

Figura 1: Rede de Petri associada a uma máquina

1 Redes de Petri

Objetivo: Apresentar o formalismo das Redes de Petri e sua aplicação na concepção e validação de Sistemas em Tempo Real.

1. As Redes de Petri (RdP) fornecem uma base matemática para a modelagem e análise de sistemas. Uma RdP é um grafo bipartido composto de nós (ou vértices) mais um conjunto de arcos entre pares de nós;
2. Os elementos básicos de uma RdP são:
 - Lugar (círculo): representa uma condição, um estado parcial, uma espera, um procedimento, um conjunto de recursos, etc; geralmente, possui um predicado associado;
 - Transição (barra ou retângulo): representa a ocorrência de um evento no sistema (por ex., iniciar a operação);
 - Ficha ou marca (ponto dentro de um lugar): indica que a condição associada ao lugar é verificada (por ex., uma marca dentro do lugar associado ao predicado "máquina livre", significa que a máquina está livre no momento - predicado é verdadeiro)
3. O comportamento dinâmico do sistema representado pela RdP:
 - Estado do sistema: representado pela marcação da rede pelas fichas;
 - Mudança de estado: disparo de uma transição (ocorrência de um evento);
 - O disparo de uma transição consiste em: **retirar** as fichas dos **lugares de entrada** e ao mesmo tempo, **depositar** as fichas em **cada lugar de saída da transição**;
 - Comportamento dinâmico do sistema: equivalente ao comportamento dinâmico da RdP, isto é, o desaparecimento e criação de fichas corresponde às mudanças de estado do sistema modelado pela rede.

2 Correspondência entre a Rede de Petri e o Sistema Físico

2.1 Modelando interações entre processos

Existem diversas interações entre processos que correspondem às atividades clássicas que ocorrem em sistemas de produção.

1. Seqüência: por exemplo, operações numa linha de montagem sobre uma mesma peça com na figura 1. Note que as transições t_0 , t_1 e t_3 podem ocorrer em paralelo neste caso e que a evolução do sistema é assíncrona e independente do número de fichas.
2. Divisão: por exemplo, uma única peça é cortada dando origem a duas outras peças com na figura 2. O fim da operação em P_1 consiste em separar 1 artigo (M_1) para criar 2 outros. Note que as fichas em P_2 e P_3 serão criadas instantaneamente no disparo de T_2 .

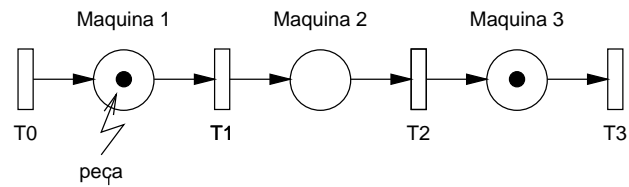


Figura 2: Rede de Petri associada a uma seqüência de produção.

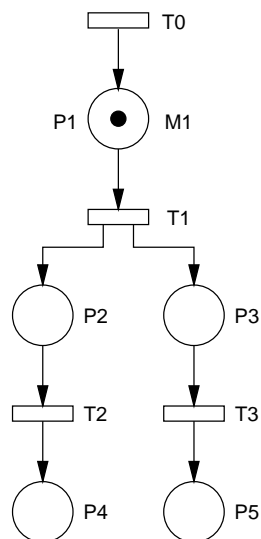


Figura 3: Rede de Petri associada a uma divisão.



Rede de Petri	Sistema
Lugares	Condições potenciais do sistema (matematicamente, condições associadas a predicados)
Transições	Eventos elementares
Arcos de Entrada	Relacionam eventos com pré-condições (pré-requisitos) para a ocorrência da transição
Arcos de saída	Relacionam eventos com pós-condições (condições decorrentes das suas ocorrências)
Fichas	a presença de um número suficiente de fichas num lugar significa que o predicado associado a esse lugar é verdadeiro
Disparo de uma transição	Ocorrência de um evento
Marcação	Estado corrente do sistema
Marcação Inicial	Estado inicial do sistema
Mudança de marcação	Transformação do estado do sistema
Transição habilitada	Cada lugar de entrada p de uma transição t tem um número de marcas que é no mínimo correspondente ao peso do arco de p para a transição t

