

OK

1998
São Paulo

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

**ANÁLISE DA PROPRIEDADE DISTÂNCIA
SÍNCRONA NA REDE GHENeSys**

NELSON LUIZ DE PAULA MENEZES MONNERAT

São Paulo
1998

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.
Área de Concentração:
Engenharia Mecânica
Orientador:
Prof. Dr. José Reinaldo Silva

**ANÁLISE DA PROPRIEDADE DISTÂNCIA
SÍNCRONA NA REDE GHENESYS**

NELSON LUIZ DE PAULA MENEZES MONNERAT

À minha família, que é a razão
de todos os meus esforços.

DEDALUS - Acervo - EPMN

31600010160

AGRADECIMENTOS

Ao CTMSP que me permitiu alcançar este título.

À minha esposa e filhos, pelo apoio e compreensão durante

todo este percurso.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na

execução deste trabalho.



SVPOSGR/455/EP/10.07.1997

Senhor Professor

Em anexo à Dissertação de Mestrado, ou Tese de Doutorado, V.Sa. está também recebendo uma folha para a anotação dos principais aspectos falhos encontrados no trabalho apresentado.

Deve-se atentar para o fato de que, nesta folha, devem ser anotados apenas os pontos realmente relevantes e que devem ser corrigidos, cuja ausência de correção causaria um nítido prejuízo na qualidade técnica do trabalho.

Durante a defesa, caso o examinando esclareça pontos, de tal forma que algumas das observações não mais necessitem de correção, isto deve ser claramente indicado na folha de observações.

Ao final da defesa estas folhas de observações devem ser entregues ao Orientador do candidato, o qual se responsabilizará em efetuar uma consolidação das observações de todos os examinadores. Este documento final será a ERRATA do trabalho, a qual deverá ser encaminhada à CPG/EPUSP no prazo máximo de 15 dias, contados a partir da data da defesa, sendo anexada à Dissertação/Tese para o envio à biblioteca. Caso a CPG não receba esta Errata dentro do prazo estipulado, entende-se que não há necessidade desta introdução.

De qualquer maneira, a nota a ser atribuída ao trabalho refere-se ao exemplar original conforme encaminhado ao Examinador.

Atenciosamente

Prof. Dr. Willibaldo Schmidell Netto

Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Ilmo. Sr.

Prof. Dr.

Membro da Comissão Examinadora

(caso necessário utilize folhas adicionais numeradas)

0) Aluno deve corrigir erros de concordância e grafia nas páginas 25, 27, 28, 3, 5, 6, 16, 22, 23, 25, 27, 35, 41, 62, 72, 79, 80. Acertar problemas de notação nas páginas 9 ($e \in E$), 11 ($C \subset \mathcal{P}(B)$), 12 (índice em U^N), 26 (substituir K por \mathbb{R}), 50 ($k-1$ ao invés de k), 62 (aproximações dos bairros e atividades), 66 e 68 (traçar G por Δ) e 69 ($\mathcal{P}(B)$ e aproximações do σ na família). Explicar o significado do termo "teorema unitário" no pag 13, e a figura de página 20 que tem um diagrama faltando. Quer também problemas de concordância no página 21, 14 e o problema 1, pag 11, figure 18


ERRATA

PROGRAMA: NÍVEL: MESTRADO: (X) DOUTORADO: ()
CANDIDATO: NELSON LUIZ DE PAULA MENEZES MONNERAT
TÍTULO DO TRABALHO: "ANÁLISE DA PROPRIEDADE DISTÂNCIA
SÍNCRONA NA REDE GENesys."
ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ REINALDO SILVA
DATA DA DEFESA: 22.05.1998



(caso necessário faça cópias deste impresso)

Assinatura do Examinador



As observações ao texto de ter utas listadas e se
considera na parte em anexo.

OBSERVAÇÕES:

ORIENTADOR: PROF.DR. JOSÉ REINALDO SILVA
DATA DA DEFESA: 22.05.1998

CANDIDATO: NELSON LUIZ DE PAULA MENEZES MONNERAT
TÍTULO DO TRABALHO: "ANÁLISE DA PROPRIEDADE DISTÂNCIA
SÍNCRONA NA REDE GENEYSYS."

PROGRAMA: NÍVEL: MESTRADO: (X)
DOCTORADO: ()



ERRATA

- pag. iv - Onde se lê "A minha..." leia-se "A minha..."
- pag ix - Quando dizemos "...em sistemas mais complexos os modelos *crecem e a capacidade de compreensão e visualização caem...*" queremos dizer que o número de elementos do modelo aumentam dificultando a análise e visualização do mesmo.
- Ao empregarmos o termo *dobramento* estamos nos referindo a diferentes níveis de abstração de nosso modelo do sistema.
- pag 2 - Onde se lê "...uma subrede conserva as mesmas propriedades." leia-se "...uma subrede conserva as mesmas propriedades estruturais."
- Onde se lê "PFS/MFG..." leia-se "PFS/MFG [Miyagi, 85]..."
- Onde se lê "A Rede GENeSys..." leia-se "A Rede GENeSys [Silva, J.R.96]..."
- pag 3 - Onde se lê "Este trabalho foi estruturamos..." leia-se "Este trabalho foi estruturado..."
- pag 4 - Onde se lê "...através de uma lugar implícito..." leia-se "...através de um lugar implícito..."
- pag 5 - Onde se lê "...dois exemplos realísticos..." leia-se "dois exemplos práticos..."
- pag 6 - Onde se lê "...algumas de suas propriedades e notação..." leia-se "...algumas de suas propriedades e a notação..."
- pag 9 - Onde se lê "...Dada uma rede (B, E; F)..." leia-se "...Dada uma rede (B, E; F) e $e \in E$..."
- pag 11 - Onde se lê "...Dado um sistema Elementar N..." leia-se "...Dado um sistema Elementar N e $C \subseteq \mathcal{P}(B)$..."
- pag 12 - Onde se lê " $U = \{u \in E \mid \exists c, c' \in C_N \text{ tal que } c \setminus u >^N c'\}$ " leia-se " $U^N = \{u \in E \mid \exists c, c' \in C_N \text{ tal que } c \setminus u >^N c'\}$ "
- pag 13 - Ao nos referirmos a "tempo unitário" estamos nos referindo aos atributos dos elementos da rede GENeSys, atributos estes que serão definidos no item 4.

pag 14 - Onde se lê "...tão pouco aparece a relação..." leia-se "...nem a relação..."

pag 16 - Onde se lê "Em um sistema produtor-consumidor..." leia-se "Neste sistema produtor-consumidor..."

"Neste sistema produtor-consumidor..."

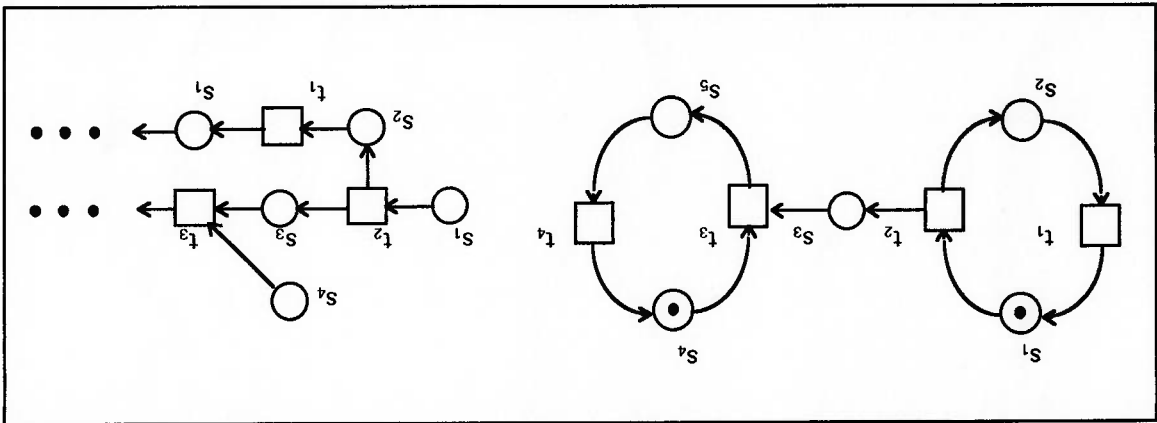
Onde se lê "...redes Condição/Evento para modela-lo." leia-se "...redes

Condição/Evento para modela-lo."

Onde se lê "Podemos então definir..." leia-se "[Reisig,85]Podemos então

definir..."

pag 20 - Na figura 3:



pag 22 - Ao nos referirmos a uma rede de ocorrência finita, não implica em que o nosso modelo seja simulado até uma condição de deadlock, mas sim que esta representa uma dada seqüência finita de disparos de nosso modelo.

pag 23 - Onde se lê "...uma medida da sincronização entre estes eventos:"

leia-se "...uma medida da sincronização entre estes conjuntos de

eventos."

pag 25 - A interpretação da distância síncrona como um lugar implícito

corresponde ao supremo do número de marcas neste lugar, para a

seqüência de disparos de nosso interesse.

pag 26 - Onde se lê "...sistemas Elementares especiais." leia-se "...redes

Elementares especiais."

Substituir o símbolo K na definição da sêxtupla $N = (S, T, F, K, W, M)$ por

SC

- pag 29 - Onde se lê "...podemos chegar a definição..." leia-se "...podemos chegar à definição..."

- pag 35 - Onde se lê "...foi inspirada no PFS/MFG..." leia-se "...foi inspirada no PFS/MFG [Miyagi,85]..."

- pag 41 - Onde se lê "...de nosso modelo:" leia-se "...de nosso modelo:"

- pag 48 - O dizermos que estaremos *ferindo* o modelo, queremos dizer que estaremos utilizando um elemento que não é suportado pelo modelo, uma vez que em redes C/E as condições possuem capacidade unitária.

- pag 50 - Na figura 7 alterar de "*k-1 eventos*" para "*k eventos*".

- No item 4.7 as figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14 são redes C/E.

- pag 59 - Ao dizermos *atraso* estamos nos referindo ao acréscimo de um ou

mais disparos, o que implicará no aumento do valor da *distância síncrona*.

- pag 62 - Onde se lê "- *assistir na manipulação* ..." leia-se "- *assistência na manipulação* ..."

- Nos exemplos apresentados no item 5 foi utilizada a notação:



representa uma atividade; e



representa um box.

- pag 66 e 68 - Substituir o símbolo G referente a matriz de gates por Δ .

- pag 72 - Substituir o título deste item para "*Sistema de Transporte de*

Material Pronto".

- Onde se lê "...consiste da necessidade de um veículo..." leia-se

"...consiste na análise da necessidade de avaliarmos quantos veículos..."

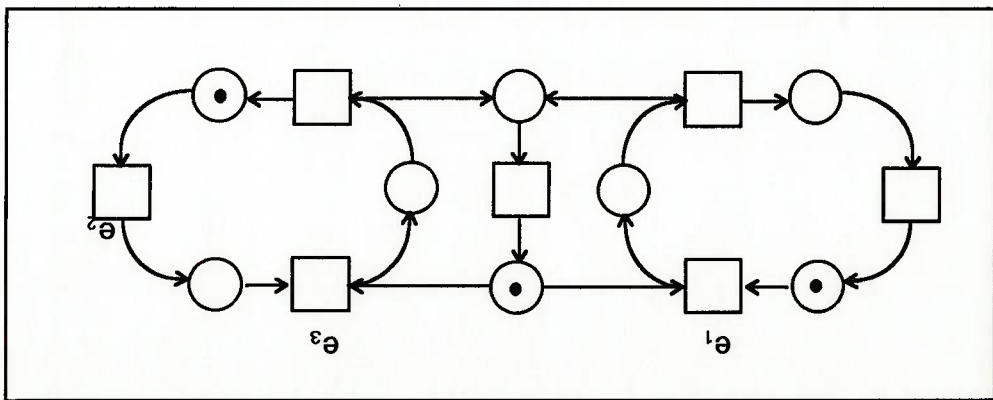
- pag 79 - Onde se lê "...Tpkyo Institute..." leia-se "...Tokyo Institute..."

- pag 80 - Onde se lê "...Intorduction Springer-Verlag..." leia-se

"...Intorduction Springer-Verlag..."

- Onde se lê "...Miyagi, Paulo E. ..." leia-se "...Miyagi, Paulo E. ..."

• Apêndice I pag III - Figura 18



• Notação pag VII - Onde se lê "!!!. P(B) denota o powerset de B." leia-se

"!!!. $\mathcal{P}(B)$ denota o powerset de B.".

Onde se lê " $\mathbb{N} \cup \{\omega\} \Rightarrow \forall n \in \mathbb{N}. n < \omega \in A \ m \in \mathbb{N} \cup \{\omega\}: m + \omega = \omega + m = \omega$;

$-m = \omega$." leia-se " $\mathbb{N} \cup \{\omega\} \Rightarrow \forall n \in \mathbb{N}. n < \omega \in A \ m \in \mathbb{N} \cup$

$\{\omega\}: m + \omega = \omega + m = \omega; \omega - m = \omega$."

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO 1

2. REDES ELEMENTARES 6

2.1 Definição 6

2.2 Redes Elementares 8

3. REDES C/(CONDIÇÃO/EVENTO) E L/(LUGAR/TRANSIÇÃO) 15

3.1 Redes C/E (Condição/Evento) 15

3.1.1 Conjuntos Parcialmente Ordenados 17

3.1.2 Redes de Ocorrência 19

3.1.3 Processos 22

3.1.4 Distância Síncrona 23

3.2 Redes Lugar/Transição 26

3.2.1 Rede de Ocorrência e Sequência de Disparo 28

3.2.2 Distância Síncrona 30

4. REDE GHENESYS 35

4.1 Super-Classe Box 36

4.2 Super-Classe Atividade 37

4.3 Definição da Rede GHENeSys 38

4.4 Rede de Ocorrência e Sequência de Disparo 40

4.5 Equação de Estado 41

4.6 Condição de Disparo.....43

4.6.1 Produto Direto.....43

4.6.2 Condição de Disparo.....44

4.6.3 Box Capacidade.....45

4.6.4 Atividade Composta.....46

4.7 Distância Sincrona.....47

4.7.1 Box Capacidade.....50

4.7.2 Box Montagem.....52

4.7.3 Box Desmontagem.....54

4.7.4 Atividade Composta.....55

4.7.5 Gates Externos.....55

4.8 Níveis de Abstração.....58

5. EXEMPLOS.....61

5.1 Robô Empregado em Células Quentes.....61

5.1.1 Propriedades.....69

5.1.2 Distância Sincrona.....70

5.2 AGV's Rima.....72

5.3 Propriedades.....75

6. CONCLUSÃO.....77

7. BIBLIOGRAFIA.....79

APÊNDICE I.....!

APÊNDICE II.....iv

NOTAÇÃO.....vii

Teoria de Conjuntos.....vii

Relações..... vii

Funções de Mapeamento viii

Ordem Parcial e Total viii

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de Rede de Rede de Elementar.....	7
Figura 2 - Modelo Produtor-Consumidor.....	15
Figura 3 - Grafo sequência de eventos.....	20
Figura 4 - <i>Slices</i>	22
Figura 5 - Representação Gráfica da Distância Síncrona.....	25
Figura 6 - Rede L/T.....	28
Figura 7 - Box_Capacidade.....	50
Figura 8 - Box_Capacidade e Distância Síncrona.....	52
Figura 9 - Box_Montagem.....	52
Figura 10 - Box_Montagem e Distância Síncrona.....	53
Figura 11 - Box_Desmontagem.....	54
Figura 12 - Box_Temporizado.....	55
Figura 13 - Gate Externo.....	56
Figura 14 - Gate Externo e Distância Síncrona.....	58
Figura 15 - Nivel Intermediário de Abstração.....	59
Figura 16 - Linha de Produção Rima.....	72
Figura 17 - Modelo do AGV da RIMA.....	74
Figura 18 - Confusão.....	!!!

