

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
SETEMBRO DE 1986

SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DA MANUFATURA

Por : CARLOS ALBERTO DOS SANTOS PASSOS

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO RIBEIRO CURY

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica - UNICAMP como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS.

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por CARLOS ALBERTO DOS SANTOS PASSOS e aprovada pela Comissão Julgadora em 26/09/1986

[Assinatura]

À minha esposa Rita Helena,
pela compreensão e apoio.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS:

- . a Cury pela amizade, compreensão e preciosa orientação durante o desenvolvimento desta tese;
- . a Gimeno pela retaguarda e apoio dado ao desenvolvimento do curso e da tese;
- . aos meus familiares pelo incentivo e confiança no sucesso;
- . aos meus amigos e companheiros, e a todos que contribuíram para a realização deste trabalho;
- . ao CTI pelo apoio ao desenvolvimento desta tese, e
- . a Célia pela sua valorosa contribuição à edição final deste trabalho.

Este trabalho contou com o apoio financeiro
da entidade:

CNPq - CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO
CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

Í N D I C E
= = = = =

RESUMO.....	viii
-------------	------

ABSTRACT.....	ix
---------------	----

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Motivação.....	2
1.2. Objetivos e Generalidades.....	2
1.3. Organização do Trabalho.....	3

CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE MANUFATURA

2.1. Introdução.....	5
2.2. Sistemas da Manufatura.....	5
2.2.1. Histórico e Conceitos.....	5
2.2.2. Características dos Regimes de Produção.....	6
2.2.3. Estágios da Automação Flexível.....	7
2.3. Sistemas Flexíveis da Manufatura.....	9
2.3.1. Introdução.....	9
2.3.2. Definição e Objetivos.....	10
2.3.3. Estrutura de um FMS.....	10
2.3.4. Componentes dos Subsistemas.....	11
2.3.4.1. Subsistemas de Estações de Trabalho.....	12
2.3.4.2. Subsistemas de Transporte e Manuseio de Materiais.....	12
2.3.4.3. Subsistemas de Controle.....	13
2.4. Conclusões.....	14

CAPÍTULO 3 - MODELAMENTO E SIMULAÇÃO

3.1. Introdução.....	16
3.2. Definição de Modelo e Simulação.....	16
3.3. Tipos de Modelos.....	17
3.4. Modelos Discretos.....	18
3.4.1. Eventos, Atividades e Processos.....	18
3.4.2. Modelos para Sistemas da Manufatura.....	18
3.4.2.1. Diversas Aproximações para Modelamento.....	19
3.4.2.2. Modelos por Rede de Petri.....	20
3.4.2.3. Modelos por MFG (Mark Flow Graph).....	23
3.5. Linguagens de Simulação.....	26

3.5.1. Linguagens de Programação de Uso Geral.....	26
3.5.2. Linguagens Especializadas de Simulação.....	27
3.6. Simulador Baseado no Modelo de Rede de Petri.....	29
3.7. Conclusões.....	30

CAPÍTULO 4 - MODELAMENTO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES USANDO REDE DE PETRI

4.1. Introdução.....	32
4.2. Sistemas de Transporte.....	32
4.2.1. Características do Sistema de Transporte.....	32
4.2.2. Definição de Seção e Setor.....	33
4.2.3. Representação Gráfica dos Setores.....	34
4.3. Modelo de Seção.....	35
4.4. Modelo dos Setores.....	36
4.4.1. Setor de Ligação.....	37
4.4.2. Setor de Cruzamento.....	37
4.4.3. Setor de Junção.....	38
4.4.4. Setor de Bifurcação.....	39
4.4.5. Função das Seções.....	40
4.5. Temporização e Interpretação.....	42
4.6. Conclusões.....	45

CAPÍTULO 5 - SIMULADOR DE SISTEMAS DE TRANSPORTE

5.1. Introdução.....	47
5.2. Estrutura do Simulador.....	47
5.2.1. Interface de Descrição do Modelo.....	49
5.2.2. Interface de Especificação das Condições de Simulação.....	51
5.2.3. Interface com o Núcleo de Simulação.....	53
5.2.4. Resultados da Simulação.....	55
5.3. Utilização do Simulador.....	59
5.4. Exemplo de Aplicação.....	60
5.4.1. Descrição do Sistema de Transporte.....	60
5.4.2. Descrição do Modelo.....	61
5.4.3. Especificação das Condições de Simulação.....	65
5.4.4. Execução da Simulação.....	69
5.4.4.1. Análise dos Resultados.....	76
5.4.4.2. Exploração do Exemplo.....	76
5.4.4.3. Análise dos Novos Resultados e Novos Casos.....	77
5.5. Conclusões.....	84

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES FINAIS..... 86

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
---------------------------------	----

APÊNDICE - IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE

A.1. Detalhes da Implementação

A.2. Fluxo de Dados do Simulador

A.3. Dicionário de Dados

R E S U M O

= = = = =

Neste trabalho foi desenvolvida uma ferramenta que auxilia no desenvolvimento de sistemas de transporte aplicados a sistemas de manufatura. Essa ferramenta foi desenvolvida a partir de um simulador baseado no modelo de rede de Petri (PSI) desenvolvido no LAAS - Toulouse.

