo e emule no SUPREMICA.

## 2 Resolução

### 2.1 Modelos Separados do Torno (T) e da Fresa (F)

O autômato da Figura 2 representa o comportamento isolado do torno, onde:

- **TL:** Torno Livre, é o estado em que o torno está sem nenhuma peça. Este estado é marcado como desejado para o sistema;
- **TT:** Torno Trabalhando, é o estado em que o torno contém uma peça;
- **t1:** é o evento em que o torno inicia operação consumindo uma peça na sua entrada;
- **t2:** é o evento em que o robô retira a peça na saída do torno.

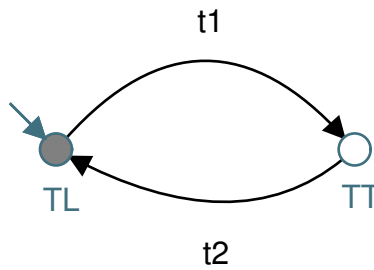


Figura 2: Modelo do Torno

O autômato da Figura 3 representa o comportamento isolado da fresa, onde:

- **FL:** Fresa Livre, é o estado em que a fresa está sem nenhuma peça. Este estado é marcado como desejado para o sistema;
- **FT:** Fresa Trabalhando, é o estado em que a fresa contém uma peça;
- **f1:** é o evento em que a fresa inicia operação consumindo uma peça do buffer;
- **f2:** é o evento em que o robô retira uma peça na saída da fresa.

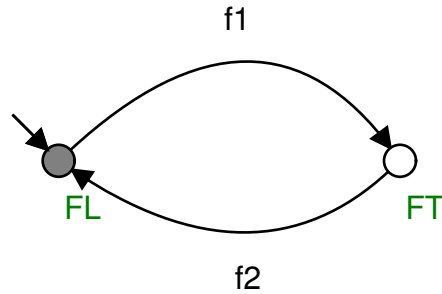


Figura 3: Módulo da Fresa

## 2.2 Modelo Agrupado do Torno (T) e da Fresa (F)

A Figura 4 é o agrupamento feito a partir dos modelos isolados do torno e da fresa. É possível perceber que o número de estados (4) do sistema agrupado é o produto dos estados dos modelos isolados (2x2). O estado em que o torno e a fresa estão livres (TLFL) é marcado como desejado para o sistema.

A junção dos modelos isolados pode ser feita automaticamente pela função *synchronize* do SUPREMICA. Na secção de análise do software, os modelos são selecionados e, então, agrupados, resultando no modelo apresentado abaixo.

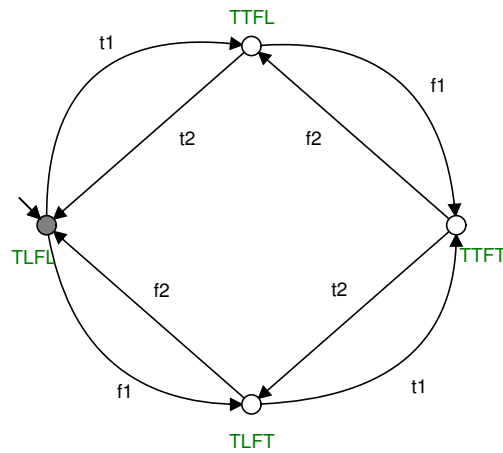


Figura 4: Modelo Agrupado do Torno e da Fresa

### 2.3 Modelo do Robô (R)

O autômato da Figura 5 representa o comportamento isolado do robô, onde:

- **RB:** Robô no buffer, é o estado em que o robô carrega uma peça do torno e está a caminho de depositá-la no buffer;
- **RL:** Robô livre, é o estado inicial em que o robô não está realizando nenhum trabalho;
- **RS:** Robô na saída, é o estado em que o robô carrega uma peça da fresa e está levando a peça finalizada a área de produtos finais;
- **r1:** é o evento em que o robô deposita uma peça, oriunda do torno, no buffer;
- **r2:** é o evento em que O robô deposita uma peça, oriunda da fresa, na saída de produtos finais.

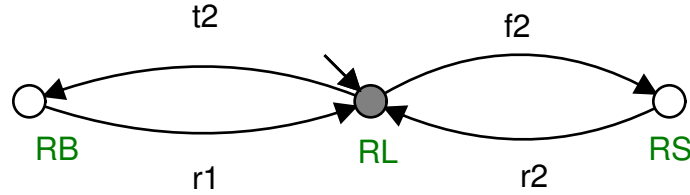


Figura 5: Modelo do Robô

### 2.4 Comportamento do Sistema de Acordo com T, F e R

De acordo com a especificação do modelo da fábrica, o buffer tem capacidade de armazenar até 4 peças. Se houver uma sequência de eventos que leve o buffer a ter mais de 4 peças, o sistema apresentará *overflow*. De fato, essa sequência existe para o modelo que agrupa os três módulos apresentados anteriormente. A sequência de eventos indicada na Figura 6 exemplifica um do caso de *overflow* em que o buffer passa a conter 5 peças.

