

EXEMPLO 3 Estoque

Cada evento C é a chegada de c peças ao estoque; cada evento S é a saída de s peças do estoque; C e S são independentes. Um possível modelo de RP é o da Figura 8.15: o número de marcas na posição P é o saldo x do estoque; o número c de peças em cada evento C é o peso c do arco de C a P; o número de peças que saem de P a cada evento S é o peso s do arco que sai de P.

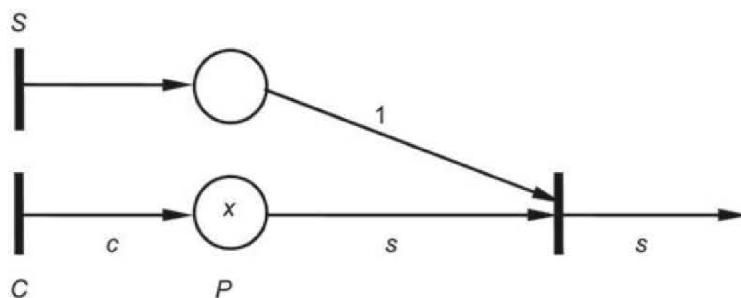


FIGURA 8.15

EXEMPLO 4 Terminal de caixa bancário automático

A Figura 8.16 exibe uma RP que o descreve; é uma RP de Condições/Eventos. Condições do Sistema (Posições):

- p_1 – Caixa com cliente encontra-se à espera do serviço (em prontidão)
- p_2 – Caixa encontra-se à espera da senha
- p_3 – Caixa encontra-se em apresentação de menu de serviços (saldo, saque ou extrato)
- p_4 – Caixa em espera para data do extrato
- p_5 – Caixa em espera para valor do saque
- p_6 – Caixa executando o serviço

Eventos do sistema (transições habilitadas em decorrência de transições-fonte que em geral não estão mostradas na Figura 8.16):

- t_0 – Entrada do usuário no caixa
- t_1 – Passagem do cartão magnético
- t_2 – Digitação da senha
- t_3 – Digitação da operação de saldo

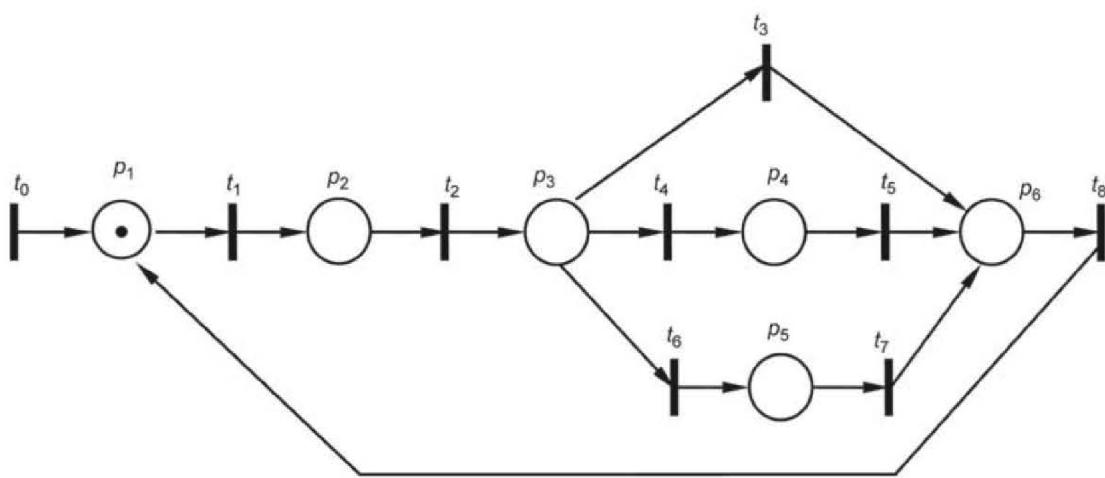


FIGURA 8.16

- e) t_4 – Digitação da operação de extrato
- f) t_5 – Digitação da data do extrato
- g) t_6 – Digitação da operação de saque
- h) t_7 – Digitação do valor do saque
- i) t_8 – Digitação de fim de operação

EXEMPLO 5 Processo burocrático de uma agência seguradora

A posição p_i é o i -ésimo estágio do processamento de um pedido de indenização:

- p_1 = reclamação chegada; p_7 = processo a arquivar por ser a queixa não-procedente; p_{10} = reclamação arquivada, não-atendida; p_{11} = reclamação a atender/pagar; p_{12} = processo a arquivar por decurso do prazo na resposta do cliente.