A ferramenta proposta utiliza o núcleo de simulação do PSI, substituindo seus módulos de entrada, cuja linguagem é baseada no modelo de rede de Petri (RP), por módulos que contém uma linguagem interativa de alto-nível. Esses módulos fazem com que a interface entre o usuário e o simulador seja bastante "amigável", permitindo que usuários não especialistas em programação e em redes de Petri possam utilizar a ferramenta.

As saídas que no PSI eram fornecidas baseadas no modelo de rede de Petri, são fornecidas na ferramenta desenvolvida também em uma linguagem de alto-nível, bem como as interfaces com o núcleo de simulação que permitem observar a evolução da mesma.

SIMULATION OF MANUFACTURING SYSTEMS

A B S T R A C T
= = = = =

In this work a simulator of transportation system, applied in manufacturing systems was developed. This package is based on a Petri net based simulator (PSI) developed in LAAS - Toulouse.

The proposed package uses a simulation nucleus of PSI. The interfaces of this package were substituted by others, that use friendly languages, so that the user doesn't need to have knowledge of programming nor Petri nets.

C A P Í T U L O 1
= = = = =

INTRODUÇÃO
=====

1.1. MOTIVAÇÃO

Devido à sua complexidade, um sistema de manufatura necessita do auxílio de ferramentas que permitam na fase de concepção, obter respostas da performance do sistema. Uma das maneiras de se obter tais respostas, é através de simulação. A simulação é também útil para análises, avaliações e modificações em sistemas já existentes.

Um sistema de simulação que possa ser aplicado a sistemas da manufatura, deve permitir simular os diversos componentes que fazem parte desse sistema, tais como: máquinas-ferramentas, robôs e meios de transporte. Deve também permitir que usuários não especialistas em programação possam usá-lo de maneira simplificada.

Os "pacotes" de simulação aplicados a sistemas de manufatura existentes, ou são voltados para um sistema específico (desenvolvidos pelos fabricantes dos equipamentos ou pelos compradores para uso em seus próprios sistemas), ou quando de uso geral, são escritos em linguagem de simulação, que para alteração nos modelos necessitam de pessoas familiarizadas com a sua elaboração e com o uso da linguagem de simulação, ou ainda, com conhecimento de linguagem de programação do tipo FORTRAN ou PASCAL.

Nesse sentido, o desenvolvimento de um simulador de uso geral e que permita a sua utilização por pessoas não especialistas em programação, parece ser a solução mais adequada. Visto que se aplicaria a uma quantidade maior de sistemas e poderia ser utilizado facilmente pelos elementos ligados diretamente com o sistema de manufatura.

1.2. OBJETIVOS E GENERALIDADES

Nessa tese, o objetivo principal foi o desenvolvimento de interfaces que facilitem a utilização de um simulador de redes de Petri, desenvolvido no LAAS - Toulouse/França. Essas interfaces permitem que o usuário do simulador interaja com ele de maneira "amigável", através de uma linguagem de alto-nível, bastante próxima do usuário.

A nível de protótipo, foram desenvolvidas interfaces para a simulação de sistemas de transportes que fazem a movimentação de pallets, por carros que se locomovem por meios próprios, e que são guiados por trilhos(as).

Para a utilização das interfaces com linguagem de alto-nível, é necessário que o modelo em RP seja gerado automaticamente, já que o núcleo de simulação utilizado é baseado no modelo em Rede de Petri.

Foram feitos estudos sobre algumas linguagens de simulação existentes e de alguns simuladores que pudessem ser aplicados a sistemas de manufatura.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 2 são apresentados alguns conceitos relativos a sistemas de manufatura e a Fábrica de Manufatura Flexível, dando ênfase a Sistemas Flexíveis de Manufatura e uma possível divisão em subsistemas.