RESUMO

As redes de Petri têm sido utilizadas na modelagem de sistemas de eventos discretos, porém em sistemas mais complexos os modelos crescem e a capacidade de compreensão e visualização caem, tornando muitas vezes inviável o seu emprego para análise. As Redes Estendidas aparecem como solução para sistemas complexos, sendo baseadas em dobramentos sobre a mesma estrutura da rede de Petri original. A Rede GHENeSys é uma rede de Petri estendida derivada do PFS/MFG (Mark Flow Graph) com a introdução de conceitos orientados a objetos onde são definidas duas super-classes: *box* e *atividade*. No presente trabalho definimos a propriedade Distância Síncrona para a rede GHENeSys e como seu valor é alterado devido às classes derivadas das super-classes *box* e *atividade*.

ABSTRACT

The Petri nets have been used to model discrete events systems, but in complex systems the number of elements in the graph is to big and it's almost impossible to analyze or take conclusions over it.

The Extended Nets are used as a way to solve this problem for complex systems.

The GENeSys Net is an extended Petri net derived from the PFS/MFG (Mark Flow Graph) introducing de concepts of objects, where are defined the two super-classes: *box e activity*.

In this work we'll define the property Synchronous Distance for GENeSys net and how its value is affected by the derived classes from the super-classes *box* and *activity*.

1. INTRODUÇÃO

As redes de Petri têm sido utilizadas na área de sistemas de eventos discretos para modelagem do hardware e software de sistemas de processamento de dados e sistemas de manufatura, particularmente nos estágios iniciais do projeto de um sistema [Miyagi,93]. Em estágios mais avançados o número de elementos e a complexidade do modelo crescem e a capacidade de compreensão e visualização caem, tornando muitas vezes inviável o seu emprego para análise.

Como alternativa foram apresentadas as redes estendidas e as redes de alto nível. As Redes Estendidas são baseadas em dobramentos sobre a mesma estrutura da rede de Petri original. Por exemplo, macro elementos podem representar subredes (uma rede cujos vértices são subredes), permitindo assim a representação hierárquica do sistema. Um problema que surge nesse caso é se as subredes representam uma extensão conservativa da rede original, com relação às propriedades estruturais principalmente, isto é, se a nova rede onde um

elemento dobrado é substituído por uma subrede conserva as mesmas propriedades.

O PFS/MFG desenvolvido a partir das redes Condção/Evento é uma abordagem hierárquica que visa, incluindo no modelo macro elementos, modelar sistemas de manufatura. Porém com a introdução destes novos elementos perde-se as características de grafo bipartido e com isso o formalismo associado às redes C/E, além dos problemas citados com relação ao dobramento e as propriedades das subredes.

A Rede GENEsys é uma rede de Petri estendida derivada do PFS/MFG (Mark Flow Graph) com a introdução de conceitos orientados a objetos onde são definidas duas super-classes: *box* e *atividade*. Na super-classes *box* são encapsulados operadores em objetos passivos, e na super-classes *atividade* são encapsulados processos nos objetos ativos. Também são definidas relações de fluxo denominadas *gates externos* que definem relações com elementos externos ao sistema modelado. Possuindo dois elementos recupera as características de grafo bipartido, como é apresentado em [Silva, J.R.96].

Em muitos modelos estamos interessados em verificar o

grau de dependência entre duas atividades, ou dois conjuntos de atividades, tais como condições de intertravamento e suas consequências (chaves de fim de curso e o estado do sistema quando são atingidas), ou o grau de sincronismo entre eles (sincronização em protocolos de comunicação). A *distância*

sincrona é uma medida do grau de dependência da ocorrência entre duas atividades, ou conjuntos de atividades, sendo portanto uma medida da sincronização entre eles e empregada para análise de problemas como os que acabamos de mencionar.

O objetivo deste trabalho é definir a propriedade Distância Sincrona para a rede GHENeSys, de maneira a possibilitar explorarmos esta ferramenta de análise, sem com isso perdemos as propriedades de hierarquia e encapsulamento da rede GHENeSys.

Este trabalho foi estruturamos da seguinte forma:

Capítulo 1 : É o presente capítulo, onde apresentamos a introdução do trabalho e como ele está estruturado.

Capítulo 2 : Neste capítulo será apresentada a definição e notação para redes Elementares e a base para a

definição de redes C/E (Condição/Evento) e L/T (Lugar/Transição)

, bem como a definição de algumas propriedades.

Capítulo 3: A partir das definições e notação do

capítulo 2, será apresentada a definição mais detalhada das redes C/E (Condição/Evento) e a definição da propriedade distância

síncrona para este tipo de grafo. Para as redes C/E a propriedade

distância síncrona será definida com base na rede de ocorrência

associada ao grafo, a partir desta definição será proposta uma

representação desta propriedade através de uma *lugar implícito*,

onde seriam acumuladas marca equivalentes ao valor da distância

síncrona entre os eventos de interesse.

Será apresentada a definição de redes L/T

(Lugar/Transição). A propriedade distância síncrona será definida

a partir do vetor de disparo do grafo. A representação no grafo

será a mesma, através de um lugar implícito.

Capítulo 4: Neste capítulo serão apresentadas as

bases para a definição da rede GHENeSys e seus elementos. Por

ser uma rede estendida com arcos com peso unitário, mas

possuindo elementos passivos que podem possuir capacidade

maior que um, definiremos a propriedade distância síncrona de

forma semelhante a apresentada para as redes C/E. Com isso não iremos perder as relações de fluxo a ela associadas e poderemos lançar mão da representação através de um lugar implícito sem ferir o modelo.

Capítulo 5: Serão apresentados dois exemplos realísticos com o emprego da rede GHENeSys e utilização da propriedade distância síncrona.

Capítulo 6: Conclusão.

2. REDES ELEMENTARES

Uma vez que a rede GHeNeSys tem características tanto de rede C/E quanto de rede L/T, para melhor colocarmos o problema introduziremos as redes Elementares, algumas de suas propriedades e notação que serão empregadas nas demais seções deste trabalho.

A partir da referência [Thigarajam,86], será definida a rede elementar, então serão acrescentados os conceitos de elementos representando estados e transições, marcação, habilitação de uma transição e fluxo de marcas.

2.1 Definição

Def.: Uma rede pode ser definida genericamente como uma tripla $N = (S, T, F)$ onde:

- i. S e T são conjuntos disjuntos de S-elementos e T-elementos, ou seja, $(S \cap T \neq \emptyset) \vee (S \neq \emptyset) \vee (T \neq \emptyset) \vee (S \cap T = \emptyset)$;
- ii. $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$ é uma relação binária, a relação

de fluxo da rede N .

Desta forma uma **rede** pode ser vista como um grafo orientado, bipartido, sem elementos isolados.

Na Figura 1 podemos ver os *S-elementos* (círculos), *T-elementos* (barras) e a relação de fluxo *F* (setas) entre eles.

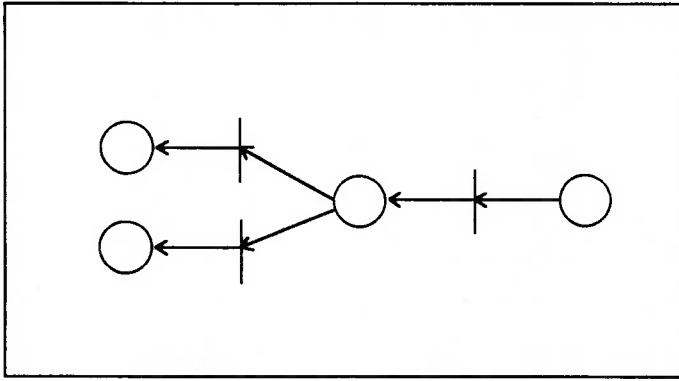


Figura 1 - Exemplo de Rede de Elementar

Para uma dada **rede** $N = (S, T, F)$ os elementos básicos *S*,

T, e *F* serão referenciados neste trabalho da seguinte forma S_N ,

T_N e F_N , representando o conjunto de *S*-elementos da rede *N*,

conjunto de *T*-elementos da rede *N* e a relação de fluxo da rede

N, respectivamente.

Em uma **rede** há uma relação de fluxo entre os diversos

elementos e podemos representar uma relação de fluxo "local"

através da notação de pré-conjuntos e pós-conjuntos segundo a

definição abaixo:

As redes podem ser empregadas para representar uma grande variedade de sistemas podendo ter diversas interpretações. Como uma interpretação genérica podemos ver os elementos como representantes dos *estados* do nosso sistema, e os T-elementos como as *transições* de estados, as relações de fluxo representarão a relação entre as *transições* e *estados*.

2.2 Redes Elementares

iii. N é dita **simples** sse $\forall x, y \in X_N : (x = y) \vee (x \neq y) \Rightarrow x = y$.

ii. $x \in X_N$ é dito **isolado** sse $x \cap x^* = \emptyset$;

(elementar)

i. N é dita **pura** sse $\forall x \in X_N \cdot x \cap x^* = \emptyset$; (ciclo

rede $N = (S, T, F)$:

Def.: Podemos definir as seguintes propriedades de uma

iii. $F^+ = \cup \{F^n \mid n \in \mathbb{N} - \{0\}\} \cup \{0\}$.

ii. $x^* = \{y \in Y_N \mid (x, y) \in F\}$ é o **pós-conjunto** de x ;

i. $x^* = \{y \in Y_N \mid (y, x) \in F\}$ é o **pré-conjunto** de x ;

e $y \in Y_N$, onde $S = X_N \cup Y_N$ e $X_N \cap Y_N = \emptyset$, então definimos:

Def.: Seja uma rede elementar $N = (S, T, F)$, e sejam $x \in X_N$

A partir do conceito de *transições* e *estados*, podemos introduzir o conceito de que diferentes estados podem ser alcançados através de passos de transições sucessivas.

Definimos quais estados são possíveis a partir de um dado estado inicial através dos conceitos de *pré-condições* e *pós-condições* de uma rede $N = (B, E, F)$.

Def.: Dada uma rede (B, E, F) e e o conjunto de *pré-condições* de e e e' o conjunto de *pós-condições* de e .

Representamos graficamente um estado (*case*) $c \in B$ colocando marcas em cada elemento pertencente a c .

Dizemos que as *pré-condições* de uma transição $e \in E$ estão *satisfeitas* se todos os S-elementos de e estão marcados.

Para determinarmos se uma dada transição pode ocorrer chegamos ao conceito de *habilitação*.

Def.: Seja uma rede $N = (B, E, F)$, dizemos que a transição $e \in E$ está *habilitada* para um dado estado $c \in B$ se todas as *pré-condições* de e são satisfeitas em c , e *nenhuma* das *pós-condições* são satisfeitas em c , ou seja, $e \subseteq c$ e $e' \cap c = \emptyset$.

Podemos agora introduzir o conceito de *fluxo de marcas*,

que representa o que irá acontecer com a rede após uma dada transição.

Def.: Dada uma rede $N = (B, E; F)$, seja $e \in E$ uma

transição *habilitada* para um dado estado $c \in B$, uma vez que a

transição e ocorra, as *pré-condições* e^* não mais estarão

satisfeitas e as *pós-condições* e' passarão a estar satisfeitas,

logo o novo estado da rede será $(c - e^* \cup e')$.

Def.: Dada uma rede $N = (B, E; F)$, dizemos que um

conjunto de transições $u \in E$ é *independente* para um dado

estado $c \in B$, e usaremos a notação $Ind(u)$, sse:

$$Ind(u) \Leftrightarrow \forall e_1, e_2 \in u: e_1 \neq e_2 \Rightarrow (e_1 \cup e^*) \cap (e_2 \cup e^*) = \emptyset$$

"Do conceito de transições *independentes* podemos

introduzir o conceito de *passo*", qual seja, dada uma rede $N =$

$(B, E; F)$ e sejam $u \subseteq E$ e $c \subseteq B$, então definimos:

Def.: u é um *passo* em c sse $Ind(u)$ e $u \subseteq c$ e $u^* \cap c = \emptyset$

Para denotarmos que u está habilitado em c será

empregada a notação $c|u >^N$, e o novo estado da rede será $c' =$

$(c - u^* \cup u')$, onde empregaremos a notação $c|u >^N c'$.

Def.: Dado um sistema elementar N definimos a relação:

$$\rightarrow^N \subset (C \times E \times C) \mid (c', u, c'') \in \rightarrow^N \text{ sse } c' \mid u >^N c''$$

Podemos agora introduzir os conceitos de *full case class*

(*fcc*), *forward case class* (*fwc*) e *backward case class* (*bwc*):

i. $c \mid >^N$ é o subconjunto de $\mathcal{Q}(B)$ gerado a partir de c

denominado *forward case class* (*fwc*) que satisfaz:

i.a. $c \in c \mid >^N$

i.b. se $c' \in c \mid >^N$ e $u \subseteq E$ e $c'' \in \mathcal{Q}(B)$ tal que $(c', u,$

$c'') \in \rightarrow^N$ então $c'' \in c \mid >^N$.

ii. $c \mid <^N$ é o subconjunto de $\mathcal{Q}(B)$ gerado a partir de c

denominado *backward case class* (*bwc*) que satisfaz:

i.a. $c \in c \mid <^N$

i.b. se $c' \in c \mid <^N$ e $u \subseteq E$ e $c'' \in \mathcal{Q}(B)$ tal que $(c', u,$

$c'') \in \rightarrow^N$ então $c'' \in c \mid <^N$.

iii. $c \mid >^N$ é o subconjunto de $\mathcal{Q}(B)$ gerado a partir de c

denominado *full case class* (*fcc*) que satisfaz:

i.a. $c \in c \mid >^N$

i.b. se $c' \in c \mid >^N$ e $u \subseteq E$ e $c'' \in \mathcal{Q}(B)$ tal que $(c', u,$

$c'') \in \rightarrow^N$ ou $(c'', u, c') \in \rightarrow^N$ então $c'' \in c \mid >^N$.

iv. $C \subseteq \mathcal{O}(B)$ é um *full case class* de N se existe $c \subseteq B$ tal

$$\text{que } C = [c]_N$$

Def.: A partir das definições apresentadas podemos definir

uma *rede Elementar* como uma quadrupla $N = (B, E; F, c_m)$, onde

$(B, E; F)$ é a estrutura da rede e $c_m \subseteq B$ é o estado inicial da rede.

Def.: Dada uma rede elementar $N = (B, E; F, c_m)$

definiremos C_N como o *conjunto de estados* de N tal que:

i. $c_m \in C_N$;

ii. $c \in C_N, u \subseteq E$ e $c' \subseteq B$ tal que $c[u >_N c' \Rightarrow c' \in C_N$.

Podemos também definir $C_N = c_m [>_N$, ou seja, C_N é o *fwc*

de c_m .