A transição t_j é o j -ésimo evento: t_1 = registrar entrada; t_2 = enviar questionário ao cliente; t_3 = constatar decurso de prazo; t_4 = cliente responde; t_5 = arquivar; t_6 = pré-avaliar queixa; t_7 = julgar queixa não-procedente; t_8 = julgar queixa procedente; t_9 = reverificar julgamento; t_{10} = queixa não-OK; t_{11} = queixa OK.

Uma RP para este caso poderia ser a da Figura 8.17.

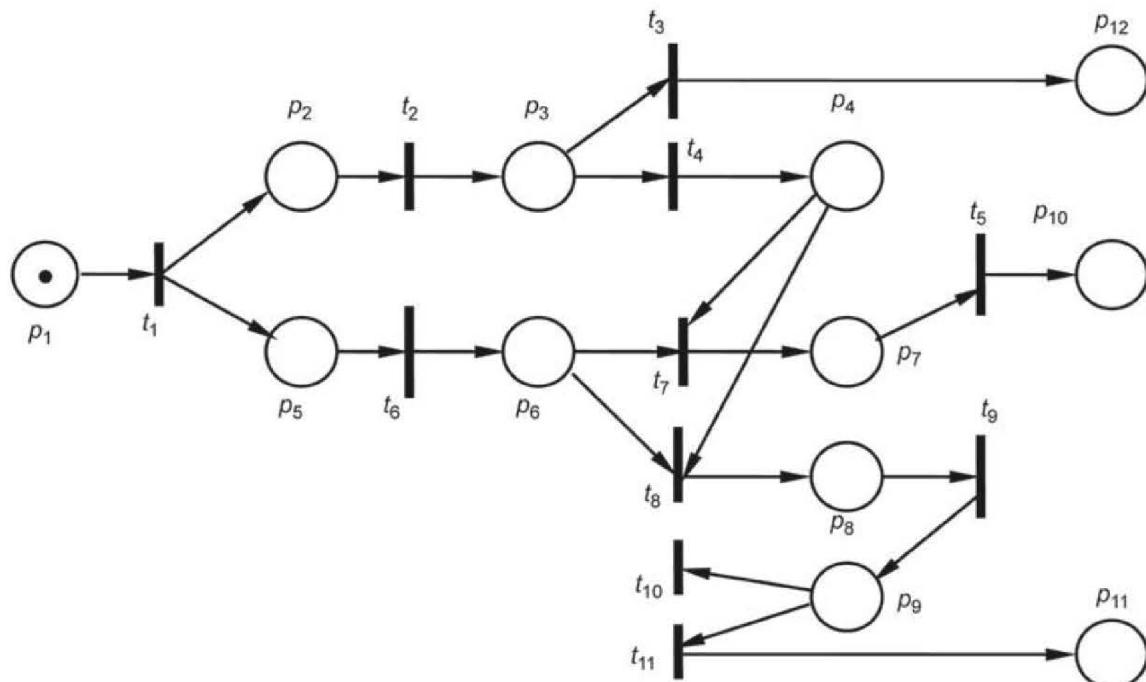


FIGURA 8.17

8.5 POSIÇÕES E TRANSIÇÕES TEMPORIZADAS

As RPs simples têm capacidade de representar todas as condições lógicas e quantitativas dos sistemas a eventos. As RPs temporizadas permitem introduzir o fator tempo.

As RPs temporizadas são úteis na análise do desempenho de sistemas reais, especialmente para analisar médias temporais e eficiências econômicas. Por exemplo, por meio dessas RPs é possível calcular os períodos dos ciclos internos, as produções médias, as condições iniciais para pleno emprego dos recursos-gargalo etc., em processos de manufatura repetitiva em regime estacionário.

Pode-se introduzir um parâmetro tempo nas transições ou nas posições. Transições temporizadas das RPs serão desenhadas com traço reforçado; para elas, é importante o seguinte conceito:

Tempo de disparo (firing time) é o tempo que deve decorrer entre o início e o fim da execução da transição.

Tempo de parada (holding time) é o tempo em que uma marca deve permanecer em uma posição antes que possa contribuir para a habilitação de transições. Posições temporizadas serão desenhadas com círculos sombreados.

Do ponto de vista de melhor representação física, o engenheiro pode ter preferência em associar tempos às transições ou às posições.

EXEMPLO Ciclo das estações do ano. O ciclo das estações do ano origina uma Rede de Petri como a da Figura 8.18. As condições – “é primavera”, “é verão” etc. – são marcas nas posições externas da RP; os eventos – “a primavera começa”, “o verão começa” etc. – são execuções de transições da RP, habilitadas por marca na posição DATA. Para que esta ocorra a cada três meses introduz-se a transição temporizada T . Trata-se de uma Rede de Condições e Eventos, Temporizada.