No Capítulo 3 são apresentados um conjunto de conceitos associados a modelamento e simulação, modelos que são aplicados a sistemas de manufatura e características de algumas linguagens de simulação. É também apresentado nesse capítulo, o simulador de eventos discretos baseado no modelo de Rede de Petri, usado como núcleo de simulação no simulador desenvolvido.

No Capítulo 4 é apresentado o sistema de transporte que pode ser simulado e os modelos em Rede de Petri que permitem modelar tais sistemas.

No Capítulo 5 são mostrados o protótipo do simulador, as interfaces entre o usuário e o simulador, a forma pelo qual são apresentados os resultados e um exemplo de aplicação completo, baseado em um sistema de transporte existente em uma indústria francesa.

No Capítulo 6 são apresentadas conclusões finais sobre os itens abordados nessa tese.

A tese possui ainda um Apêndice, contendo alguns detalhes da implementação do software do simulador.

C A P Í T U L O 2
= = = = =

SISTEMAS DA MANUFATURA
=====

2.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta alguns conceitos relativos a Sistemas de Manufatura (SM). Em primeiro lugar, um SM é definido e um breve histórico é apresentado no sentido de mostrar as tendências de um SM em direção à automação e à flexibilidade.

Em seguida são apresentadas as características dos regimes de produção em relação à sua escala de produção. Também são apresentados os diferentes estágios de automação flexível para uma Fábrica de Manufatura Flexível (FMF).

Por último é definido o que vem a ser um FMS. São apresentados seus principais objetivos e uma possível divisão em subsistemas e seus componentes.

2.2. SISTEMAS DE MANUFATURA

2.2.1. HISTÓRICO E CONCEITOS

Um Sistema de Manufatura (SM) pode ser definido como sendo um conjunto de máquinas e/ou equipamentos, interligados por um sistema de transporte e manuseio de materiais, com o auxílio ou não de trabalhadores. Esse tipo de sistema tem como finalidade, gerar produtos acabados e/ou semi-acabados a partir de matérias-primas.

As primeiras tentativas de se aumentar a "eficiência" de uma fábrica foram feitas através da tecnologia da fabricação em massa de produtos, onde era possível um ganho na produtividade, na qualidade e também a redução dos custos de produção por unidade fabricada. Os SM desse tipo eram caracterizados pela "rigidez" e complexidade [13].

Novas tecnologias têm sido desenvolvidas no sentido de se obter flexibilidade nos sistemas produtivos, uma vez que o ciclo de vida dos produtos tende a ser menor. Também a "concorrência no mercado" tem requerido dos produtos uma melhor qualidade de fabricação, que por sua vez exigem uma sofisticação dos meios de produção.

Já em 1949 tentou-se conceber novas tecnologias que permitissem dar alguma flexibilidade às Máquinas Ferramentas (MF), introduzindo-se o Comando Numérico (CN). Nesse sentido, foram desenvolvidas novas tecnologias que deram origem à MF controlada por computador - CNC (Computer Numerical Control) e DNC (Direct Numerical Control). Nesta última um grupo de MF é controlada por

um mesmo computador. Também foram concebidas "estruturas de controle hierárquico" onde por exemplo, o computador de nível superior é responsável pelo planejamento, escalonamento e programação, ficando o controle de execução das operações das máquinas no nível inferior a cargo de outros computadores (CNC, por exemplo) [13].

Outras tecnologias têm sido desenvolvidas no sentido de se melhorar a eficiência de um SM e também o grau de automação, tais como: CAM (Computer Aided Manufacturing), CAD (Computer Aided Design), CAP (Computer Aided Planning), CAPPP (Computer Aided in Process and Production Planning), GT (Group Technology).

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DOS REGIMES DE PRODUÇÃO

A produção em um SM pode ser caracterizada por três tipos básicos [17]:

- . Produção individual;
- . Produção em lotes;
- . Produção em massa.

A produção individual se caracteriza pela quantidade reduzida de produtos no período de um mês ou ano. A produção em lotes é caracterizada pela produção descontinuada, onde a produção é efetivada em séries fixas ou lotes. Na produção em massa, a quantidade de produtos é grande e geralmente por longos períodos.

As principais características do SM orientados para os diferentes regimes de produção são:

- PRODUÇÃO INDIVIDUAL:

- . MF manuais universais ou NC;
- . Lotes de peças de 1 a 10;
- . Grande variedade de peças;
- . Ferramentas standard.

- PRODUÇÃO EM LOTES:

- . MF com CNC ou grupos de CNC com controle supervisé-rio;
- . Lotes de peças de 10 a 5000;
- . Similaridade das peças quanto à forma ou tipo de processo;
- . Algumas ferramentas especiais.