De maneira análoga definiremos o *conjunto de passos* U_N

de uma rede Elementar $N = (B, E; F, c_m)$ como o *conjunto de*

passos tal que:

$$U = \{u \in E \mid \exists c, c' \in C_N \text{ tal que } c[u >_N c'\}$$

Como podemos observar da definição de condição de

habilitação, para que uma dada transição $e \in E$ esteja *habilitada*

dependemos das *pré-condições e pós-condições*.

possíveis estados definidos, porém quando estamos em níveis mais abstratos de modelagem, com capacidades e tempos superiores, um comportamento semelhante aos sistemas L/T. Na referência [Reisig,86] é feita uma analogia semelhante entre sistemas C/E e L/T, porém nos sistemas L/T não existem representações como *atividades* e *box*, tão pouco aparece a relação de fluxo *gate externo*.

3. REDES C/E(CONDIÇÃO/EVENTO) E L/T(LUGAR/TRANSIÇÃO)

Neste capítulo apresentaremos algumas propriedades e a notação para redes C/E e L/T.

3.1 Redes C/E (Condição/Evento)

Existem sistemas onde nos interessa modelar as relações entre eventos e condições e os possíveis estados que fazem parte do modelo. Como exemplo deste tipo de sistema lançaremos mão do modelo produtor-consumidor apresentado na Figura 2.

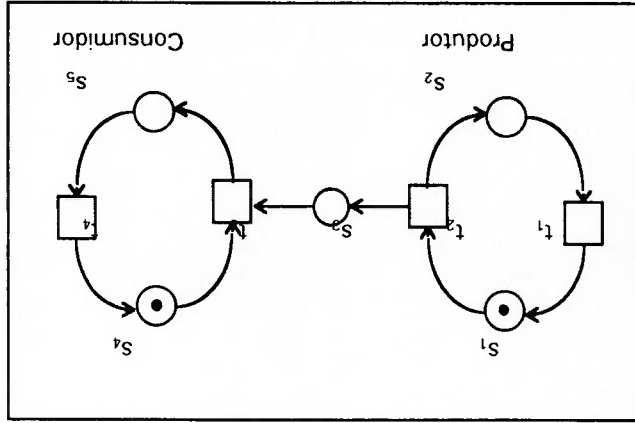


Figura 2 - Modelo Produtor-Consumidor

Em um sistema produtor-consumidor são produzidos elementos para consumo, sendo o "buffer", ou estoque, com capacidade unitária. Neste modelo não faz sentido possuímos um estado onde algum elemento produzido, armazenado em s_3 , não seja consumido. Necessitamos, portanto, para definição do sistema, não somente de sua estrutura e estado inicial, mas também o espaço de possíveis estados, para garantirmos o comportamento esperado. Para sistemas como este usamos as redes Condição/Evento para modelá-lo.

Para definirmos uma rede Condição/Evento, além da quadrupla que define uma rede elementar $N = (B, E; F, c_m)$, fazem parte da definição o conjunto de possíveis estados C e o conjunto de possíveis passos U , cujas definições já foram apresentadas na seção anterior.

Def.: Podemos então definir uma rede Condição Evento (C/E) como uma sêxtupla $N = (B, E, C, U; F, c_m)$ onde:

- i. B é o conjunto de condições e E é o conjunto de eventos tais que $(B \cap E = \emptyset) \wedge (B \neq \emptyset) \wedge (E \neq \emptyset)$;
- ii. C conjunto de possíveis estados do sistema (fcc);
- iii. U conjunto de possíveis passos do sistema;

A relação de similaridade em um conjunto A pode ser representada por um grafo não direcionado, onde A é o conjunto

- i. $\forall a, b \in B: a p b$;
- ii. $\forall a \in A: a \notin B \Rightarrow \exists b \in B: \neg (a p b)$.

similaridade p sse

Def.: Um subconjunto $B \subseteq A$ é chamado de região de

- i. $\forall a \in A: a p a$; (p é reflexivo)
- ii. $\forall a, b \in A: a p b \Rightarrow b p a$. (p é simétrico)

similaridade sse:

$p \subseteq A \times A$ em um conjunto A é chamada uma relação de **Def.:** Segundo a referência [Reisig,85], uma relação binária

3.1.1 Conjuntos Parcialmente Ordenados

distância síncrona.

No Apêndice I são apresentadas algumas propriedades de redes C/E, e nos próximos itens serão apresentadas definições de propriedades de interesse para chegarmos ao conceito de

- iv. F é a relação de fluxo; e
- v. c_m o estado inicial.

de nós e $K = \{(a,b) \mid a \neq b \vee a p b\}$ o conjunto de arcos,

[Reisig,85].

Def.: Seja um conjunto M , uma relação $p \subseteq M \times M$ é

chamada de *ordem parcial* sse $\forall a, b \in M$:

i. $\neg (a p a)$; (p é irreflexivo)

ii. $a p b \wedge b p c \Rightarrow a p c$. (p é transitiva)

Vale ressaltar que as relações acima implicam na

assimetria da relação, isto é, $a p b \Rightarrow \neg (b p a)$.

Segundo a notação apresentada na referência [Reisig,85],

utilizaremos o símbolo " $>$ " para a relação de similaridade p ,

onde para $(a > b) \Leftrightarrow (a < b)$. Numa relação de ordem total

teremos então $(a \leq b) \Leftrightarrow (a > b) \vee (a = b)$.

Def.: Um conjunto parcialmente ordenado finito pode ser

representado por um grafo onde um arco $a \rightarrow b$ é desenhado sse $(a$

$> b) \vee \exists c : (a < c < b)$.

Consideremos agora um conjunto parcialmente ordenado,

definimos a relação \bar{p} onde os elementos estão linearmente

ordenados, e a relação $\overline{\overline{p}}$ onde os elementos não estão

ordenados.

representados, explicitamente, quando os eventos ocorrem
 A referência [Goltz,85] apresenta um grafo onde são
 as condições são não-ramificadas.

resolvidos e determinados os caminhos alternativos, logo todas
 história do sistema. Na história do sistema os conflitos já foram
 representa a ordem entre os evento e por isso representa a
 representado através de uma rede C/E a *rede de ocorrência*
 de ocorrência dos eventos em um sistema. Para um sistema
 As *redes de ocorrência* são uma representação da ordem

3.1.2 Redes de Ocorrência

- ii. B é dito um *corte* sse B é uma região de \overline{co} .
- i. B é dito uma *linha* sse B é uma região de \overline{li} .

conceitos de *linha* e *corte*:

Def.: A partir dos conceitos acima podemos chegar aos

$$b) \vee (a = b).$$

ii. Seja a relação $\overline{co} \subseteq A \times A$ definido como $a \overline{co} b \Leftrightarrow \neg (a \overline{li} b)$

$$(b < a) \vee (a = b);$$

i. Seja a relação $\overline{li} \subseteq A \times A$ definido como $a \overline{li} b \Leftrightarrow (a < b) \vee$

Def.: Seja A um conjunto parcialmente ordenado:

ordenados segundo a relação "a é um pré-requisito causal para b", como pode ser visto no exemplo da Figura 3.

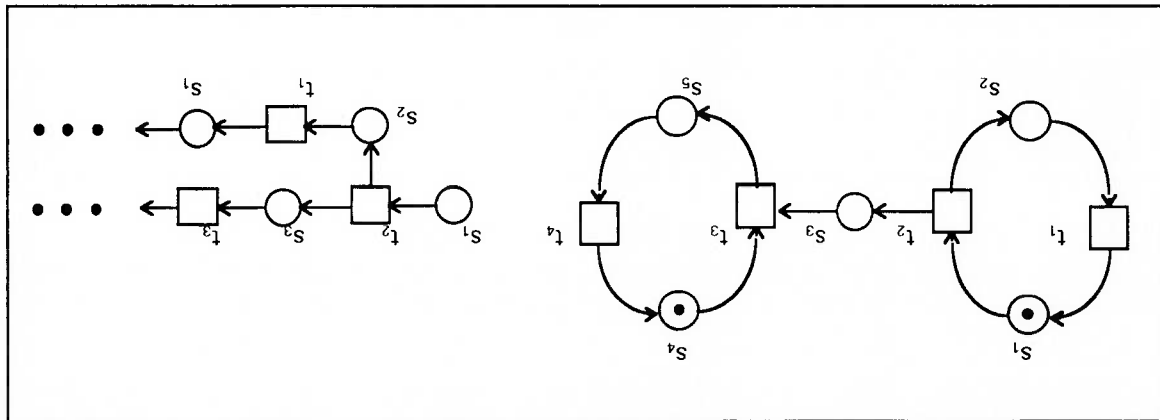


Figura 3 - Grafo seqüência de eventos

Neste grafo um dado T-elemento representa a ocorrência do evento representado por seu nome. Vários T-elementos com o mesmo nome representam diferentes ocorrências do mesmo evento.

De forma análoga, S-elementos representam os estados com seu nome satisfeitos antes da ocorrência de um dado evento, ou posterior a sua ocorrência.

Def.: Definimos então uma rede $K = (S^k, T^k, F^k)$ como uma rede de ocorrência sse:

$$i. \forall a, b \in K: a (F^k) b \Leftrightarrow \neg(b F^k a); (K \text{ é acíclica})$$

!! $A \ s \in S^k: |s| \leq 1 \ \vee \ |s'| \leq 1. \ (S\text{-elementos não ramificados})$

Na referência [Fernandez,86] é mostrado que as redes de ocorrência, sendo redes *acíclicas não ramificadas*, são uma representação de um conjunto parcialmente ordenado a partir de seus S-elementos.

Def.: A partir da definição de relação de ordem parcial e de sua representação gráfica temos então: $a < b \Leftrightarrow a F^+ b$.

A partir dos conceitos já apresentados podemos então definir o que seria uma *slice*.

Def.: Uma *slice* de uma rede de ocorrência K é um corte contendo somente S-elementos, ou seja, uma *slice* representa um subconjunto de S^k de S-elementos em concorrência.

Na Figura 4 temos um exemplo onde podemos ver uma rede K e algumas *slices*: D_1, D_2 e D_3 .

3.1.3 Processos

Em geral existem várias possibilidades para a sequência na qual os eventos irão ocorrer em uma rede C/E.

Def.: Definiremos uma dada sequência de *passos* como um

processo.

Dada uma rede C/E há diversas possibilidades de *processos* que não são representados diretamente pelo grafo e estados associados.

Def.: Seja K uma rede de ocorrência finita e seja Σ uma

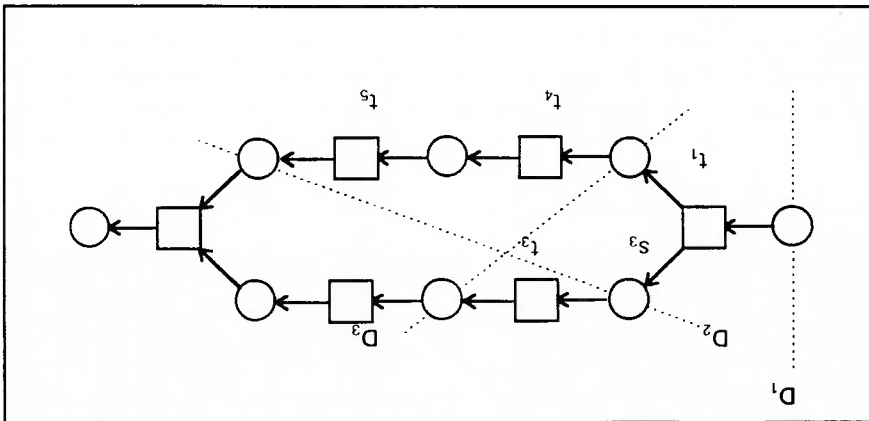
rede C/E livre de contato. Um mapeamento $p : K \rightarrow \Sigma$ é dito

processo de Σ se para cada *slice* D de K e cada $t \in T^k$:

i. $p \mid D$ é injetora $\vee p(D) \in C_\Sigma$;

ii. $p(t) = p^*d(t) \vee p(t) = p^*(t)$.

Figura 4 - Slices



3.1.4 Distância Síncrona

Uma importante propriedade dos sistemas é o grau de dependência entre a ocorrência de dois eventos, ou seja, em que grau um evento é dependente de outros.

Na Figura 3 é apresentada uma representação para o modelo produtor-consumidor onde podemos verificar que há uma dependência entre os eventos t_2 e t_3 devido ao fato da capacidade de s_3 ser unitária, um não pode ocorrer sem que o outro ocorra. O mesmo acontecendo com os eventos t_1 e t_2 , t_3 e t_4 . Já para os eventos t_4 e t_1 , a dependência é menor.

A *distância síncrona* é uma medida do grau de dependência da ocorrência entre dois conjuntos de eventos, sendo uma medida da sincronização entre estes eventos.

Segundo a referência [Reisig,85] chamaremos de *variância* entre dois eventos a diferença entre as respectivas frequências com que ocorrem em um dado *processo p*. Ao supremo desta *variância* corresponderá a *distância síncrona* entre estes dois eventos.

Def.: Seja $K = (S^k, T^k, F^k)$ uma rede de ocorrência e seja D um *slice* de K , definiremos:

$$D^+ = \bigcup \{t \subseteq T_k \mid t < D\} : e$$

$$D^- = \bigcup \{t \subseteq T_k \mid t > D\}$$

Def.: Seja $K = (S^k, T^k, F^k)$ uma rede de ocorrência, sejam

D_1, D_2 slices de K , e seja $M \subseteq T^k$ finito, então podemos definir a

relação μ como [Reisig,85]:

$$\mu(M, D_1, D_2) = |M \cap D_1^+ \cap D_2^-| - |M \cap D_1^- \cap D_2^+|$$

Seja Σ uma rede C/E livre de contato e π_Σ o conjunto de

todos os processos finitos de Σ .

Def.: Seja Σ uma rede C/E livre de contato e seja $p: K \rightarrow \Sigma$

$\in \pi_\Sigma$ e $E_1, E_2 \subseteq \Sigma$, então a **variância** de E_1 e E_2 em p é definida

como:

$$v(p, E_1, E_2) = \max \{ \mu(p^{-1}(E_1), D_1, D_2) - \mu(p^{-1}(E_2), D_1, D_2) \mid D_1, D_2 \in \mathcal{S}(K) \}$$

A **Distância Sincrona** de dois conjuntos de eventos pode

agora ser definida como o supremo da **variância** em todos os

processos finitos.

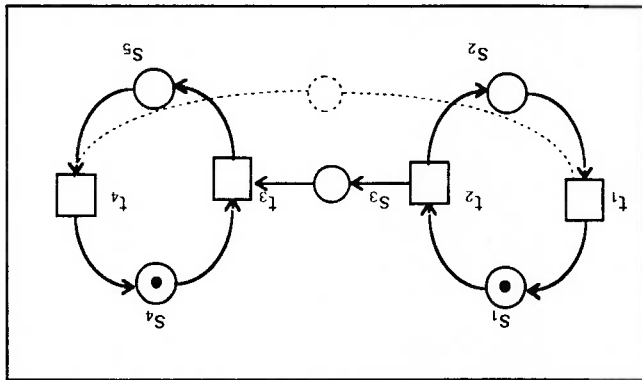
Def.: Seja Σ uma rede C/E e seja $E_1, E_2 \subseteq E_\Sigma$ finitos, então a

distância sincrona entre E_1 e E_2 é definida como:

$$d(E_1, E_2) = \sup \{ v(p, E_1, E_2) \mid p \in \pi_\Sigma \}$$

O significado do valor da *distância síncrona* para uma grafo na interpretação de seu comportamento é: caso seu valor seja 1 (um) temos dois conjuntos de eventos fortemente sincronizados, ou seja, a ocorrência de um é dependente do outro; para um valor finito teremos dois conjuntos de eventos sincronizados, porém a dependência não é forte, eles podem ocorrer em ordens diferentes com uma sincronia entre eles; para um valor infinito ou nulo verificamos que os eventos são independentes.