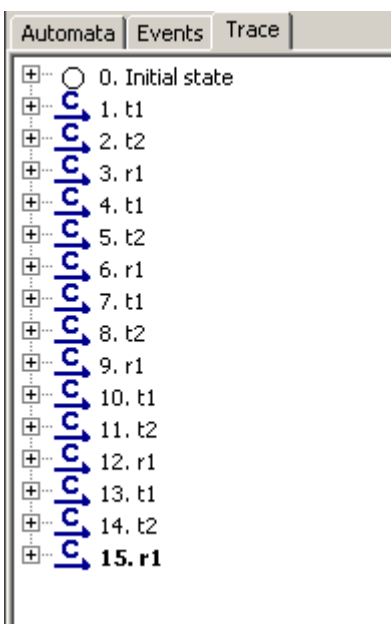


Figura 6: Sequência de Eventos que Leva a Overflow em B

Caso não haja nenhuma peça no buffer e uma peça tente ser retirada do mesmo, ocorrerá *underflow*. Essa situação, de fato, ocorre quando o evento f1 ocorre antes de qualquer outro evento (Figura 7). Isso ocorre devido ao modelo do buffer não ter sido modelado ainda.

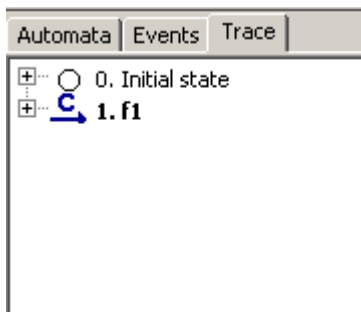


Figura 7: Sequência de Eventos que Leva a Underflow em B



## 2.5 Modelo Agrupado de T, F e R

A Figura 8 é o agrupamento feito a partir dos modelos isolados do torno, da fresa e do robô. É possível perceber que o número de estados (12) do sistema agrupado é o produto dos estados dos modelos isolados ( $2 \times 2 \times 3$ ). O estado em que o torno, a fresa e o robô estão livres (FL.RL.TL) é marcado como desejado para o sistema.

O modelo foi obtido através da ferramenta *synchronize* do SUPREMICA, selecionando os componentes desejados para a sincronização.

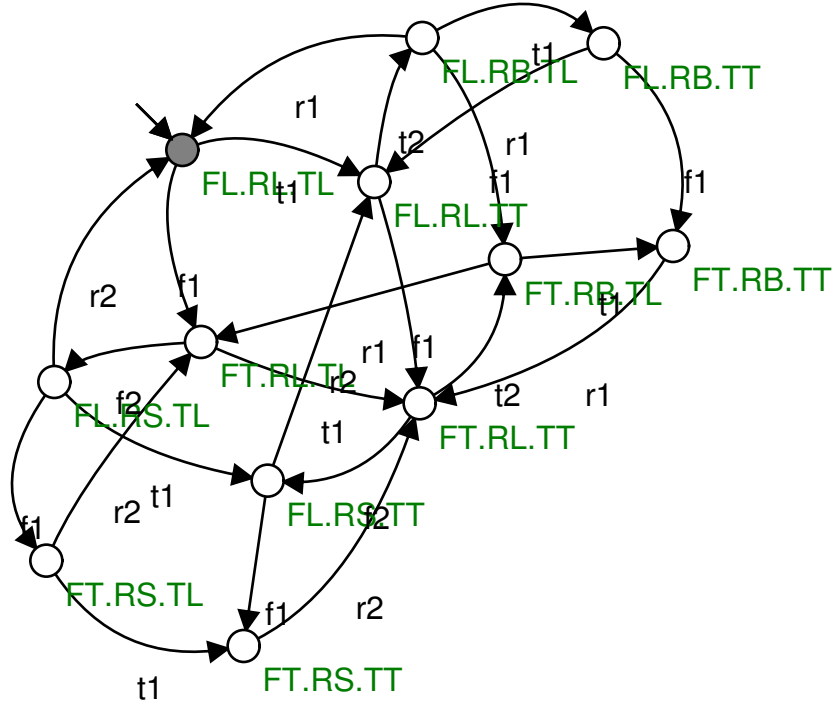


Figura 8: Modelo Agrupado de T, F e R

Além disso, podemos checar se o sistema é não bloqueante através de uma ferramenta do SUPREMICA, no analisador do programa podemos verificar o modelo agrupado em sua característica **Nonblocking**, como esperado, o sistema não é bloqueante.