- PRODUÇÃO EM MASSA:

- . MF com controle do tipo cames, temporizadores, li-mitadores de curso, etc.;
- . Acima de 5000 peças;
- . Peças tipicamente iguais com 1 ou 2 tipos de mate-riais;
- . Ferramentas especiais.

2.2.3. ESTÁGIOS DA AUTOMAÇÃO FLEXÍVEL [17]

Para atender os pré-requisitos de flexibilidade de um SM, esses sistemas são projetados levando em consideração os seguin-tes grupos ou estágios, a saber:

- . Linhas de Transferência Flexíveis (FTL - Flexible Transfer Lines);
- . Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS - Flexible Ma-nufacturing Systems);
- . Células Flexíveis de Manufatura (FMC - Flexible Manu-facturing Cells).

Os SM que possuem instalações desses tipos são chamados de Fábricas de Fabricação Flexível (FFF) ou Fábricas de Manufatura Flexível (FMF).

As principais características desses diferentes grupos são os seguintes:

- LINHA DE TRANSFERÊNCIA FLEXÍVEL:

- . Interligação interna;
- . Usinagem em estágios múltiplos;
- . Transporte cíclico;
- . Fluxo de material regulado;
- . Adaptação limitada de montagem (set-up) de peças.

- SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA:

- . Interligação externa;
- . Usinagem individual ou múltipla;
- . Transporte não cíclico;
- . Fluxo de material automatizado;
- . Montagem (set-up) da peça não manual para um número limitado de peças.

- CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA

- . Máquinas individuais sem interligação;
- . Usinagem por estágios simples;
- . Carregamento da máquina por:
 - .. MF com estação de estoque,
 - .. MF com estoque de peças;
- . Troca automática de ferramentas.

A aplicação de cada um desses grupos, em função da escala de produção (variedade de peças ou quantidade), pode ser vista na Figura 2.1. A sobreposição dos grupos se deve ao fato das fronteiras de aplicação serem bastante vagas.

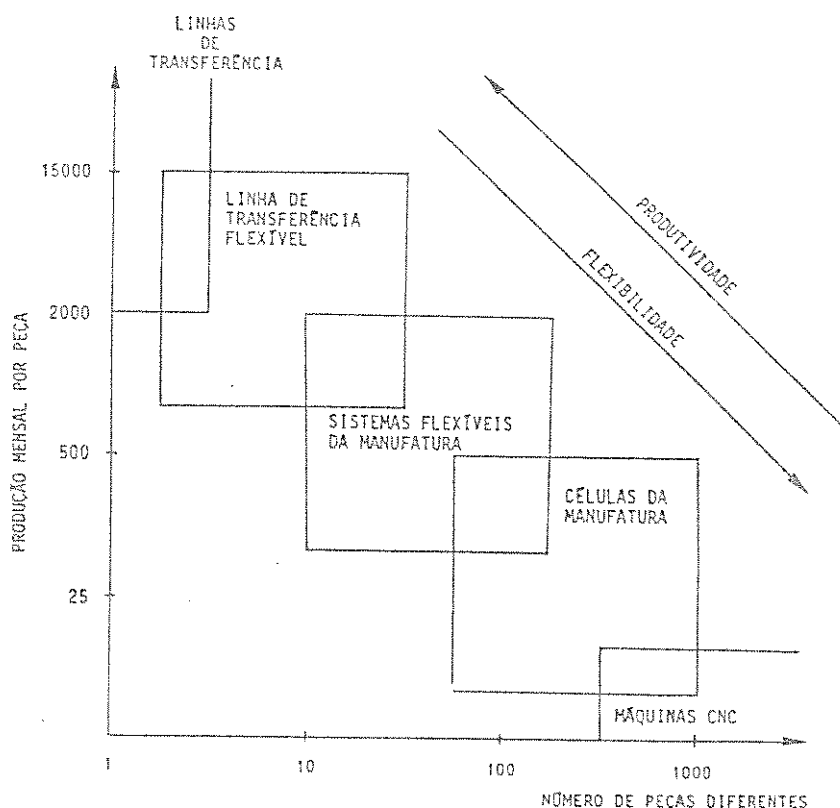


FIGURA 2.1 - Aplicação dos estágios de automação flexível

2.3. SISTEMAS FLEXÍVEIS DA MANUFATURA

2.3.1. INTRODUÇÃO

A automação dos meios de produção inicialmente foi aplicada para a produção em massa, devido às vantagens em relação aos custos. Alterações no volume de produção e do ciclo de vida dos produtos tem levado à utilização de outros tipos de tecnologia nos sistemas de manufatura. Estima-se que hoje em dia 75% da produção é feita em lotes pequenos e médios, justificando a utilização de sistemas mais flexíveis.