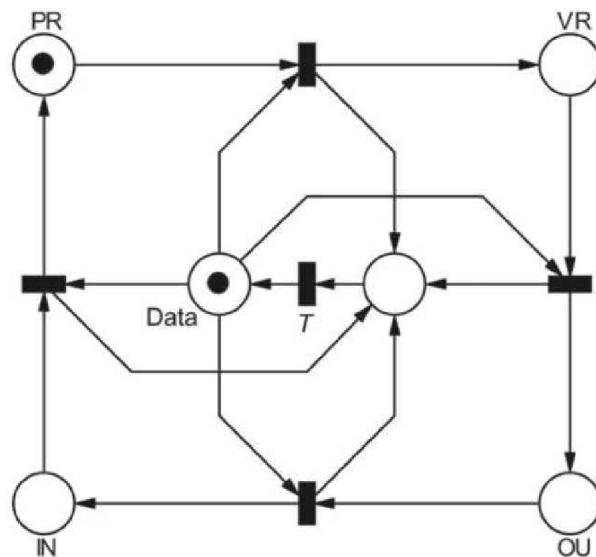


FIGURA 8.18

8.6 RELAÇÕES ENTRE REDES DE PETRI E PROGRAMAS LADER

Redes de Petri, diagramas lader e linguagem lader são meios para exprimir relações lógicas ou de causa e efeito desencadeadas por eventos em instantes não predeterminados. É muito esclarecedor que comparemos os três meios de expressão e que estabeleçamos até mesmo certas regras de equivalência.

Os diagramas lader foram, historicamente, usados para circuitos de comando de contatores; para programar os CLPs foram substituídos pela linguagem lader, que é muito mais poderosa. Chamamos de *diagramas lader* os diagramas lader tradicionais. A *linguagem lader*, porém, foi desenvolvida para a programação dos controladores lógicos programáveis.

As RPs e a linguagem lader têm a possibilidade de descrever quantidades não-binárias, maior poder descritivo de situações de concorrência de eventos e maior capacidade para prever conflitos; por isso seu estudo tem sido privilegiado em conexão com a automação industrial.

A Figura 8.19 ilustra a equivalência entre RPs e programas na linguagem lader.

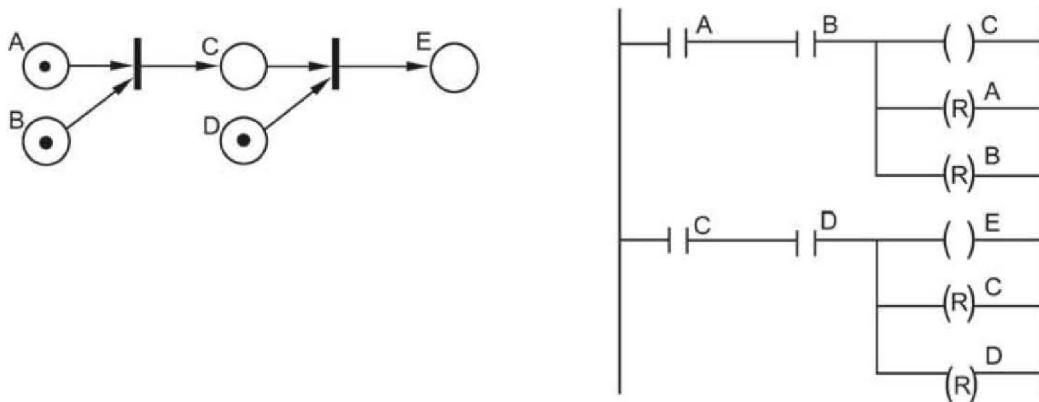


FIGURA 8.19

A Tabela 8.2 mostra alguns exemplos de equivalência nos três meios de expressão, álgebra de Boole, linguagem lader e rede de Petri C/E).[ZC]

8.7 CONCEITO DE ESTADO

O **estado** de uma RP de n posições, p_1, p_2, \dots, p_n , é o vetor \mathbf{m} , definido pela marcação da RP:

$$\mathbf{m} = [m(p_1) \ m(p_2) \ \dots \ m(p_n)].$$

O vetor de estado da RP de n posições é de dimensão n e é discreto em amplitude, isto é, pertence ao I^n .

Cada disparo executado produz, em geral, uma alteração do vetor de estado. Como visto no Capítulo 7, a componente i do vetor de estado evolui de $m(p_i)$ para $m'(p_i)$, de acordo com uma equação algébrica em que entram os pesos dos arcos ligados a p_i .