## 2.6 Modelo da Fábrica com o Buffer (B)

O autômato da Figura 9 representa o comportamento isolado do buffer, concebido para comportar um número máximo de 4 peças, onde:

- **B0**: Buffer com 0 peças, estado inicial do buffer onde ele não contém nenhuma peça;
- **B1**: Buffer com 1 peça, estado do buffer onde ele contém 1 peça;
- **B2**: Buffer com 2 peças, estado do buffer onde ele contém 2 peças;
- **B3**: Buffer com 3 peças, estado do buffer onde ele contém 3 peças;
- **B4**: Buffer com 4 peças, estado do buffer onde ele contém 4 peças.

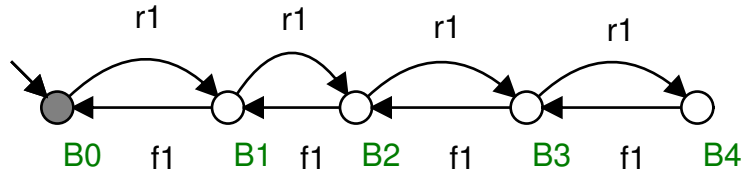
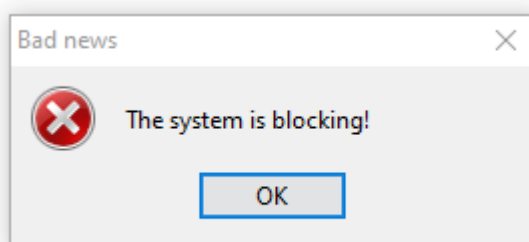
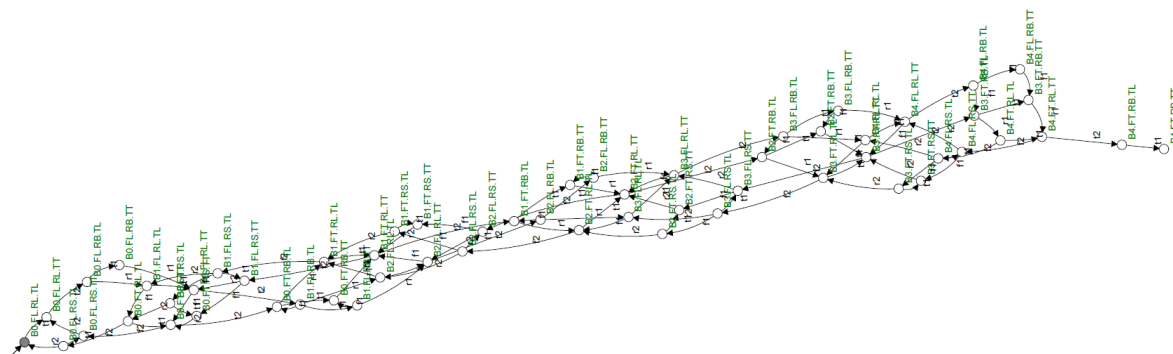


Figura 9: Modelo do Buffer

Após a criação do modelo do Buffer, um novo modelo global foi construído novamente com o auxílio da função *synchronize* do SUPREMICA. O modelo global da fábrica (Figura 10) corresponde a junção de todos os modelos individuais dos módulos da fábrica: torno, buffer, robô e fresa.

## 2.7 Comportamento do Sistema de acordo com T, F, R e B

O comportamento do modelo global da fábrica pode ser estudado a partir das secções de simulação e análise do SUPREMICA. Através da ferramenta de verificação do software, conclui-se que o sistema é bloqueante (Figura 11).



A mesma conclusão pode ser feita quando simulado o sistema. A sequência de eventos que leva ao bloqueio é apresentada na Figura 12. Pelo modelo do autômato da fábrica (Figura 10) também é perceptível que existem dois estados em que nunca ocorrerá uma cadeia de eventos que leve ao estado marcado.

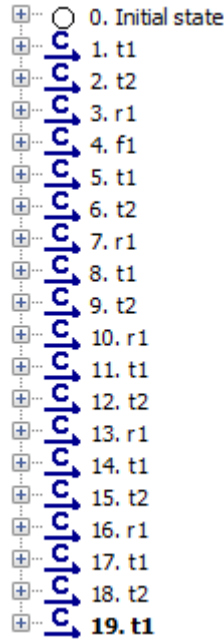


Figura 12: Sequência de Eventos que Leva ao Bloqueio

A situação de bloqueio do sistema pode ser fisicamente interpretada como sendo o caso em que a fresa está trabalhando, o buffer está cheio e o robô está segurando uma peça que será depositada no buffer. Porém a peça nunca será depositada enquanto o buffer estiver cheio e este nunca deixará de estar cheio enquanto o robô não estiver livre para retirar uma peça da fresa, que então poderia consumir uma peça do buffer.