Tabela 1: Correspondência Redes de Petri e Sistemas

3. Junção: por exemplo, uma plataforma e um conjunto de parafusos que devem ser montados juntos para produzir uma nova peça. Artigos passando por t_1 e t_2 evoluem independentemente, paralelamente e de modo assíncrono. A transição t_3 requer a presença simultânea de uma ficha em P_2 e P_3 (sincronização). No exemplo da figura 3, P_2 representa uma máquina livre, P_4 uma peça disponível no depósito e t_3 iniciar a montagem. Note que as fichas de P_2 e P_3 desaparecem de maneira síncrona, criando ao mesmo tempo uma nova ficha em P_4 .
4. Caminhos alternativos: por exemplo, o quadro de uma bicicleta que pode ser cromado ou pintado, para ser posteriormente passado às outras partes da linha de produção. Na figura 4, duas seqüências de operações podem ser escolhidas: $P_1 - P_2$ ou $P_3 - P_4$. Depois da execução de uma das seqüências, P_6 é executada. Vale observar que não existe mecanismo na rede para resolver o não-determinismo entre as transições t_2 e t_3 .
5. Repetição: modela atividades que devem ser executados repetidamente. No caso da figura 5, a execução de $P_1 - P_2 - P_4$ pode ser repetida inúmeras vezes. Entretanto, se T_3 é disparada, o ciclo é quebrado. Esta rede pode representar um sistema de transporte de peças através de veículos: um veículo circula n vezes pelas estações correspondentes aos lugares P_1 , P_2 e P_4 , para ser depois ter as baterias recarregadas em P_3 .
6. Alocação/compartilhamento de recursos: a aplicação típica desse tipo de interação é o mecanismo de exclusão mútua entre processos através de semáforos. Na figura 6, *Recurso* representa o recurso único compartilhado por dois processos concorrentes P_3 e P_5 . P_2 é um lugar de espera de recurso antes de começar o processamento em P_3 , que é uma atividade dependente do *Recurso*. **Observe que a não existência do lugar de espera P_2 implicaria num bloqueio do fim da atividade P_1 até que o recurso estivesse disponível.**
7. Concorrência: por exemplo, a modelagem de um grupo de processos prontos para serem executados numa máquina multiprocessada. Duas transições são **concorrentes** se e somente se elas estão ambas habilitadas e, mais ainda, cada uma delas pode ser executada em qualquer ordem sem desabilitar a outra por sua execução. Veja a figura 7
8. Conflito: a figura 8 apresenta um grupo de alternativas para a produção de uma peça definida por uma escolha num menu de entrada. Duas transições estão **em conflito** se e somente se elas estão ambas habilitadas, sendo que o disparo de uma delas desabilita imediatamente a execução da outra.

2.2 Exemplo prático

Problema clássico do protocolo de acesso a um arquivo que permite: no máximo 4 acessos concorrentes ao arquivo em modo leitura (*read-only*) e; apenas 1 acesso em modo escrita (*write-once*) ao arquivo.

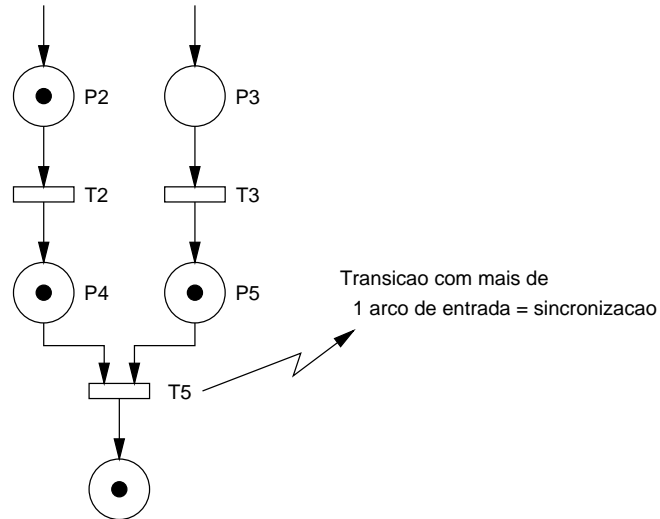


Figura 4: Rede de Petri associada a uma operação de junção ou fusão.