Figura 5 - Representação Gráfica da Distância Síncrona



visto na Figura 5.

Nas referências [Goltz,85] e [Reisig,85] é proposta a representação gráfica da *distância síncrona* entre E_1 e E_2 como um S-elemento adicional tal que $s = E_1$ e $s' = E_2$ como pode ser

3.2 Redes Lugar/Transição

Nesta seção trataremos de um tipo de rede onde cada S-

elemento terá capacidade maior que um, este elemento serão chamados de *lugares*, e os T-elementos serão denominados *transições*. Nas redes Lugar/Transição (L/T) também são atribuídos pesos aos arcos que compõe a relação de fluxo da rede.

Assumindo que as redes L/T são generalizações das redes

Elementares, todas as afirmações referentes a estas últimas não mais seriam aplicáveis para as redes L/T. Por esta razão [Reisig,86] propõe que estas sejam consideradas como abstrações de certas redes elementares, e desta forma seriam sistemas Elementares especiais.

Def.: Podemos definir uma rede L/T como uma sêxtupla N

$= (S, T; F, K, W, M, \rho)$ onde:

i. $(S, T; F)$ é a rede finita, onde os S-elementos são

chamados *lugares* e os T-elementos são chamados

transições;

ii. $K: S \rightarrow \mathbb{N} \cup \{\infty\}$, define a capacidade dos *lugares*;

- iii. $W: F \rightarrow \mathbb{N} - \{0\}$, define o peso de cada arco;
- iv. $M_0: S \rightarrow \mathbb{N} \cup \{\infty\}$, é a *marcação inicial*, respeitando a capacidade de cada lugar.

No Apêndice II são apresentadas algumas definições e

propriedades da rede L/T.

Def.: Seja uma rede L/T N podemos então definir:

- i. $M: S \rightarrow \mathbb{N} \cup \{\infty\}$ é dito uma *marcação de N* se para todo $s \in S$ $M(s) \leq K(s)$;
- ii. uma *transição* $t \in T_N$ está *M-habilitada* se $A \in t: M(s) \geq W_N(s, t)$ e $A \in t': M(s) \leq K_N(s) - W_N(s, t)$
- iii. uma *transição* $t \in T_N$ *M-habilitada* pode levar a um novo estado M' a partir de M tal que para todo $s \in S_N$:

$$M'(s) = \begin{cases} M(s) - W_N(s, t) & \text{sse } s \in t \setminus t' \\ M(s) + W_N(s, t) & \text{sse } s \in t' \setminus t \\ M(s) - W_N(s, t) + W_N(t, s) & \text{sse } s \in t \cap t' \end{cases}$$

$M(s)$ para os demais casos

Para a representação gráfica das redes L/T os arcos são

identificados com sua capacidade, bem como os lugares como é

apresentado na Figura 6.

t_n será dita uma **seqüência finita de disparo** de uma rede P/T N

Def.: Uma seqüência finita de transições $\sigma = t_1, t_2, t_3, \dots$ (*ramificados*)

ii. $A s \in S^k: |s| \leq 1 \vee |s^*| \leq 1$. (*S-elementos não*

i. $A a, b \in K: a (F^+)^k b \Leftrightarrow \neg (b (F^+)^k a)$; (*K é acíclica*)

sse:

Def.: Uma rede $K = (S^k, T^k, F^k)$ é uma *rede de ocorrência*

como:

anterior, podemos definir a *rede de ocorrência* para uma rede L/T

De maneira análoga ao que foi apresentado no item

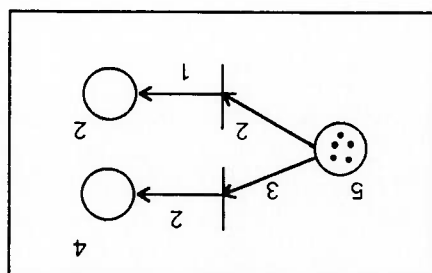
3.2.1 Rede de Ocorrência e Seqüência de Disparo

disparo da transição t usaremos a notação $M|t > M'$.

redes Elementares, se M' é atingível a partir de M através do

Mantendo a mesma notação apresentada na seção de

Figura 6 - Rede L/T



se existir uma sequência $M_0 t_1 M_1 t_2 M_2 t_3 \dots t_n M_n$ tal que A^i ,

$$1 \leq i \leq n : M_{i-1} t_i > M_i.$$

Dizemos então que M_n é *atingível* a partir de M_0 através da

$$\text{seqüência de disparo } \sigma : M_0 [\sigma > M_n .$$

A rede de ocorrência é a representação gráfica desta

seqüência de disparo e introduz uma relação de ordem entre as

transições, como foi apresentado para redes C/E.

Def.: Definiremos o *vetor de contagem de disparo* $\underline{\sigma}$ como

um vetor onde $\underline{\sigma}(t_j)$ é o número de vezes que a transição t_j foi

disparada em σ .

Def.: Na referência [Murata,89] a *matriz de incidência* de

uma rede é uma matriz $n \times m$, onde n é o número de transições e

m é o número de lugares, sendo definida como:

$$A = [a_{ij}] = a_{+ij} - a_{-ij}$$

onde a_{+ij} = $w(i,j)$ é o peso do arco da transição i até seu lugar de

saída j , e a_{-ij} = $w(j,i)$ é o peso do arco do lugar de entrada j até a

transição i .

A partir das definições da matriz de incidência e do vetor de

contagem de disparo podemos chegar a definição da equação de

A partir das referências [Murata,89] e [Silva,M.88], a propriedade *distância síncrona* para uma rede L/T continua sendo vista como uma medida da relação de dependência entre duas transições, de forma análoga ao que é definido para redes C/E,

da *variância* entre dois conjuntos de transições. onde portanto a *distância síncrona* é definida como o supremo assumir a mesma definição para esta propriedade para redes L/T, *síncrona* baseada em relações da rede de ocorrência, podemos sendo a definição apresentada no item anterior para *distância* definições de *slice* e *variância* aplicáveis a redes de ocorrência, e onde alguns elementos são dobrados, sendo pertinente as Sendo a rede L/T uma abstração de uma rede Elementar

3.2.2 Distância Síncrona

partir de M_0 .

necessária para que um dado estado de marcas M seja *atingível* a Da equação de estado podemos definir uma condição

$$M_n = M_0 + A^T \cdot \underline{\sigma}$$

[Silva,M.88], qual seja:

estado, como pode ser verificado nas referências [Murata,89] e

entretanto sua definição não mais se faz através da ocorrência entre os diversos elementos ativos (*eventos* nas redes C/E e *transições* nas rede L/T), sua definição se faz através da variação do número de vezes em que as transições são disparadas em uma dada sequência de disparo, a partir de um estado inicial.

Def.: Na referência [Murata,89] a propriedade *distância sincrona* é definida como: dada uma rede L/T N e uma marcação inicial M_0 a distância sincrona entre duas transições t_1 e t_2 é dada por:

$$d_{12} = \max | \sigma(t_1) - \sigma(t_2) |$$

Seja $\phi(M, \underline{\sigma})$ uma função real de M e $\underline{\sigma}$. Das definições já apresentadas sabemos que para $M^0 \sigma > M$ implica na seguinte afirmação $M = M_0 + A^T \underline{\sigma}$. A partir da equação de estado podemos afirmar que $\underline{\sigma} : \phi(M_0 + A^T \underline{\sigma}, \underline{\sigma}) = f(\underline{\sigma})$. Podemos, portanto, afirmar que qualquer função das variáveis da equação de estado pode ser expressa como uma função tendo $\underline{\sigma}$ como seu único argumento.

Def.: A partir do que foi apresentado, [Silva,M.88], definiremos como *funções de sincronia* as funções $f(\underline{\sigma})$.

Na referência [Silva,M.88] são apresentadas diversas definições e conclusões, das quais citaremos algumas que são necessárias para chegarmos a definição de *distância síncrona*.

Para uma rede L/T é de interesse o espaço de possíveis estados atingíveis a partir de um dado estado inicial M_0 . Este espaço pode ser obtido como o espaço de possíveis soluções para a equação de estado e será definido como $PR(N,M_0)$. Ao levarmos em consideração as condições de disparo chegaremos a um espaço mais restrito $R(N,M_0)$, onde $R(N,M_0) \subseteq PR(N,M_0)$.

Da referência [Silva,M.88], seja $L(N,M_0)$ o conjunto das possíveis seqüências de disparo σ em $M_0^>$, ou seja:

$$L(N,M_0) = \{ \sigma \mid M_0 \sigma > e \ M \in R(N,M_0) \}$$

Podemos então definir um subconjunto de $L(N,M_0)$ que satisfaca a alguma restrição \mathcal{R} como sendo $L_{\mathcal{R}}(N,M_0) = \{ \sigma \in L(N,M_0) \mid \sigma \text{ satisfaz a restrição } \mathcal{R} \}$.

Def.: Podemos definir [Silva,M.88] *lugar implícito* como sendo um *lugar* que uma vez introduzido em uma determinada rede L/T não altera o comportamento dinâmico desta rede.

Na referência [Silva,M.88] são demonstrados teoremas que mostram a condição necessária e suficiente para que haja

uma relação de sincronia limitada entre dois subconjuntos de *transições* T_i e T_j , para um dado par de vetores W_i e W_j , $\|W_i\| = T_i$, $\|W_j\| = T_j$ e sendo uma função de sincronia representada como $f(\underline{\sigma}) = W_{T_j} \cdot \underline{\sigma}$, como sendo, onde Y é uma possível sequência de disparo:

$$\min_{Y^T} M_0$$

$$\text{para } Y^T \cdot A^T \leq -W_{T_j}^{\#}$$

$$Y \geq 0$$

Para chegarmos a definição de *distância síncrona* a partir

das funções de sincronia, [Silva, M.88] se baseia na interpretação apresentada na referência [Goltz,85] para introduzir *lugares implícitos* Π , que não afetam o comportamento da rede.

Se Π é um lugar implícito, então ao adicionarmos este novo elemento Π a rede original, as sequências definidas por $L(N, M_0)$ serão preservadas.

Seja uma função linear $f(\underline{\sigma}) = (W_i - W_j)^T \cdot \underline{\sigma}$, se $W_i = \Pi$ e $W_j = \Pi'$, então esta função representará a variação do número de marcas neste lugar implícito Π .

Da definição apresentada na referência [Murata,89]

podemos ver que esta função de sincronia irá representar a

diferença do número de ocorrências das transições t_i e t_j . O

supremo desta função será o valor da *distância síncrona*.

Portanto podemos obter o valor da *distância síncrona*

como uma solução do problema de programação linear apresentado anteriormente acrescentado ao grafo os *lugares*

implícitos que sejam de nosso interesse.

Vemos portanto que as definições apresentadas em

[Silva,M.88] e [Murata,89] são equivalentes, porém nas

referências [Silva,M.88] e [Zanata,96] são apresentados

algoritmos para obtenção do valor da propriedade *distância*

síncrona baseado no método Simplex. Este algoritmo também

pode ser empregado para a obtenção do valor da propriedade

distância síncrona para redes C/E, ressaltando que uma vez

obtido um determinado valor, o mesmo tem que ser verificado

com respeito ao espaço de possíveis estados da rede C/E.

4. REDE GHENESYS

A rede estendida GHENESYS ("General Hierarchical Extended Net System") foi inspirada no PFS/MFG, com a introdução de conceitos orientados a objetos para a definição de seus elementos *box*, onde são encapsulados operadores em objetos passivos; *atividade*, onde são encapsulados processos nos objetos ativos; e os *gates externos* que definem relações de fluxo com elementos externos ao sistema, [Silva, J.R.96].

A rede GHENESYS possui duas super-classes a *classe box*, que representa os elementos passivos da rede, e a *classe atividade*, que representa os elementos ativos da rede. Outro elemento que faz parte da rede GHENESYS são os *gates externos* que são um tipo especial de relação de fluxo, porém somente com relação a elementos externos ao sistema que está sendo modelado. Os *gates externos* cumprem o importante papel de permitir ao modelo trocar informação com elementos externos ao sistema que afetam o seu desempenho/comportamento, mas cujos próprios estados não podem ser afetados pelo sistema modelado.

Como exemplo de sinais externos podemos citar o sinal de uma chave de emergência em um sistema de controle, cujo estado altera o comportamento do sistema, mas seu estado (da própria chave) não pode ser afetado pelo sistema.

4.1 Super-Classe Box

A *super-classe box* é caracterizada pelos atributos *box::<#nome,#marca>*, onde o atributo *#nome* identifica de forma única o objeto *box*, e o atributo *#marca* identifica o número de marcas no *box*.

De forma análoga aos macro elementos da rede PFS/MFG, a *super-classe box* possui duas subclasses *{box_temporizado, box_capacidade}*.

Já o *box_capacidade::<box|#capacidade>* possui um atributo a mais *#capacidade*, que define o número máximo de marcas que o objeto pode acumular, onde *#capacidade* ∈ IN.

Há uma subclasse para a classe *box_capacidade* denominada *subrede_estática::<box_capacidade|#relações, #subrede_pt>*.

#lista_paralela identifica um lista de atividades que podem ser *atividade_simples::<atividade|#lista_paralela>*, o atributo apresentada no capítulo de redes Elementares, então na de *atividades* independentes, e dada a definição de *passo* Seja *u* um conjunto de *atividades*, se *Ind(u)* é o conjunto *atividade_composta*.

Definimos duas subclasses *atividade_simples* e única o objeto *atividade*.
atividade::<#nome>, onde o atributo *#nome* identifica de forma A *super-classe atividade* é caracterizada pelos atributos

4.2 Super-Classe Atividade

estática associada a estes objetos.
O atributo *#subrede_pt* é um ponteiro para uma subrede *#relações = (N:1)*.
objeto da classe *subrede_estática* com o atributo
O macro elemento *box_montagem* será definido como um *subrede_estática* com o atributo *#relações = (1:N)*.
box_distribuição, será definido como um objeto da classe
O macro elemento definido na rede PFS/MFG,

disparadas em paralelo com esta atividade, o que corresponde a um **passo** e se este atributo estiver vazio teremos um *evento* convencional.

A subclasse *atividade_composta* :: *<atividade|&[2,atividade_simples], #tempo_estimado, #subrede_pt>*, onde os seus atributos são duas *atividade_simples*, chamadas, respectivamente, de *atividade de entrada* e *atividade de saída*, o *tempo_estimado* que armazena o tempo estimado do processo, representado pela *atividade_composta*, e um ponteiro, *subrede_pt*, para a subrede que modela este processo.

4.3 Definição da Rede GENESys

Podemos definir a rede GENESys, a partir das redes Elementares, como uma sêxtupla $N = (B, A, G, C_N, M_m)$ onde:

- i. B é o conjunto de *boxes* e A é o conjunto de *atividades*, tais que $(B \cap A = \emptyset) \wedge (B \neq \emptyset) \wedge (A \neq \emptyset)$;
- ii. G é o conjunto de relações de fluxo unitários entre os elementos contido em $(A \times B) \cup (B \times A)$,

estando incluídas as relações de fluxo *gates*

externos; e

iii. C_N é o conjunto de possíveis *estados* do sistema;

(*fcc*)

iv. M_m é o estado inicial do nosso sistema.