Cada um dos subsistemas é constituído de vários componentes. De maneira geral, os componentes são os seguintes:

- SUBSISTEMAS DE ESTAÇÕES DE TRABALHO:

- . Máquinas ferramentas;
- . Estações de carregamento/descarregamento;
- . Estações de inspeção;
- . Estações de montagem.

- SUBSISTEMA DE TRANSPORTE E MANUSEIO:

- . Equipamentos de manuseio (geralmente robôs);
- . Transportadores;
- . Armazéns e alimentadores;
- . "Pallets" e "fixtures".

- SUBSISTEMA DE CONTROLE:

- . Controle do processo;
- . Monitoramento do sistema.

2.3.4. COMPONENTES DOS SUBSISTEMAS

Existem diferentes tipos de Sistemas Flexíveis de Manufatura (SFM), cada qual dependendo da "família" de produtos que são fabricados e do tipo de equipamentos que são utilizados, objetivando uma melhor eficiência na produção ou uma melhor produtividade.

A seguir é discutida a função de cada um dos subsistemas, os diferentes tipos de seus componentes e algumas de suas características.

2.3.4.1. SUBSISTEMAS DE ESTAÇÕES DE TRABALHO

As estações de trabalho em um FMS são responsáveis pelo processamento da geometria da peça (usinagem), operações de montagem e controle de qualidade dos produtos fabricados.

As operações de usinagem são realizadas por MF's que permitem fazer operações tais como: torneamento, fresamento, mandrilamento, aplainamento, acabamento e furação. Essas máquinas podem ser do tipo NC com tecnologias CNC ou DNC ou ainda Centros de Usinagem que são MF's mais potentes e flexíveis.

Estações de trabalho são dotadas de estações de carregamento/d Descarregamento dos materiais e também estações de inspeção que permitem verificar a ocorrência de falhas, tais como: posicionamento errado da peça antes da usinagem, desgaste prematuro da ferramenta, etc.

A qualidade do produto é verificada antes e durante a usinagem e montagem, no sentido de assegurar a qualidade do produto ("Quality Assurance") e também depois do produto acabado ("Quality Control").

2.3.4.2. SUBSISTEMA DE TRANSPORTE E MANUSEIO DE MATERIAIS

Esse subsistema é responsável pelo transporte e manuseio de peças e ferramentas. Os materiais podem ser transportados através de "pallets", "fixtures" ou mesmo diretamente. O manuseio dos materiais geralmente é feito através de robôs, podendo algumas máquinas ter a operação de carregamento e descarregamento automática, dispensando o uso do robô para essas operações.

Os meios de transporte podem ser de diversos tipos, tais como:

- CARRETAS REBOCADAS:

- . Esse tipo de transporte possui uma tecnologia mais antiga em relação aos outros tipos;
- . É usado em aplicações que um perfeito posicionamento não é requerido.

- VEÍCULOS GUIADOS POR TRILHOS

- . Os trilhos podem ser "visíveis" ou por produtos químicos (exemplo: linhas pintadas no chão);
- . Podem ser inteligentes, possuem neste caso um microcomputador de bordo, evitando um contato constante com o sistema de controle;
- . A comunicação com o sistema de controle pode ser feita através de dispositivos óticos ou magnéticos ou ainda através de sinais de RF através dos trilhos.

- ESTEIRAS ROLANTES OU "ROLLERS":

- . Método convencional bastante utilizado;
- . Não permite um posicionamento preciso dos materiais.

- CARROSSEL:

- . Usado para pequenas peças;
- . Combinado com robô permite acesso rápido aos materiais.

2.3.4.3. SUBSISTEMA DE CONTROLE

O subsistema de controle coordena todas atividades dos componentes do sistema como um todo. Pode ser dividido em seis áreas de decisão [15], como a seguir:

- Balanceamento das peças:

Determina qual parte entrará no sistema. O sistema de controle deve assegurar um uso uniforme dos equipamentos, sem sobrecarga dos elementos armazenadores em processo.

- Sequenciamento das operações:

Determina a sequência de operações de uma peça. Uma operação é definida como sendo a execução do programa de usinagem, carregamento ou descarregamento de uma peça.

- Seleção da estação

A seleção é feita através da disponibilidade ou "reserva" (backlog) das estações.

- Armazenamento em processo

Determina quando armazenar uma peça temporariamente para prevenir bloqueamentos.

- Seleção do transportador

Faz a seleção do mecanismo de manuseio e do transportador quando existirem múltiplos meios.