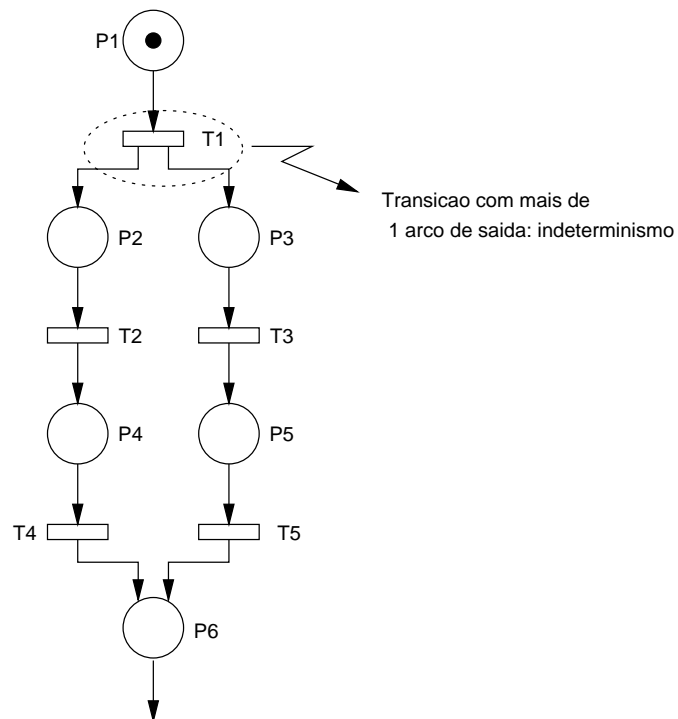


Figura 5: Rede de Petri associada a uma escolha entre caminhos alternativos.

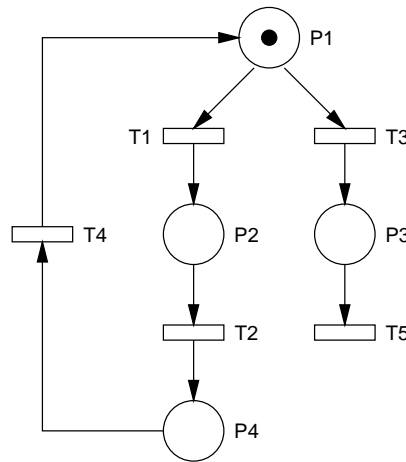


Figura 6: Rede de Petri com um ciclo.

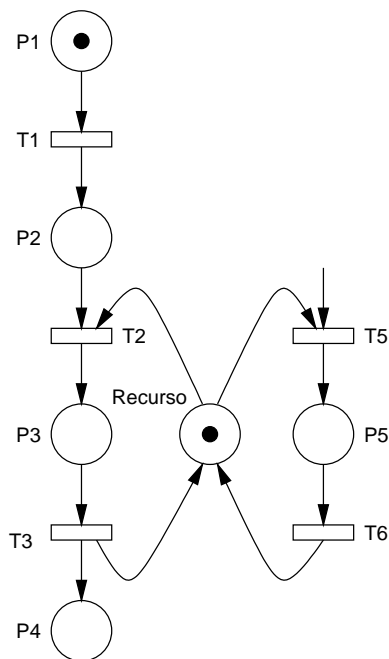


Figura 7: Rede de Petri com compartilhamento de um recurso.

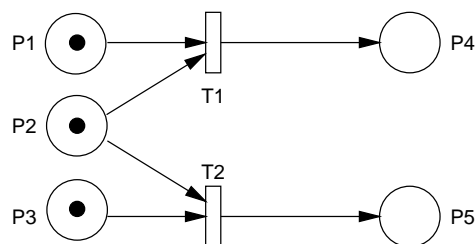


Figura 8: Rede de Petri ilustrando a concorrência entre processos.

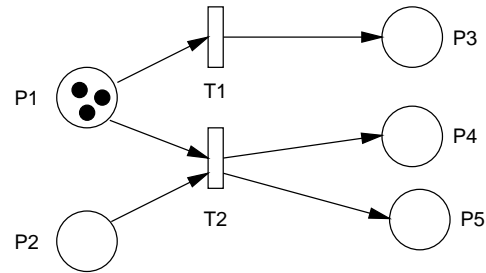


Figura 9: Rede de Petri ilustrando um conflito entre processos.

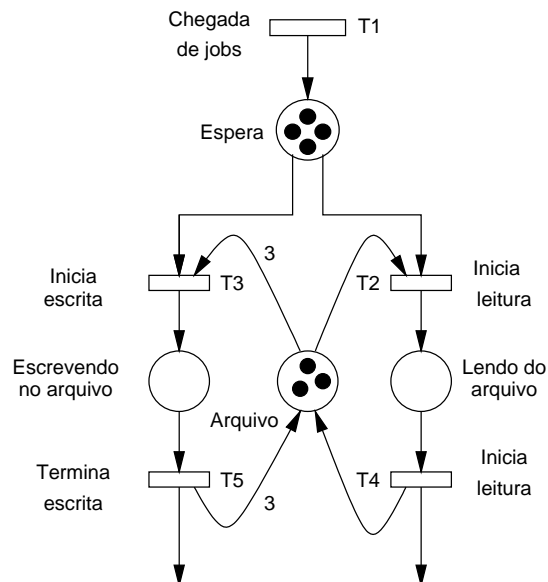


Figura 10: Protocolo para leitura e escrita de arquivo.