GENESys é uma rede de processos definidos como

estáticos ou dinâmicos. A ocorrência de um processo estático

afeta somente o fluxo de marcas, enquanto que os processos

dinâmicos afetam a ordem de ocorrência entre outros processos

dinâmicos.

Desse modo, fluxos FIFO, LIFO, multiplicidade na

disponibilidade de marcas (*box_capacity*), etc., podem ser

representados por processos estáticos, enquanto que

transformação, travamento, etc., são representados por processo

dinâmicos.

Cada um desses elementos pode afetar a definição

clássica de *distância sincrona* enunciada para redes C/E, como

discutiremos a seguir.

4.4 Rede de Ocorrência e Sequência de Disparo

Para um sistema representado através de uma rede

GHENeSys, a *rede de ocorrência* representa a ordem entre os

eventos e determina os caminhos alternativos para os conflitos.

Da mesma forma como fizemos para as rede C/E e L/T, podemos

definir uma rede de ocorrência associada à rede GHENeSys.

Def.: Uma rede $K = (S^k, T^k, F^k)$ é uma *rede de ocorrência*

sse:

i. $\forall a, b \in K: a (F^+)^k b \Leftrightarrow -b (F^+)^k a$; (K é acíclica)

ii. $\forall s \in S^k: |s| \leq 1 \vee |s'| \leq 1$. (*S-elementos não*

ramificados)

Assim como foi apresentado para sistemas L/T, definimos

uma *sequência finita de disparo* como:

Def.: Dada uma sequência de atividades $\sigma = a_1, a_2, a_3, \dots,$

a_n ela será dita uma *sequência finita de disparo* de uma rede

GHENeSys N sse existir uma sequência $M_0 a_1 M_1 a_2 M_2 a_3 \dots a_n$

M_n tal que $\forall i, 1 \leq i \leq n: M_{i-1} a_i > M_i$.

Com base em [Silva,J.R.96], será apresentada uma nova *matriz de incidência* incluindo as relações de fluxo *gates externos*, que serão relações de fluxo entre *pseudo-boxes* (condições externas), cujo estado não é alterado pelo sistema modelado, e *atividades*. Como as marcas, ou sua ausência, são persistentes nos *pseudo-boxes*, faz-se necessário a inclusão de

4.5 Equação de Estado

ao desdobramento das *atividades* e *boxes* em suas subredes. mesmo pode ser desdobrado em sub-processos, correspondentes *passos* de um determinado nível de abstração, uma vez que o **Def.:** Denominaremos de *hiper-processo* ao conjunto de modelo:

com um sistema hierárquico, para representação de nosso C/E. Entretanto, como nas redes GHENeSys estamos trabalhando um conjunto de *passos*, assim como fizemos para os sistemas Podemos agora introduzir o conceito de *processo* como

análoga, a notação $\sigma : M_0 \sigma >^N M_n$.

através da *seqüência de disparo* σ e usaremos, de maneira **Def.:** Dizemos então que M_n é *atingível* a partir de M_0

um termo na equação de estado que reponha (retire) as marcas retiradas (colocadas) pelas relações de fluxo *gates externos*, este termo será a matriz Δ .

A matriz Δ é da mesma ordem que a matriz de incidência do grafo incluindo as pseudo-condições, porém todas as colunas são nulas, a exceção das referentes às pseudo-condições, onde são iguais às colunas correspondentes da matriz de incidência A , ou seja:

Def.: $\Delta = [O \ I]$ onde I é a submatriz de pseudo-

condições.

Def.: A equação de estado modificada é então definida

como:

$$M^{k+1} = M^k + (A^T - \Delta^T)\sigma_k$$

onde A - Matriz de Incidência (incluindo as pseudo-condições);

Δ - Matriz de reposição (retirada) de marcas;

σ_k - Vetor de habilitação de disparo; e

M^k, M^{k+1} - Vetores de marcas

Além desta alteração na equação de estado, para que

possamos analisar cada nível hierárquico, em um processo de

design estruturado, sem nos atermos aos demais níveis, será

necessária a introdução de alterações na condição de disparo,

que incluem os elementos *box_capacidade* e *atividade_composta*. Estas alterações na condição de disparo foram propostas na referência [Silva,J.R.96] e serão apresentadas nos itens que se seguem.

4.6 Condição de Disparo

De forma a incluir nas condições de disparo o *box_capacidade* e a *atividade_composta*, sem termos a necessidade de abrirmos o nosso modelo com a rede equivalente associada a cada um, foram criadas normalizações [Silva,J.R.96].

4.6.1 Produto Direto

Def.: Definimos [Silva,J.R.96] o produto direto de dois vetores coluna **A** e **B** como um vetor coluna **C** da mesma ordem tal que:

$$A \otimes B = C = [c_j] = [a_j \cdot b_j]$$

Podemos facilmente mostrar que o produto direto é associativo, comutativo e distributivo uma vez que:

$$! . B \otimes A = [b_j \cdot a_j] = [a_j \cdot b_j] = A \otimes B$$

$$ii. C \otimes (B \otimes A) = [c_{ij} \cdot (a_{jj} \cdot b_{jj})] = [c_{ij} \cdot a_{jj} \cdot b_{jj}] = (C \otimes B) \otimes A$$

A

$$iii. C \otimes (B + A) = [c_{ij} \cdot (a_{jj} + b_{jj})] = [c_{ij} \cdot a_{jj} + c_{ij} \cdot b_{jj}] = C \otimes B + C \otimes A.$$

4.6.2 Condição de Disparo

Se observarmos cada linha v_k da matriz de incidência A

veremos que descreve as pré e pós-condições de uma *atividade*

e_k , podemos portanto dizer que dada uma rede pura, uma

atividade e_k em um dado estado de marcas M estará habilitado

se:

$$(M \otimes v_k = [e_k]) \Leftrightarrow \sigma |_k = 1$$

onde e_k é um vetor coluna onde as pré-condições de e_k são iguais

a 1 e os demais são iguais a 0, logo podemos obter e_k através

de v_k como:

$$2.e_k = v_k - v_k \otimes v_k$$

se substituirmos na condição de habilitação teremos:

$$2.M \otimes v_k = v_k - v_k \otimes v_k \Leftrightarrow$$

$$2.M \otimes v_k - v_k \otimes v_k + v_k \otimes v_k = 0 \Leftrightarrow$$

$$(2.M - 1 + v_k) \otimes v_k = 0$$

A partir do resultado acima temos uma condição necessária para atingibilidade. Resta-nos verificar quando as *atividades* habilitadas estão em *conflito* ou *contato*.

Suponha que tenhamos duas *atividades* e_k e e_j , a partir dos vetores coluna v_k e v_j e do seu produto direto, podemos identificar quando estarão em *conflito*, *contato* ou se são *independentes*.

I. $v_k \otimes v_j = 0 \Leftrightarrow (e_k \cup e_j) \cap (e_j \cup e_k) = \emptyset \Leftrightarrow$
Independentes;

II. $v_k \otimes v_j = 1 \ \forall j, b_j \in \{(e_k \cap e_j) \cup (e_j \cap e_k)\} \Leftrightarrow$
Conflito;

III. $v_k \otimes v_j = -1 \ \forall j, b_j \in \{(e_k \cap e_j) \cup (e_j \cap e_k)\} \Leftrightarrow$
Contato.

4.6.3 Box_Capacidade

Neste item apresentaremos a normalização que nos permitirá verificar a condição de habilitação de uma *atividade* que possua como pré ou pós-condição um *box_capacidade*, sem que com isso tenhamos que substituí-lo pela rede equivalente.

Seja $[C^k]$ o vetor de capacidade onde cada elemento c_j

representa a capacidade estática do elemento j .

A normalização [Silva, J.R.96] é definida como:

Seja M um vetor de marcas e e_r uma *atividade*,

então $\mu(M, e_r) = \overline{M}^{e_r}$, onde:

$$\left[\begin{array}{l} 1, \text{ se } [M \otimes e_r]^k > 0 \\ 0, \text{ se } [M \otimes e_r]^k < 0 \text{ e } [C^k] - [M \otimes e_r]^k > 0 \\ [M]^k \text{ para todos os outros casos} \end{array} \right] = \overline{M}^{e_r} \quad \left[\mu(M, e_r) \right]^k$$

Nesta normalização podemos observar que se o

box-capacidade é uma pré-condição da *atividade* e_r , então, se

possuir alguma marca a *atividade* estará habilitada e o vetor

normalizado possuirá um valor igual a 1 (redução a rede C/E).

Caso o *box-capacidade* seja uma pós-condição da

atividade e_r , então devemos verificar se a capacidade do box foi

alcançada, caso contrário o vetor normalizado possuirá valor 0.

4.6.4 Atividade Composta

Neste item apresentaremos a normalização que nos

permitirá verificar a condição de habilitação de uma *atividade*

composta, sem substituí-la pela rede equivalente.

Nesta normalização, para que uma *atividade* esteja

habilitada o *tempo* que esteve marcada deverá ser igual ou superior ao *tempo_estimado* correspondente no *vetor de tempo*.

Seja o vetor de marcas normalizado [Silva, J.R.96], o *vetor*

de tempo global e o *vetor local de tempo* $[T]^k$ onde cada elemento

é a contagem de tempo de simulação, número de passos de

simulação contendo marca já modularizado.

A segunda modularização é definida como:

$$\eta(\underline{M}_e, t_l) = \underline{M}_e', \text{ onde:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta(\underline{M}_e, t_l) = \underline{M}_e' \\ \text{para todos os outros casos incluindo} \\ \text{se } [t_l]^k \text{ finito e maior que zero e } [T]^k > [t_l]^k \\ \text{ou } [t_l]^k \text{ infinito ou } 0 \end{array} \right.$$

Nesta segunda modularização estaremos verificando se o

tempo de retenção da marca na *atividade* foi alcançado, caso

contrário a *atividade* é impedida de originar um fluxo, isto é feito

zerando o termo correspondente no vetor de habilitação.

4.7 Distância Sincrona

Para definirmos a *distância sincrona* para a rede GENEsys

vamos seguir a abordagem apresentada para as redes condição

evento, onde esta propriedade é definida com base no *processo* associado ao modelo.

Foi definido o conceito de *hiper-processo* para rede GENEsys e podemos, a partir da rede de ocorrência, definir as relação "!!" e "co", "corte" e "slice" de maneira análoga.

De maneira análoga ao apresentado para redes C/E, podemos chegar a uma definição de *distância sincrona* equivalente a das rede C/E, ou seja:

Def.: Dada uma rede GENEsys e sejam $E_1, E_2 \subseteq A$ os subconjunto finitos de *atividades* para as quais estamos interessados em obter a *distância sincrona*, então a *distância sincrona* entre E_1 e E_2 é definida como:

$$\sigma(E_1, E_2) = \sup \{ \nu(p, E_1, E_2) \mid p \in \pi \}$$

Quanto a interpretação gráfica para *distância sincrona*, ao utilizarmos um *lugar implícito*, como apresentado na referência [Reisig,85] e [Goltz,85], não mais estaremos ferindo a definição do grafo, como acontece para redes C/E. Podemos definir o *lugar implícito* como um *box capacidade* com capacidade finita e assim simularmos a rede e obter o valor da *distância sincrona*.

Podemos, de maneira análoga a apresentada para redes

L/T, definir a propriedade *distância síncrona* a partir do vetor *seqüência de disparo* e aplicarmos as definições de [Murata,89],

[Silva,M.88].

A metodologia apresentada por [Silva,M.88] pode ser aplicada, porém agora com a definição da equação de estado modificada, podemos calcular o valor da *distância síncrona* como solução do problema de programação linear apresentado na seção anterior, porém empregando a nova equação de estado.

Algumas conclusões interessantes podem ser obtidas para as subclasses *atividade_composta*, *box_capacidade*, *box_montagem* e *box_desmontagem*, adotando a hipótese que estaremos transformando a nossa rede em uma rede C/E substituindo todos os objetos por suas redes equivalentes.

4.7.1 Box_Capacidade

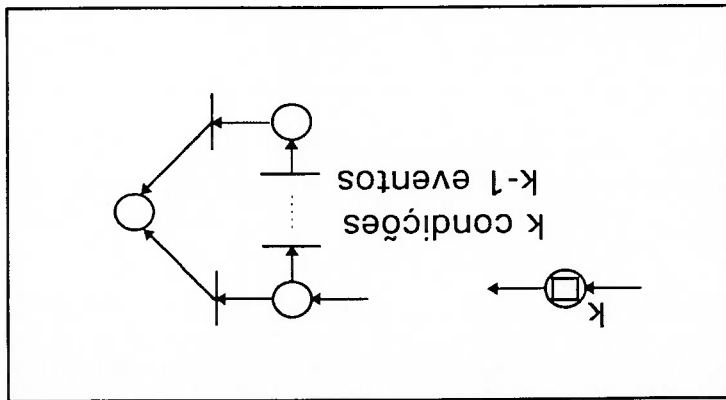


Figura 7 - Box_Capacidade

Quando colocamos um *box_capacidade* em nossa rede

este *box* pode ser substituído pela rede equivalente apresentada

na Figura 7, o que significa colocar um número de condições

igual a capacidade do *box*, o tempo mínimo de retenção de marca

também deve ser compatível com o fluxo das marcas na subrede.

Ao acrescentarmos este elemento estaremos

acrescentando k elementos à rede de ocorrência associada ao

nosso grafo em relação "://" com o evento inicial, como estarão

em relação "://" com E_1 , como estamos interessados em verificar

a *distância sincrona* com relação a E_2 , teremos k novos

elementos acrescentados a D_1^+ e D_2^- .

Pela definição de variância apresentada anteriormente,

como estamos colocando k elementos a mais como pré e pós

eventos a um dos *slices*, o valor da variância será alterada no máximo pelo valor k (a capacidade do *box*), visto que o valor de D_1^+ e D_2^- serão alterados.

Dada a definição de *variância*:

$$\mu(M, D_1^+, D_2^-) = |M \cap D_1^+ \cap D_2^-| - |M \cap D_1^- \cap D_2^+|$$

Podemos afirmar que o valor da *distância síncrona* será acrescido de no máximo k , uma vez que a *distância síncrona* é o supremo da variância, um *box* *capacidade* irá alterar no máximo em k o valor da variância, e com isso alteraremos em k o valor da *distância síncrona*.

Se pensarmos na representação da *distância síncrona*

através de um *lugar implícito*, como um S-elemento adicional cujas pré e pós-condições são as atividades que estamos interessados, é fácil verificar que a atividade e_1 poderá ser disparada k vezes antes que a atividade e_2 seja disparada, como

pode ser visto na Figura 8.

box_capacidade, podemos afirmar que o *box_montagem* irá

De maneira análoga ao que foi apresentado para o

equivalentes para que o próximo evento seja habilitado.