- Movimento dos meios de transporte

Determina a rota para reduzir congestionamentos e também prevenir colisões. Só é utilizado para meios de transporte endereçáveis.

2.4. CONCLUSÕES

Neste capítulo foram apresentados de maneira simplificada alguns conceitos relativos a sistemas da manufatura. Esses conceitos foram apresentados visando caracterizar o tipo de sistemas, no qual o simulador é aplicado.

No capítulo seguinte são apresentados alguns conceitos referentes a modelamento e simulação, o tipo de modelo utilizado para modelar sistemas da manufatura e as suas diversas aproximações, algumas linguagens de simulação e simuladores existentes, e por último um simulador baseado no modelo de rede de Petri.

C A P Í T U L O 3
= = = = =

MODELAMENTO E SIMULAÇÃO
=====

3.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta um conjunto de conceitos associados a modelamento e simulação.

Em primeiro lugar são mostrados alguns tipos de simulação e também os tipos de modelos existentes.

A seguir o modelo do tipo discreto, no qual um sistema de manufatura é modelado, é destacado, mostrando as diversas aproximações existentes para o modelamento desse tipo de sistema. Também, as linguagens de simulação são discutidas e características de algumas linguagens são mostradas.

Por último é apresentado o PSI que é um simulador de eventos discretos baseado no modelo de Rede de Petri, o qual serviu para a implementação da linguagem proposta nesta tese, para o modelamento de sistemas de manufatura.

3.2. DEFINIÇÃO DE MODELO E SIMULAÇÃO

Um modelo é a representação do comportamento estático ou dinâmico de um sistema real [1]. O modelo de um sistema é composto de objetos (ou entidades) e de relações entre os objetos. O nível de detalhe de um modelo é que determina a precisão do estudo do comportamento do sistema. O processo de construção de um modelo é chamado de modelagem ou mais frequentemente de modelamento.

Simulação é o processo de conduzir experimentos sobre um modelo de um sistema ao invés de experimentações diretas sobre o próprio sistema [6]. A simulação possibilita a verificação dos efeitos da interação dos elementos que compõem um sistema.

Para um sistema de manufatura podemos ter três tipos de simulação:

- . Simulação por sistemas de "software";
- . Simulação por um modelo em escala;
- . Simulação por um "hardware" piloto.

Na simulação por sistemas de software, que é o tipo mais comum de simulação, um modelo é descrito através de uma linguagem de programação, permitindo processar longos períodos de tempo em poucos minutos, fazer diversas experiências sem comprometer o sistema, entre outros.

Na simulação por um modelo em escala, um modelo em dimensões menores é construído com vários níveis de detalhes. Esse tipo de simulação se mostra particularmente interessante para desenvolvimento, teste e depuração de "softwares" de controle do sistema, bem como para experimentar diferentes tipos de algoritmos. É também indicado para o treinamento dos operadores do sistema.

A simulação por um "hardware" piloto é feita em um modelo em escala natural do sistema como um todo ou em partes do sistema (subsistema), esse tipo de simulação fornece uma visão mais realista de um sistema.

Esses tipos diferentes de simulação foram objeto de discussão em uma mesa redonda, coordenada pela CIRP, podendo ser vistos com mais detalhes em [9].

3.3. TIPOS DE MODELOS

Como visto anteriormente (item 3.2), um modelo é composto de objetos e relações entre os mesmos.

Os objetos são descritos através de atributos que definem as suas características e determinam o seu estado (exemplo: objeto do tipo robô, estado ocupado). Os atributos que definem as características de um objeto são chamados de atributos fixos e os que definem o estado do objeto são chamados de atributos variáveis. O estado de um sistema é o conjunto do estado de todos os objetos que compõem o mesmo.

Os tipos de modelos dependem de como evolui o estado do sistema. Dependendo do nível de detalhes requerido no modelo, é possível modelar um sistema que evolua continuamente de maneira discreta e vice-versa. Segundo Gordon [7], "para o propósito da simulação, a distinção entre comportamento contínuo ou discreto é feita entre modelos ao invés de sistemas".

Um modelo contínuo é descrito através de equações, onde as variáveis representam os atributos das entidades, e funções estabelecem as relações entre elas. Um modelo discreto é descrito por um conjunto de números que enumeram uma entidade e indicam o seu estado. É possível representar um modelo discreto através de equações matemáticas, entretanto, quando aplicado à simulação, esse procedimento não é usual [7].

A seguir o modelo discreto será discutido, pois o estado de um sistema da manufatura evolui discretamente.