## 2.8 Sistema sem Bloqueios

Há diversas maneiras de resolver o problema do bloqueio, porém gostaríamos de obter a solução que menos limite o comportamento do sistema. Dessa forma, apenas os estados bloqueantes do sistema devem ser removidos. A solução implementada (Figura 13) consiste em alterar o modelo do buffer, considerando o estado de operação da fresa: o robô nunca poderá retirar uma peça do torno em direção ao buffer enquanto este estiver cheio e a fresa, trabalhando. Percebe-se que no estado b4ft do novo modelo, o evento t2 não pode ocorrer.



Também é interessante comparar os modelos quanto ao número de estados, já que algumas soluções para o problema, além de eliminar os estados bloqueantes, também poderiam eliminar outros estados de funcionamento do sistema. Como o número de estados bloqueantes é igual a dois, o número de estados do modelo corrigido deve ter somente dois estados a menos do que o original. A solução proposta verifica essa condição, conforme indicado na Figura 15.

| Editor   Simulator   Analyzer     |       |    |   |     |
|-----------------------------------|-------|----|---|-----|
| Name                              | Type  | Q  | Σ | →   |
| Buffer                            | Plant | 5  | 2 | 8   |
| Buffer  Fresa  Robo  Torno        | Plant | 58 | 6 | 107 |
| ControleBloqueioAprimorado        | Plant | 10 | 4 | 26  |
| ControleBloqueioAprimorado  Fr... | Plant | 56 | 6 | 105 |
| Fresa                             | Plant | 2  | 2 | 2   |
| Robo                              | Plant | 3  | 4 | 4   |
| Torno                             | Plant | 2  | 2 | 2   |
| TornoFresa                        | Plant | 4  | 4 | 8   |

Figura 15: Modelo Buffer controlando bloqueio

Pode-se demonstrar a lógica de impedimento do bloqueio no seguinte estado do programa (Figura 16):

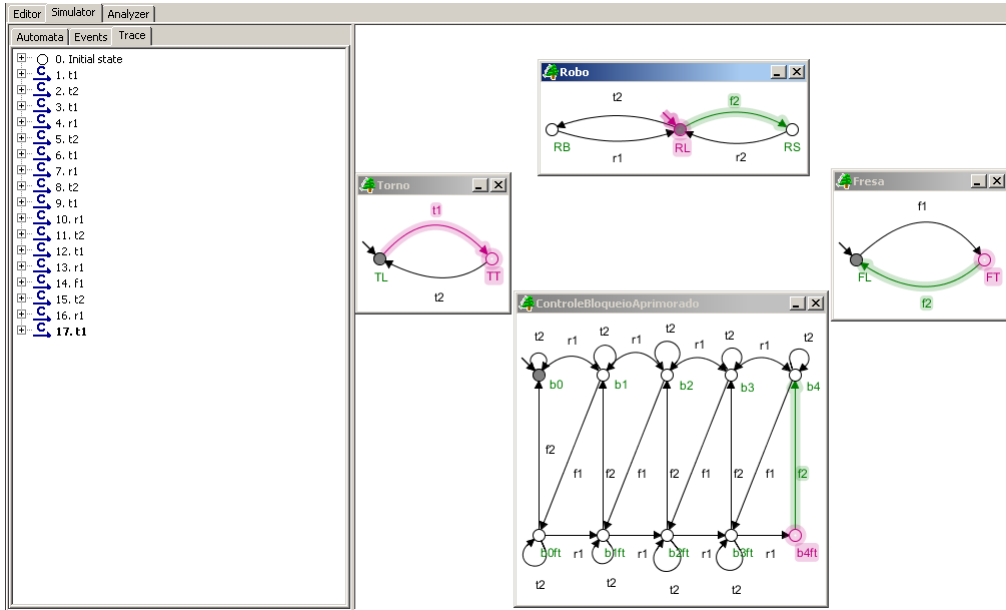


Figura 16: Modelo Buffer controlando bloqueio

No modelo original, o estado apresentado acima permitiria que o evento  $t2$  (robô retirar peça do torno para colocar no buffer) ocorresse, levando a situação de bloqueio explicada no item (2.7). No modelo modificado, esse evento é impedido de acontecer.

Quando o buffer está cheio e a fresa está trabalhando,  $t2$  nunca ocorrerá. Percebe-se, entretanto, que se o buffer estiver cheio e a fresa não estiver trabalhando, não há problema na ocorrência de  $t2$ . Neste caso, o evento  $f2$  (fresa consome uma peça do buffer) ainda poderia liberar um espaço para que a peça pendente no robô pudesse ser solta no buffer.