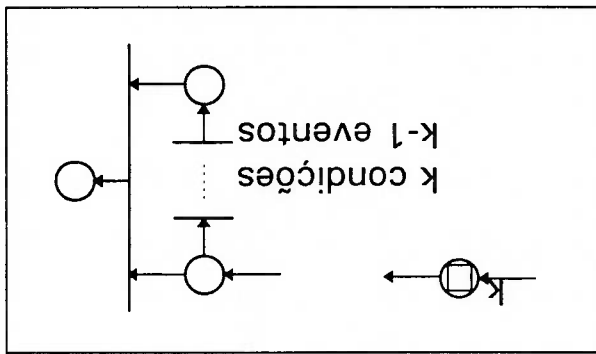
a variância, uma vez que será necessário disparar k eventos

porém neste caso ele irá acrescentar sempre um número igual a k

box_montagem é bastante semelhante a do *box_capacidade*,

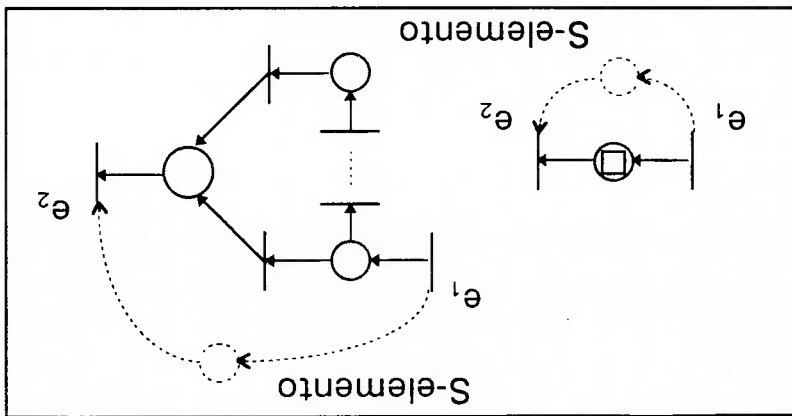
Como podemos ver na Figura 9, a representação do

Figura 9 - Box_Montagem



4.7.2 Box_Montagem

Figura 8 - Box_Capacidade e Distância Síncrona



aumentar o valor da *distância síncrona* de k , uma vez que, pela definição de *distância síncrona*, esta corresponde ao supremo da variância para a rede de ocorrência associada e, como um *box_montagem* acrescenta k elementos em relação "///", serão acrescentados k pré e pós eventos aos *slices* da rede de ocorrência. Com isso o valor da variância será acrescido de k .

Através da representação da *distância síncrona* da Figura

10 fica fácil percebermos o que foi apresentado.

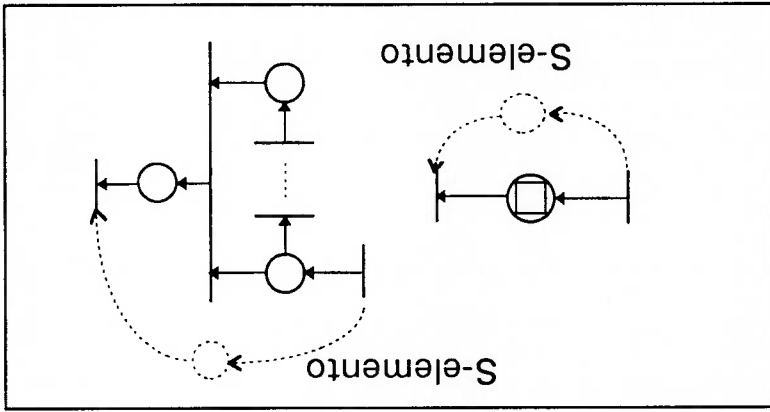


Figura 10 - Box_Montagem e Distância Síncrona

4.7.3 Box_Desmontagem

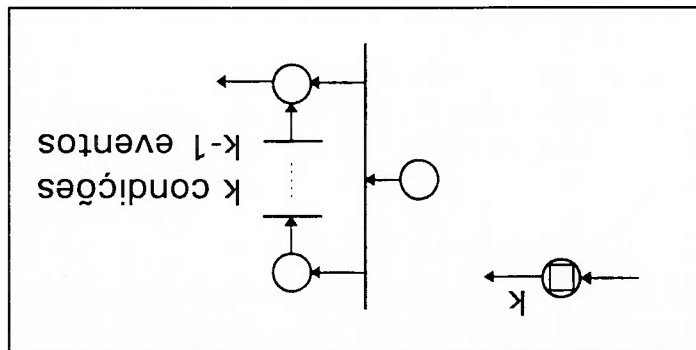


Figura 11 - Box_Desmontagem

Como podemos ver na Figura 11, a representação do *box_desmontagem* é bastante semelhante a do *box_montagem*, porém neste caso ele irá acrescentar sempre um número igual a k a variância, uma vez que será necessário disparar k eventos equivalentes para que o próximo evento seja habilitado.

De maneira análoga ao que foi apresentado para o *box_montagem*, podemos afirmar que o *box_desmontagem* irá aumentar o valor da *distância sincrona* de k , uma vez que, pela definição de *distância sincrona*, esta corresponde ao supremo da variância para a rede de ocorrência associada e, como um *box_desmontagem* acrescenta k elementos em relação "!", serão acrescidos k pré e pós eventos aos *slices* da rede de ocorrência. Com isso o valor da variância será acrescido de k .

4.7.4 Atividade Composta

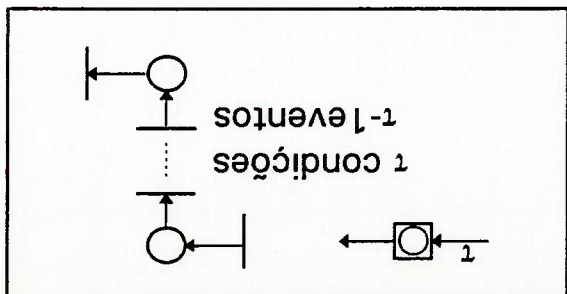


Figura 12 - Box_Temporizado

A *atividade_composta* representa uma atraso de τ para que uma dada *atividade* posterior possa ser habilitada, seu comportamento pode ser substituído pela subrede da Figura 12.

O elemento ativo contribui para a distância síncrona com o valor da distância síncrona entre os eventos de entrada e saída, que deve coincidir com o tempo (discreto) estimado τ .

Na Figura 12 vemos que, de maneira análoga ao que foi apresentado para o *box_montagem*, serão acrescentados τ elementos em relação "!" na rede de ocorrência e portanto poderemos verificar que a *distância síncrona* será acrescida de τ .

4.7.5 Gates Externos

Para a rede GHENeSys [Silva,J.R.96] só existem gates externos.

Baseada na variação do estado do pseudo-box, os *gates*

externos podem ser representados como:

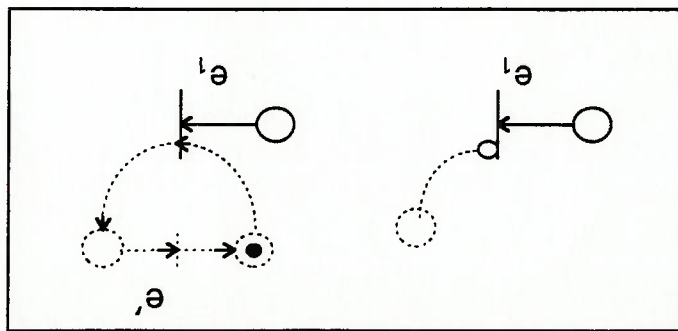


Figura 13 - Gate Externo

Pela Figura 13 acima podemos ver que a presença de uma marca na condição externa ao grato irá inibir a ocorrência da atividade e_1 .

A rede de ocorrência associada ao grato que possui um *gate externo*, caso esteja habilitando a atividade, será acrescentado um elemento na rede de ocorrência referente ao disparo da atividade e' .

Podemos verificar que esta nova atividade será *concorrente*, logo em uma relação de similaridade co , podendo fazer parte do *slice* que contem a atividade e_1 , pela definição de *slice*.

De maneira análoga podemos fazer a mesma afirmação quanto ao segundo *slice* de nosso interesse.

Dada a relação que mede a diferença entre *slices*:

$$\mu(M, D_1, D_2) = |M \cap D_1^+ \cap D_2^-| - |M \cap D_1^- \cap D_2^+|$$

O valor de $\mu(M, D_1, D_2)$ permanecerá constante, uma vez

que este novo elemento não irá alterar o valor da interseção entre

M, D_1 e D_2 , pois não pertencerá nem a D_1 nem a D_2 .

Como a *Distância Sincrona* é o supremo da variância entre

todos os possíveis processos e como as afirmativas anteriores

são válidas para qualquer processo, podemos concluir que o valor

da *Distância Sincrona* não é alterado pela presença de um "gate"

externo, quando este estiver habilitando a atividade conectada a

este *gate*.

Se, entretanto, este *gate* estiver inibindo a ocorrência da

atividade ao qual está associada, como o estado da *atividade*

externa não é alterado pelo sistema que estamos modelando,

podemos concluir que o valor da *distância sincrona*, neste caso,

será infinito, pois a rede de ocorrência terá o ramo associado a

esta *atividade* paralisada, ao passo que poderão ocorrer infinitas

outras *atividades* no ramo associado ao outro *case*.

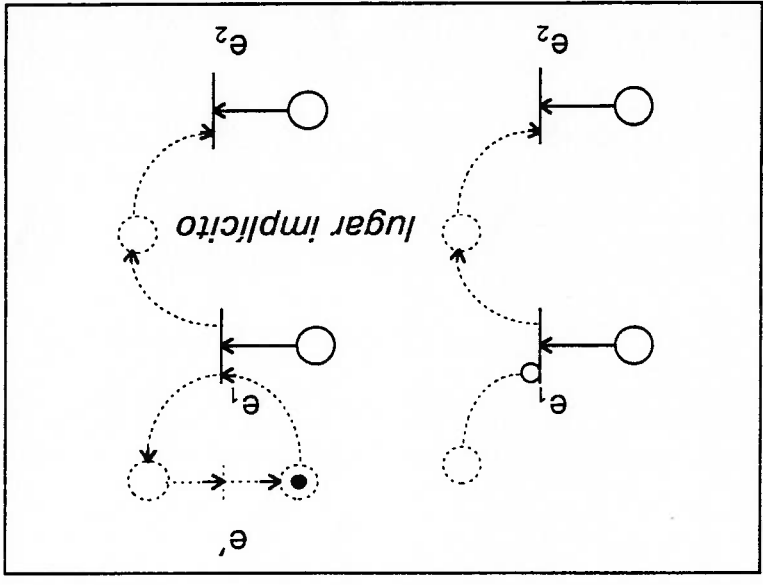
Se observarmos a representação gráfica da *distância*

sincrona como um *lugar implícito* na Figura 14, cujas pré e pós-

No item anterior fizemos uma avaliação de quanto o valor da propriedade *distância_sincrona* será afetado pela presença das classe *box_capacidade*, *box_montagem*, *box_desmontagem* e *atividade_composta*, para tanto adotamos a hipótese de que

4.8 Níveis de Abstração

Figura 14 - Gate Externo e Distância Sincrona



condições são os *case* que desejamos medir a *distância_sincrona*, veremos que a atividade acrescentada *e'* pela presença do "gate" não irá alterar a quantidade de marcas do *lugar implicito*, caso a atividade *e1* esteja habilitada, porém para o caso em que tal atividade está inibido o número de marcas no lugar *implicito*, poderá ser alterado indefinidamente, uma vez que o estado do *gate* não é alterado pelo nosso sistema.

estaremos transformando a nossa rede em uma rede C/E, substituindo todos os objetos por suas redes equivalentes. Entretanto nem sempre é fácil fazermos este tipo de substituição, seria interessante que pudéssemos misturar, em níveis intermediários, novos objetos, não transformando completamente a rede em uma rede C/E. Para estes casos coexistiriam as subredes e as classes já mencionadas.

Como não mais estaríamos falando em uma rede C/E, para as redes equivalentes aos elementos passivos, teríamos que introduzir no mínimo uma *atividade*, o que implicaria em no mínimo um atraso, uma vez que passaríamos a ter situações de contato devido a presença de marcas anteriores e a necessidade de esvaziar a condição de entrada (Figura 15).

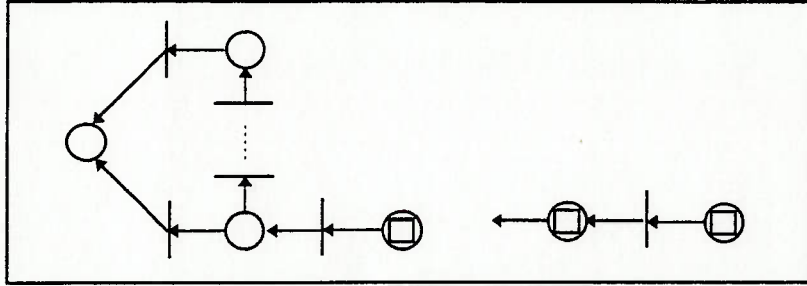


Figura 15 - Nível Intermediário de Abstração

Vemos portanto que, além do atraso referente à capacidade do objeto, teremos um atraso referente ao esvaziamento da condição de entrada.

A partir da conclusão acima teremos um erro entre o valor da propriedade *distância sincrona* nos diferentes níveis de abstração, para os elementos passivos da rede GENEsys. Entretanto, se não substituirmos os elementos passivos por subredes não introduziremos novas atividades e com isso o valor da *distância sincrona* será obtido de forma análoga a apresentada anteriormente, para o caso de trabalharmos com uma rede C/E derivada, devidos às normalizações e condições de disparo já apresentadas.

Para os elementos ativos, *atividade_composta*, o número de eventos e condições é exatamente o número de atrasos, incluídos os atrasos de entrada. Vemos portanto que não teremos erro entre os níveis de abstração.

Concluímos por fim que, para manter a conservatividade da propriedade *distância sincrona* entre os diversos níveis de abstração, teremos que suprimir as subredes associadas a elementos passivos e nos ater exclusivamente a definição a partir da rede de Ocorrência.

5. EXEMPLOS

5.1 Robô Empregado em Células Quentes

A aplicação de elementos robóticos tem se mostrado como

uma alternativa para a manipulação de materiais em ambientes agressivos ao homem, porém um grande número de aplicações

robóticas tem se limitado a manipuladores telecomandados.

Particularmente em laboratórios de materiais irradiados, células

quentes, etc., tem-se empregado manipuladores para auxiliar

tarefas de metrologia e análise de materiais.

As aplicações típicas de robôs na área nuclear são robôs

móveis e manipuladores.

- Robôs Móveis - empregados principalmente para:

- desmontagem de armas nucleares;

- restauração de ambientes e manipulação de

rejeitos;

- operação em plantas nucleares e outras facilidades;

- atividades de limpeza;

- assistir na manipulação de materiais tóxicos e radioativos em acidentes.

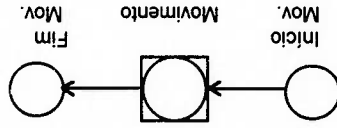
- Manipuladores - empregados principalmente para:

- metrologia de materiais pós-irradiados;
- aplicações na área espacial.

O exemplo que iremos modelar é um manipulador de 3 graus de liberdade a ser empregado para a metrologia de materiais pós-irradiados, para a verificação de fenômenos tais como variação de densidade, inchamento, liberação de gases de fissão, etc.