3.4. MODELOS DISCRETOS

Em um modelo discreto, as alterações no estado do sistema ocorrem de maneira descontínua, sendo que essas alterações podem ser verificadas através de eventos, atividades ou processos.

3.4.1. EVENTOS, ATIVIDADES E PROCESSOS

Sempre que o estado de um objeto varia, diz-se que ocorreu um evento. Durante o tempo em que o estado de um objeto não varia, diz-se que o objeto está exercendo uma atividade. Um processo pode ser definido como sendo uma sucessão de estados de um objeto durante um espaço de tempo, ou ainda, a sucessão contínua de uma ou mais atividades sobre um objeto [4].

Desta forma, uma atividade é determinada pela ocorrência de dois eventos, um evento correspondente ao início da atividade e outro evento correspondente ao fim da atividade.

Em um SM pode-se citar como exemplo de eventos início e fim de operação de usinagem, início e fim de operação de transportes, etc., e para atividades: operação de usinagem, transporte, armazenagem, etc.

3.4.2. MODELOS PARA SISTEMAS DA MANUFATURA

Sistemas da manufatura são pela sua própria natureza, modelados de maneira discreta, pois o comportamento do sistema como um todo varia discretamente. O comportamento dos objetos podem ser descritos por eventos, atividades, processos ou através da combinação dessas aproximações. Os modelos podem ainda ser obtidos através de grafos, sendo o mais conhecido os de rede de Petri (RP) [2], existindo outros tais como: MFG (Mark Flow Graph) [11], e GMB (Graph Model of Behavior) [16], sendo que os dois primeiros (RP e MFG) serão abordados nesse trabalho.

3.4.2.1. DIVERSAS APROXIMAÇÕES PARA MODELAMENTO

Um sistema real pode ser representado de várias maneiras, dependendo de como as alterações no estado do sistema são tratadas. Na descrição do comportamento de um modelo, um evento pode ser considerado como um elemento básico, na qual as alterações podem ser analisadas "microscopicamente". Já uma atividade ou um processo pela sua própria definição permite uma análise "macroscópica", permitindo a descrição do modelo mais estruturada e sintética, como visto em [4].

a) Aproximação por eventos

O modelo é construído através da descrição de todos os eventos que podem ocorrer em cada um dos componentes do sistema. Com base na ocorrência desses eventos, constrói-se uma lista de eventos futuros, com a relação dos eventos e a "data" de ocorrência. O processamento de um evento faz com que a lista de eventos futuros seja modificada.

Eventos concorrentes, isto é, eventos que possuem datas iguais de ocorrência, ou seja, que ocorrem no mesmo instante de tempo, são tratados através de regras de prioridades.

b) Aproximação por atividade

Para esta aproximação o modelamento das alterações nos componentes do sistema se faz através da verificação das condições necessárias para a realização do início ou do fim de uma atividade.

O modelamento do sistema deve listar todas as atividades e descrever as condições necessárias para começar ou terminar as atividades. Uma das maneiras possíveis de realizar a simulação é através do "escrutínio de atividades", onde as diversas atividades são percorridas e as que tiverem satisfeitas as condições de início ou término são processadas. A cada escrutínio todas as atividades devem ser percorridas.

c) Aproximação por processo

A aproximação por processo possui uma estrutura próxima da estrutura de um sistema real. Cada elemento do modelo é um pro-

cesso pré-definido, combinando eventos e atividades. A descrição do modelo do sistema é obtida através da interação entre os diversos processos.

Esse tipo de aproximação não permite o mesmo nível de detalhamento que os outros tipos de aproximação, as quais permitem detalhar precisamente os eventos ou atividades encontradas no sistema.

3.4.2.2. MODELOS POR REDE DE PETRI

A rede de Petri é um modelo formal e abstrato. Esse tipo de modelo é particularmente indicado para modelar sistemas que tenham concorrência e assincronismo.

Um modelo é representado através de um grafo, contendo nós e arcos. Um nó de uma RP pode ser de dois tipos: lugares e transições. Os nós da rede são interligados pelos arcos.



FIGURA 3.1 - Elementos de uma rede de Petri

Para a execução de um modelo em RP, marcas são colocadas nos lugares da rede, e regras têm que ser obedecidas para o seu perfeito funcionamento.