Partindo de uma marcação inicial \mathbf{m}_0 , disparando uma das transições habilitadas, obtém-se \mathbf{m}' . Na nova marcação, disparando uma das transições então habilitadas obtém-se \mathbf{m}'' , e assim por diante, até não haver mais qualquer habilitação ou até o estabelecimento de ciclos permanentes.

Note que geralmente em cada passo há várias transições habilitadas e, portanto, uma escolha da próxima transição a disparar. Cada seqüência de escolhas determina uma seqüência de vetores de estado e uma seqüência de transições disparadas:

- a) $\mathbf{m}_0, \mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2 \dots$
- b) $t_0, t_1, t_2 \dots$

Portanto, o estudo completo da evolução da RP resulta em uma árvore de decisões e caminhos, que será objeto de análise em capítulo próximo.

TABELA 8.2

Álgebra de Boole	Redes de Petri	Linguagem Lader
Condição	○ Passo	Sem representação explícita
Atividade	Transição	Sem representação explícita
Equipamento em atividade	● Ficha	Sem representação explícita
Lógica E		
Lógica OU		
Concorrência		
Delay		
Sincronização		

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

Nestes exercícios, simular a operação de uma RP significa construir uma tabela de habilidades e execuções sucessivas, como a do Exemplo 6 da Seção 8.3.

E.8.1 Construa os gráficos das RPs seguintes:

- a) $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9\}$
 $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7\}$
 $W = \{1\}$
 $m_0 = [1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$
 $A = \text{conjunto de arcos definidos pela tabela:}$

Transição	Pré-set	Pós-set
t_1	p_1	$p_2; p_3$
t_2	p_2	$p_4; p_5$
t_3	p_3	p_6
t_4	p_4	p_7
t_5	$p_5; p_6$	p_8
t_6	$p_7; p_8$	p_9
t_7	p_9	p_1

- b) $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9\}$
 $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8\}$
 $W = \{1\}$
 $\mathbf{m}_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$
 $A =$ conjunto de arcos definidos pela tabela:

Transição	Pré-set	Pós-set
t_1	p_1	$p_1; p_2; p_3$
t_2	p_2	p_4
t_3	p_3	p_5
t_4	p_4, p_9	p_6
t_5	$p_5; p_9$	p_7
t_6	p_6	p_8
t_7	p_7	p_8
T_8	p_8	p_1

- E.8.2 Ache os pré-sets e os pós-sets das transições da RP da Figura 8.12. Idem das posições.
E.8.3 Construa uma RP para o sistema de estoque do Exemplo 3 da Seção 8.4 utilizando duas posições adicionais para eliminar as transições-fonte; interprete as marcas como lotes

de s peças. Adote como marcação inicial dois lotes no estoque e um transportador de saída disponível. Qual a marcação final?

- E.8.4 No processo burocrático do Exemplo 5 da Seção 8.4, tome como marcação inicial $m_1 =$ um processo de reclamação que terá de ser atendido; simule a operação e relate qual é a marcação final. Idem, $m_1 =$ um processo que terá de ser arquivado, sem atendimento.
- E.8.5 Simule a RP da Figura 8.14, com uma marca inicial em p_4 e duas marcas iniciais em p_1 e em p_5 , supondo que uma regra de prioridade (externa) dispare t_1 e t_2 alternadamente.
- E.8.6 Simule a RP da Figura 8.16 com uma marca inicial representando usuário que deseja fazer um saque.
- E.8.7 Escreva as equações de evolução das variáveis de estado $m(p_i)$ que são afetadas quando a transição t_1 da Figura 8.12 dispara; idem, quando t_2 e t_4 disparam, separadamente.
- E.8.8 Modele por rede de Petri o seguinte sistema produtivo com linha
Dois operadores O_1 e O_2 operam três máquinas M_1 , M_2 e M_3 . O_1 pode operar M_1 ou M_2 e O_2 pode operar M_2 ou M_3 . O processamento das peças se inicia por M_1 . Considerar as seguintes condições:
a) Máquina M_1 livre e ocupada
b) Máquina M_2 livre e ocupada
c) Máquina M_3 livre e ocupada
d) Operador O_1 livre, ocupado com a máquina M_1 e ocupado com a máquina M_2
e) Operador O_2 livre, ocupado com a máquina M_1 e ocupado com a máquina M_3
f) Buffer entre as máquinas M_1 e M_2 , com capacidade de duas peças.
g) Buffer entre as máquinas M_1 e M_3 , com capacidade de duas peças.
- E.8.9 Desenvolva pelo lader tradicional, pela linguagem lader e por rede de Petri a equação lógica $C = A$ (ou exclusivo) B .
- E.8.10 Simule a RP da Figura 8.18, com $T = 3$.