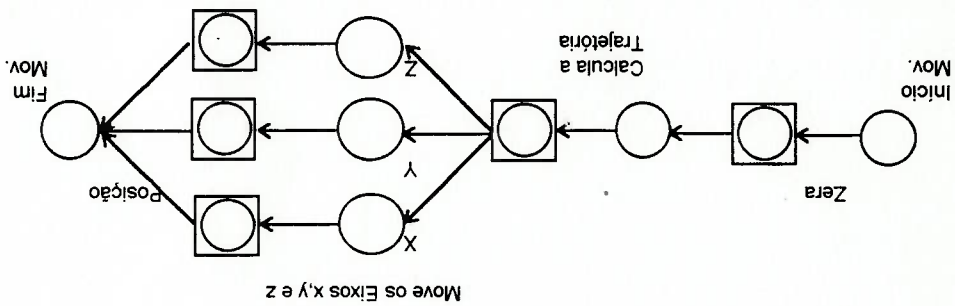
O modelo será elaborado segundo a metodologia da referência [Miyagi,94] em diversos níveis de abstração, possibilitando visualizarmos os recursos que a rede GENeSys apresenta para trabalharmos com sistemas com grau de complexidade superior ao deste exemplo.

- Modelo mais abstrato



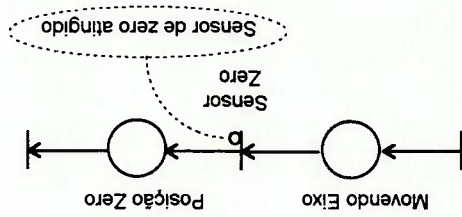
- Movimento

Na figura abaixo é modelado o movimento dos eixos, a busca da referência do sistema (Inicia Mov., Zera), cálculo dos deslocamentos em cada eixo (Calcula a Trajetória) e o movimento dos eixo independentemente.



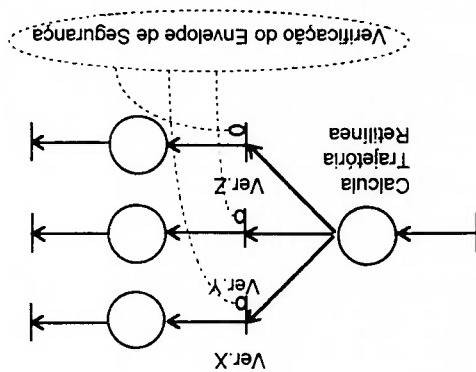
- Zera

O modelo abaixo representa a busca pelas referências de cada eixo, o que fisicamente correspondem a um sensor indutivo, como seu estado não é afetado pelo modelo "Zera" ele aparece como um sinal externo.



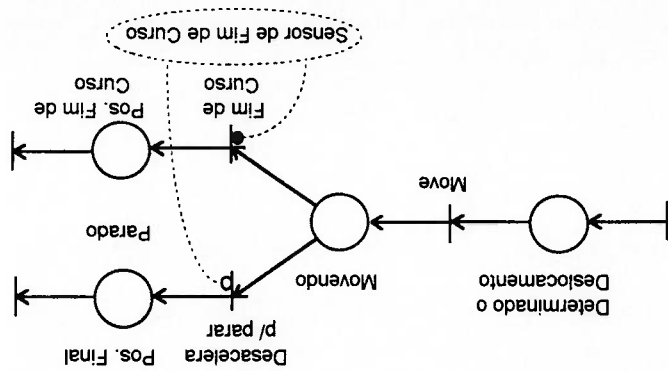
• Calcula a Trajetória

Neste modelo são calculados os deslocamentos em cada eixo e feita a verificação do envelope de segurança. Como os parâmetros do envelope não podem ser alterados pelo sistema, este é modelado como um pseudo-box.

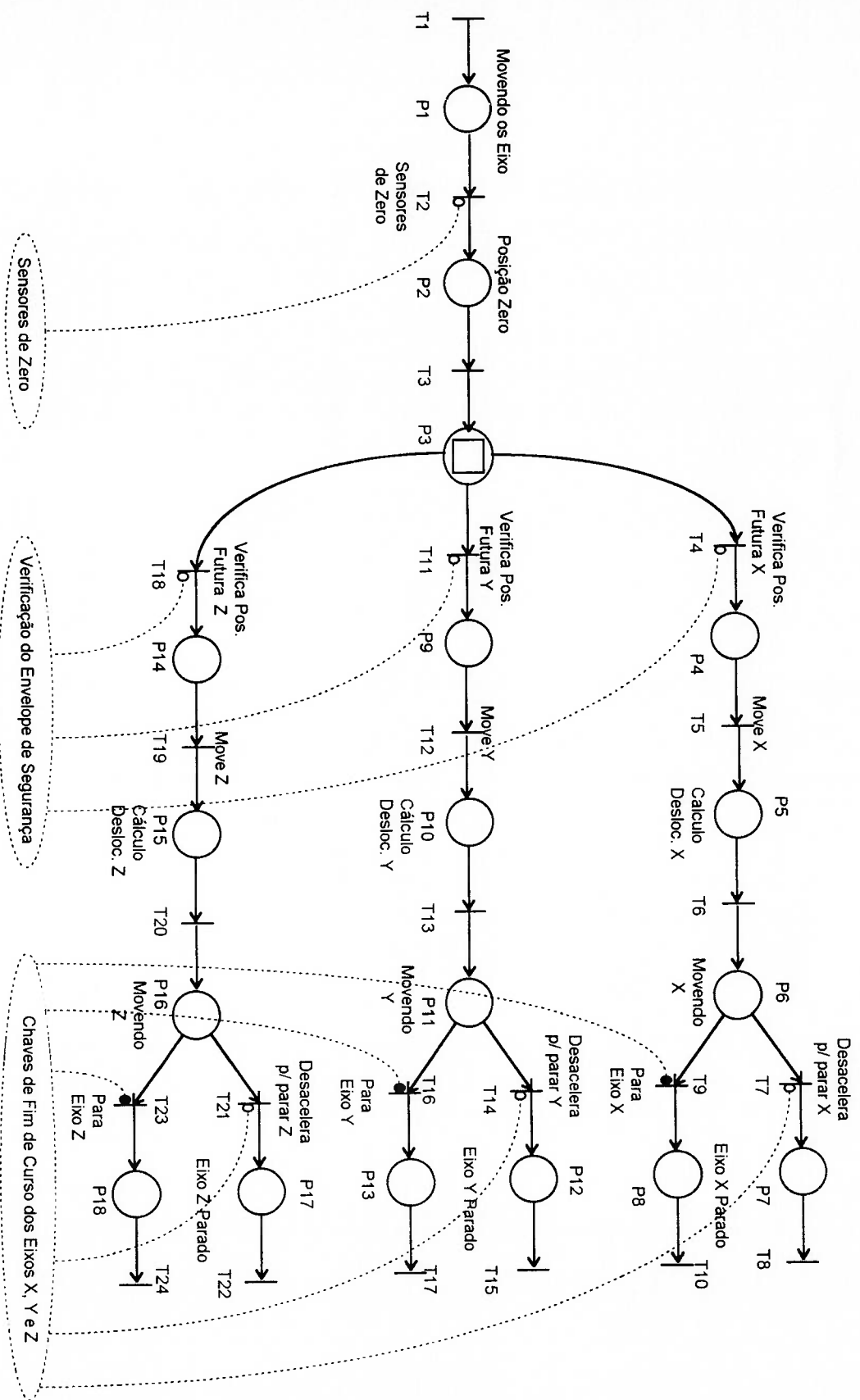


• Move o Eixo

Uma vez determinados os deslocamentos, o robô irá executar-los em cada eixo. Estes deslocamentos são modelados pela rede abaixo, onde temos como sinal externo a chave de fim de curso, que é um dispositivo de segurança do robô.



• Rede de Movimentação do Robô



A partir do que foi apresentado no capítulo referente a

rede GHENeSys, temos a equação de estado modificada:

$$M_{i+1} = M_i + A^T \sigma_i - G^T \sigma_i$$

Onde:

M - vetor de estado (marcas);

A - a matriz de incidência do grafo;

G - a matriz de gates; e

σ - vetor de disparo.

Para o grafo Rede de Movimentação do Robô as matrizes

de incidência e de gates são apresentadas a seguir.

Para este exemplo não abrimos todas as subredes que o compõe, por exemplo não modelamos o cálculo da trajetória nem a verificação do envelope de segurança, por acharmos que para avaliarmos a rede GHENeSys e algumas de suas propriedades, em particular a distância síncrona, estes níveis de abstração são suficientes.

Neste exemplo também podemos verificar a existência de gates externos em níveis inferiores de abstração ligando uma subrede a outra. Esta ferramenta permite avaliarmos nosso sistema como diversos sub-sistemas independentes, onde as interfaces são representados por gates externos, o que também é bastante útil para uma abordagem *top down*.

5.1.1 Propriedades

[Reisig,85] apresenta a definição de "facts" para redes C/E, que são T-invariantes e portanto podem representar condições sempre satisfeitas em um modelo.

Em [Song,97] a verificação de invariantes para a rede GHENeSys é apresentada, e para este nosso exemplo seria

Para os conjuntos de atividades {T7; T5} (Desacelera e Move eixo X) e {T9; T5} (Para e Move o eixo X). A presença do gate externo *Chaves de fim de curso* irá alterar o valor da

sistema cartesiano. dependência entre estas atividades, como é esperado de um obtivemos o valor infinito, ou seja, não há relação de para as atividades T5, T12 e T19 (Move eixos X, Y e Z) e Para este exemplo verificamos a *distância síncrona*

5.1.2 Distância Síncrona

eixo do manipulador. corresponde a ocorrência ou não de erro de posicionamento do existência ou não de marca na condição inicial, o que referentes às condições de erros serão mortos em função da Vemos que não há *deadlock*, sendo o grafo safe. Os boxes condição de intertravamento, como era esperado. [Monnerat93], foi verificado que há um "fact" associado a esta Empregando a ferramenta desenvolvida com base em intertravamento, ou seja, às chaves de fim de curso. interessante que pudéssemos associar um "fact" às condições de

distância sincrona. Para o caso da condição externa habilitada, para {T9; T5} o valor será 1 indicando forte dependência e infinito para {T7; T5}, quando desabilitada esta situação se inverte. Este é exatamente o comportamento esperado, ou seja, quando a chave é atingida o eixo deve para imediatamente impedindo que algo seja danificado, em caso contrário o movimento deve ser desacelerado sem trancos.

Este nosso é exemplo é bastante simples e não seria necessária a simulação para obtermos os valores acima mencionados, porém é bastante elucidativo quanto ao papel de um gate externo como ferramenta para modelagem em diversos níveis de abstração, e sua formalização, que influirá no comportamento do modelo e na propriedade *distância sincrona*.

5.2 AGV's Rima

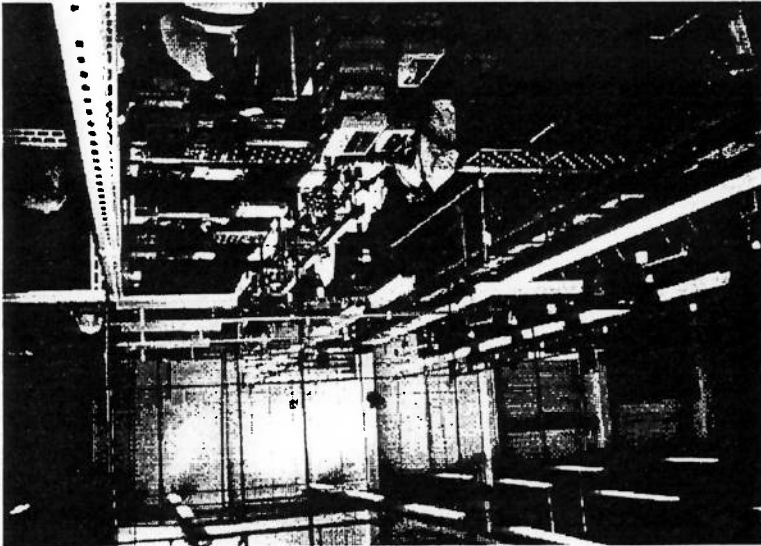


Figura 16 - Linha de Produção Rima

Da referência [Monnerat,93], este problema consiste da

necessidade de um veículo para transporte das impressoras

prontas da saída da linha, após o controle de qualidade, até o

setor onde seriam embaladas.

Como hipóteses para o problema temos:

i. o balanceamento da linha é de 1min, o que leva a

produção de uma impressora a cada 8 min;

ii. o veículo deverá levar 8 bergos com uma impressora

cada por vez;

iii. o veículo terá uma autonomia de 4hs contínuas;

- percurso ida ou volta - 2min
- descarga do agv - 2min
- carga do agv - 2min

da Figura 17, onde foram atribuídos tempos para as atividades:

A partir das especificações acima foi elaborado o modelo

também é igual.

veículo, sendo suposto que o tempo de percurso parte do mesmo percurso para carga e descarga do

x. para ir até o local de recarga da bateria é utilizado

deles manobrar;

possui espaço suficiente para dois carros, e para que um

ix. os locais onde é feita a carga e a descarga do carro

viii. apenas um veículo pode fazer o percurso por vez;

1,5m;

vii. percurso com 50m com duas curvas de 90º e raio de

média de 300 impressoras/dia;

vi. produção diária máxima de 480 impressoras, produção

v. o veículo possuirá uma velocidade máxima de 0,5m/s

recarga;

iv. o veículo necessitará do dobro do tempo de uso para

Os períodos para carga ou descarga poderiam ser menores, porém para atender às especificações foram adotados estes valores. Quanto ao tempo de percurso, para a velocidade máxima foi obtido um intervalo de 1,6min que foi aproximado para 2 conservativamente.

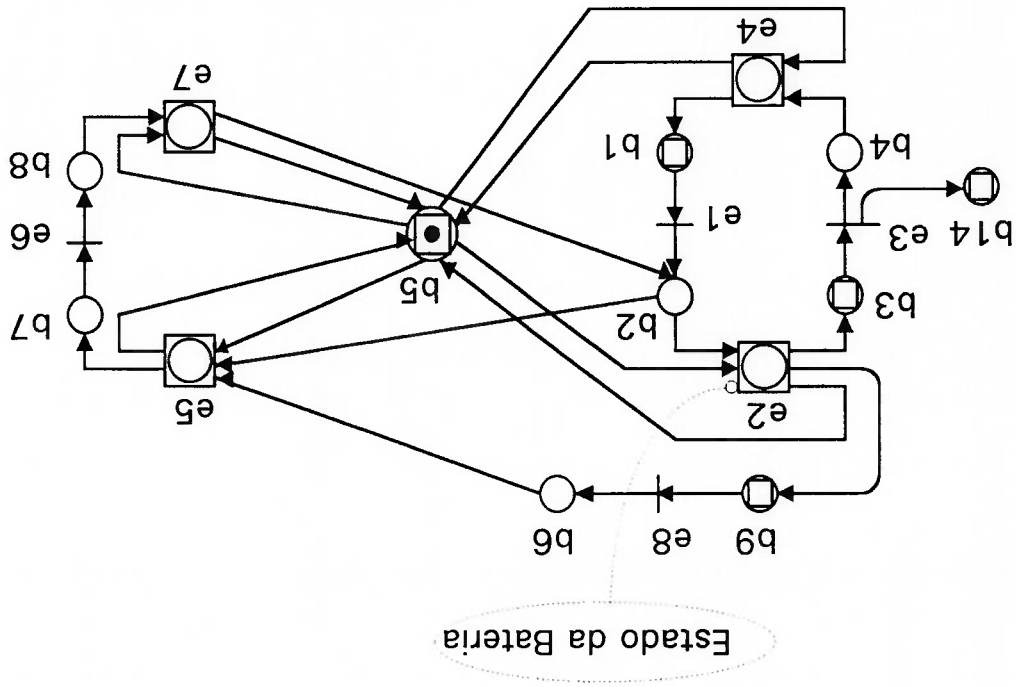


Figura 17 - Modelo do AGV da RIMA

Foram simuladas, basicamente, duas situações quais

sejam, com 1 e 2 veículos.

Para simularmos mais de um agv, ao invés do *pseudo-box* foi utilizada a capacidade de b_g como indicador do momento de recarga de um dos agv em uso, porém foi mantido o *pseudo-box* da bateria, para o caso de apenas uma agv.

estado do *pseudo-box* a condição se inverte forçando a recarga forte relação entre carga e descarga do agv. Ao alterarmos o estas atividades, já entre $\{e_2; e_4\}$ o seu valor é um indicando *sincrona* entre $\{e_2; e_5\}$ é infinito, ou seja, não há sincronia entre *Bateria* não está marcado (bateria com carga) a *distância* atividades $\{e_2; e_5\}$ e $\{e_2; e_4\}$. Enquanto o *pseudo-box* "Estado da Foi feita a verificação da distância sincrona para as

5.3 Propriedades

idêntica a anterior pelas mesmas razões já apresentadas. Para o modelo com 2 agv's foi adotada uma estratégia necessária exatamente 4hs de autonomia. na execução do percurso, para uma jornada de 8 horas seriam autonomia de 4 horas e duração de 8min por ciclo, sendo 4min simulação sem nenhuma recarga da bateria, uma vez que para a Para o modelo com 1 veículo foi feita apenas uma

como sinal externo de comando. A *distância síncrona* entre $\{e_2\}$ e $\{e_5\}$ passou a ser igual a capacidade de b_9 e entre $\{e_2\}$; $e_4\}$ sempre igual a um, isto para uma situação de *pseudo-box* não marcado, indicando que agora a dependência entre carga e descarga de agv não é alterada e a dependência com a recarga da bateria foi diminuída, o que é coerente com o nosso modelo uma vez que, para mais de um agv, sempre teremos algum executando as atividades de transporte, enquanto que somente em alguns momentos teremos algum agv em recarga.

6. CONCLUSÃO

Foi apresentada a definição de *Distância Síncrona* para a

rede GENEsys a partir das redes de ocorrência, análoga a definição para redes C/E, permitindo assim a análise de forma hierárquica em cada nível de abstração garantindo a conservatividade dos resultados obtidos. Foram, também,

introduzidos os conceitos de rede de Ocorrência e as relações de ordem parcial e total para a rede GENEsys, relações estas que podem ser utilizadas para análise comportamental em diferentes níveis de abstração.

Em conjunto com o trabalho [Song,97] passamos a ter poderosas ferramentas para análise de sistemas modelados através da rede GENEsys, podemos fazer verificações em nossos modelos de propriedades, tais como intratramentos através de invariantes ("facts"), ou através da distância síncrona, como foi apresentado para o exemplo do robô de metrologia.

Como trabalhos futuros propomos a alteração da definição dos atributos dos elementos passivos de forma a eliminarmos as subredes a eles associadas, pelos motivos apresentados no item

anterior, e acrescentar esta ferramenta de análise ao simulador
GHENeSys, em conjunto com os resultados obtidos por
[Salvador,96] e [Song,97].

7. BIBLIOGRAFIA

[Fernandez, 86] Fernandez, C. - Non-Sequential Processes -

Proceedings os an Advanced Course, Bad Honnef,

September 1986, pag. 95-115, Springer-Verlag 1986.

[Goltz, 85] Goltz,Ursula e Chong-Yi,Yuan - Synchronous Structure -

Lecture Notes inComputer Science - Advances in Petri

Nets 1985 - Springer Verlag

[Jensen, 81] Jensen, Kurt - Coloured Petri Nets and the Invariant-

Method - theoretical Computer Science 1981 - North-

Holand Publishing Company

[Miyagi, 85] Miyagi, Paulo Eigi - A Study on Mark Flow Graph

Based Programming Method for Robots - Tpkyo Institute

of Technology - Master Thesis 1985, February 12th

[Miyagi, 94] Miyagi, Paulo Eigi - Projeto de Sistemas de Controle

para Automação Industrial - USP Escola Politécnica -

1994

[Miyagi, 93] Miyagi, Paulo Eigi - Introdução ao Projeto de

Sistemas por Redes de Petri - USP Escola Politécnica -

1993

- [Monnerat, 93] Monnerat, N.L.P.M. e Pessoa, F.J.B. - Projeto de Graduação 1993 - Escola Politécnica da USP
- [Murata, 89] Murata, T.; *Petri Nets : Properties, Analysis and Applications*; maio.1988; Proceedings of the IEEE, vol.77, no. 4, abril.1989.
- [Reisig, 85] Reisig,Wolfgang - *Peri Nets an Intorduction* Springer-Verlag - Berlin Heidelberg 1985
- [Reisig, 86] Reisig, W. - *Place/Transition Systems - Proceedings* os an Advanced Course, Bad Honnet, September 1986, pag. 117-141, Springer-Verlag 1986.
- [Rozenberg, 86] Rozenberg,G. - *Behaviour of Elementary Net Systems - Proceedings os an Advanced Course, Bad Honnet, September 1986, pag. 60-94, Springer-Verlag 1986.*
- [Silva,J.R.93] Silva, J. Reinaldo e Pessoa, F.J.B. - *Análise Semi-Automática de Mark Flow Graphs* - 1993
- [Silva,J.R.96] Silva,J.Reinaldo e Miyagi, Paulo E. - *A Formal Approach to PFS/MFG: A Petri Net Representation of Discrete Manufacturing Systems - Studies in Information and Control, vol.5, No. 2, Jun3 1996, pag. 131-141.*

- [Silva, M. 88] Silva, M. e Colom, J.M. - On the Computation of Structural Synchronic Invariants in P/T Nets - Lecture Notes in Computer Science, vol 340, Advances in Petri Nets 1988, pag. 386-417, Springer-Verlag 1988
- [Song, 97] Woei, Song San - Análise de Invariantes na Rede de Petri GHENeSys - Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da USP - 1997
- [Thigarajan, 86] Thigarajan, P. S. - Elementary net systems - - - Proceedings os an Advanced Course, Bad Honnef, September 1986, pag. 26-59, Springer-Verlag 1986.
- [Valette, 90] Valette, R.; *Les Réseaux de Petri*; L.A.A.S./C.N.R.S. Toulouse, mai 1990.
- [Zanata, 96] Zanata, Salvador Addas - Modelagem e Análise de Sistemas a Eventos Discretos - Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da USP - 1996

APÊNDICE I

Neste apêndice são apresentadas algumas propriedades e

definições referentes a redes C/E.

Equivalência

A partir da referência [Reisig,85] definimos duas redes C/E

Σ e Σ' como:

Sejam duas redes C/E Σ e Σ' :

i. Dadas as bijeções: $\gamma : C_{\Sigma} \rightarrow C_{\Sigma'}$ e $\varepsilon : E_{\Sigma} \rightarrow E_{\Sigma'}$, dizemos

que Σ e Σ' são (γ, ε) - *equivalentes* sse para todos os

estados $c_1, c_2 \in C_{\Sigma}$ e todos os conjuntos de eventos

$$u \subseteq E_{\Sigma} : c_1 | u > c_2 \Leftrightarrow \gamma(c_1) | \varepsilon(u) > \gamma(c_2)$$

A partir da definição acima, a referência [Reisig,85] mostra

que duas redes C/E equivalentes possuem um mesmo número de

estados, eventos e passos, podendo ter um número diferente de

condições.

Rede C/E Completa

Este conceito é apresentado para mostrar como resolver condições de contato, e a partir deste conceito poderemos trabalhar com as redes C/E como sendo livres de contato.

Dada uma rede C/E Σ e sejam $b, b' \in B_{\Sigma}$, podemos definir:

i. b' é dita complementar a b se $b' = b''$ e $b'' = b'$;

ii. Σ é dita completa se cada condição $b \in B_{\Sigma}$ possui seu

complementar $b' \in B_{\Sigma}$.

A partir dos conceitos de complemento e equivalência, é

apresentado na referência [Reisig,85] que a rede original e a rede

completa associada a uma dada rede C/E são equivalentes.

Também na mesma referência é demonstrado que uma rede C/E

completa é livre de contato.

Como sempre podemos obter a rede completa associada

ao nosso modelo e assim ao trabalharmos com redes C/E

verificamos a condição de habilitação de um dado evento só nos

atendo às pré-condições.

Conflito

Quando tratamos de *passos* estavamos interessados nos

eventos que estariam habilitados simultaneamente e poderiam

assim ser disparados simultaneamente, porém há o caso contrário onde o disparo de um desabilita o outro, ou seja, estes eventos possuem pré ou pós-condições em comum ($e_1 \cap e_2 \neq \emptyset$ $\vee e_1 \cap e_2 \neq \emptyset$) neste caso estes eventos são ditos em *confito*.

Confusão

A situação de *confito* muitas vezes pode ocorrer somente em função de um dado *processo*, neste caso chamamos esta situação de *confusão*. Um exemplo pode ser visto na figura abaixo.

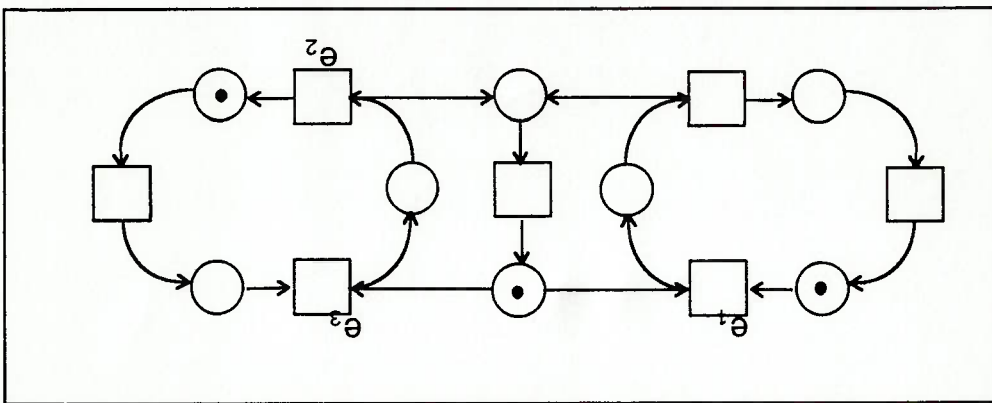


Figura 18 - Confusão

Na figura acima, se o evento e_1 ocorrer primeiro que o evento e_2 então não haverá conflito entre e_1 e e_3 , porém caso e_2 ocorra primeiro então haverá *confito*.

APÊNDICE II

Neste apêndice são apresentadas algumas propriedades e

definições referentes às redes P/T, segundo são definidas na

referência [Murata89].

Rede Comum: uma rede P/T é dita **Comum** (*Ordinary net*)

se todos os seus arcos têm peso unitário.

Rede de Capacidade Finita: uma rede é de capacidade

finita se existe um limite superior para o número de marcas que

cada lugar pode conter.

Rede de Capacidade Infinita: uma rede é de capacidade

infinita se existe um lugar que pode conter um número ilimitado

de marcas.

Rede Segura: uma rede de P/T é **segura** se o número

máximo de marcas em todos os lugares para todas as marcações

atingíveis a partir da marcação inicial, incluindo esta, for menor

ou igual a 1;

Conflito: duas transições t_1 e t_2 estão em conflito se t_1

ou t_2 podem ocorrer, mas não ambas, ou seja, ambas possuem

pré ou pós-condições em comum;

Concorrência: duas transições t_1 e t_2 são concorrentes se

ambas podem ocorrer em qualquer ordem sem conflito;

Confusão: situação em que situações de conflito e

concorrência se encontram presentes;

Colisão: situação que ocorre quando a interseção entre as

pós-condições de duas transições paralelas é não-vazia gerando

indeterminismo, uma vez que o disparo sequencial de uma delas

inibe o disparo da outra;

Deadlock: fenômeno que se dá quando lugares e

transições se combinam de forma que novas transições não

possam mais ser disparadas.

Atingibilidade: uma marcação M_n é dita atingível a partir

de uma marcação M_0 se existe uma sequência de disparos que

transforma M_0 em M_n .

Limitabilidade: uma rede de Petri é dita limitada por k , ou

simplesmente limitada, se o número de marcas em cada lugar

não excede o número finito k para alguma marcação atingível a partir de M_0 .

Vivacidade (*Liveness*): uma transição t em uma rede de

Petri é dita:

morta (L0-live) se t não pode ser disparada em

nenhuma sequência de disparo;

L1-live (potencialmente disparável) se t pode ser

disparada, pelo menos uma vez, em alguma sequência de

disparo;

L2-live se, para um dado inteiro positivo k , t pode

disparada pelo menos k vezes em alguma sequência de

disparo;

L3-live se t aparece em toda sequência de disparo;

L4-live ou viva se t é L1-live para toda marcação

atingível.

Reversibilidade: uma rede de Petri é dita reversível se, para

cada marcação M , M_0 for atingível a partir de M .

Coverability: uma marcação M é dita *coverable* se existe

uma marcação M_1 tal que o número de marcas de M_1 seja maior

ou igual ao número de marcas de M para cada lugar da rede.

NOTAÇÃO

Teoria de Conjuntos

i. $x \in M$ denota que x pertence ao conjunto M ;

ii. $A \subseteq M$ denota que A está contido em M , ou seja, A é

um subconjunto de M ;

iii. $P(B)$ denota o *power set* de B ;

iv. Sejam A, B, C conjuntos $A \cup B$ denota a união $B, A \cap B$

denota a interseção $B, e A \setminus B = \{a \in A \mid \neg (a \in B)\}$, ou

seja, o complemento de B em A ;

v. \mathbb{N} é o conjunto dos números naturais $\mathbb{N} = \{0, 1, 2, \dots\}$;

vi. $\mathbb{N} \cup \{\omega\} \Leftrightarrow A \in \mathbb{N}. n < \omega$ e

$A \in \mathbb{N} \cup \{\omega\} : m + \omega = \omega + m = \omega; \omega - m = \omega.$

Relações

i. $A \times B = \{(x, y) \mid (x \in A) \wedge (y \in B)\}$;

ii. $p \subseteq M \times M$ é dita uma relação e escrevemos $x p y$ para

todo $(x, y) \in p$.

Funções de Mapeamento

Sejam A, B conjuntos e seja $M \subseteq A$

i. $f: A \rightarrow B$ denota uma função de A em B ;

ii. $f(M) = \{f(a) \mid a \in M\}$;

iii. O mapeamento $f \mid M: M \rightarrow B$ é definido como $f \mid M(a) =$

$f(a)$ para todo $a \in M$;

Ordem Parcial e Total

Seja um conjunto M , uma relação $p \subseteq M \times M$ é chamada

de *ordem parcial* sse $\forall a, b \in M$:

i. $\neg (a p a)$; (p é irreflexivo)

ii. $a p b \wedge b p c \Rightarrow a p c$. (p é transitiva)

Vale ressaltar que as relações acima implicam na

assimetria da relação, isto é, $a p b \Rightarrow \neg (b p a)$.

Representa-se relações de ordem parcial através de grafos

onde são traçados arcos $a \rightarrow b$ sse $(a < b) \wedge (\exists c: a < c < b)$.