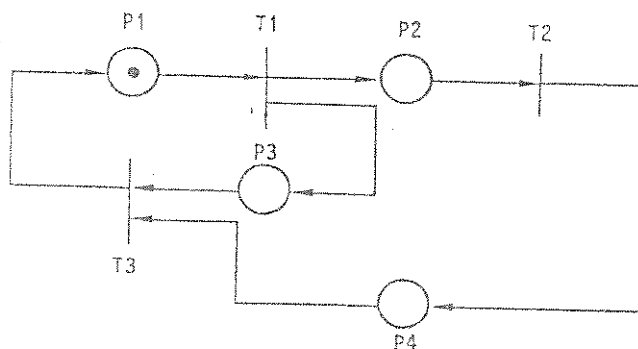


FIGURA 3.2 - Rede de Petri marcada

Para que uma rede de Petri seja "executada", é necessário habilitar (disparar) suas transições. Para isso se tornar possível, é necessário que todos os lugares que possuam um arco direcionado para a transição possuam pelo menos uma marca. Na Figura 3.2 a única transição que satisfaz essa condição é T1. O disparo de uma transição faz com que uma marca seja retirada de todos os lugares que antecedem a transição e uma marca seja colocada em todos os lugares que sucedem a transição. Ainda na Figura 3.2 depois do disparo de T1, os lugares P2 e P3 passam a ter uma marca, a marca em P2 permite disparar T2, colocando então uma marca em P4. O estado atual da rede, isto é, uma marca em P3 e outra marca em P4, permite disparar T3, colocando uma marca em P1, fazendo com que o processo descrito seja repetido.

O modelamento de um sistema discreto através de uma RP, pode ser feito da seguinte maneira:

- Os lugares representam as atividades e condições para a ocorrência de um certo evento;
- As transições representam os eventos;
- Os objetos são representados pelas marcas;
- As relações são estabelecidas pelas ligações dos arcos.

Prioridades para o tratamento de eventos, atribuição de peso aos arcos, associação de cores às marcas, assim como temporização, são extensões da RP que permitem modelar convenientemente certos tipos de sistemas [1], [3] e [10].

Eventos podem ser priorizados através da associação de ações e/ou condições às transições. As ações e condições são estabelecidas através de expressões lógicas ou expressões aritméticas. Uma transição que possua uma condição associada, para que ela possa ser disparada, além das condições já mencionadas essa condição associada à transição também deve ser satisfeita. Após o disparo de uma transição que tenha uma ação associada, essa ação é imediatamente realizada. Redes de Petri que possuam condições e ações associadas são chamadas de RP interpretadas.

Um arco com peso associado faz com que a transição para a qual este arco está direcionado, somente seja habilitada se o lugar que antecede a transição possua uma quantidade de marcas pelo menos igual ao peso do arco. No disparo de uma transição, se o arco que liga um lugar que sucede a transição tiver um peso associado, esse lugar recebe um número igual de marcas. Uma RP que possua arcos com pesos associados (ou múltiplos arcos), é chamada de RP generalizada [10].

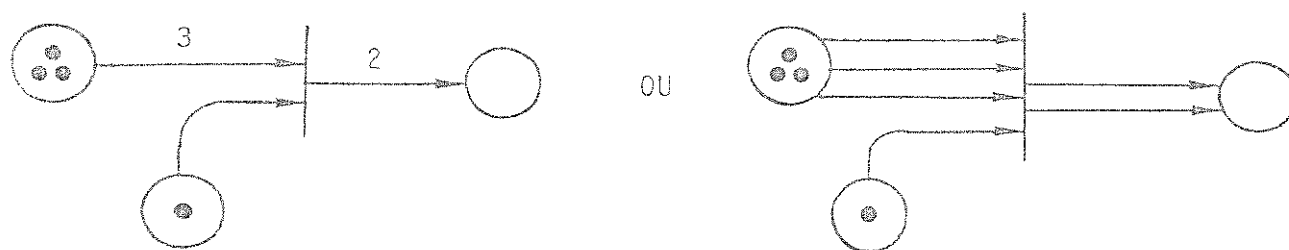


FIGURA 3.3 - Rede de Petri generalizada

Os lugares da RP podem ter um tempo associado, que representa por exemplo o tempo de duração de uma atividade. Uma marca colocada em lugar temporizado permanece indisponível (retida) durante o tempo determinado. Esse tipo de rede é chamada de RP temporizada.

As marcas que são associadas aos lugares na RP podem ter uma cor associada, essa coloração é obtida através de atributos associados às marcas. Dessa forma as marcas podem ser diferenciadas e individualizadas [3]. Redes desse tipo são chamadas de RP coloridas.

Como exemplo de modelamento por RP, considere o sistema de manufatura simples como aquele mostrado na Figura 3.4.

O sistema é composto de uma máquina ferramenta (MF), um robô e dois transportadores, um para a entrada e outro para a saída.

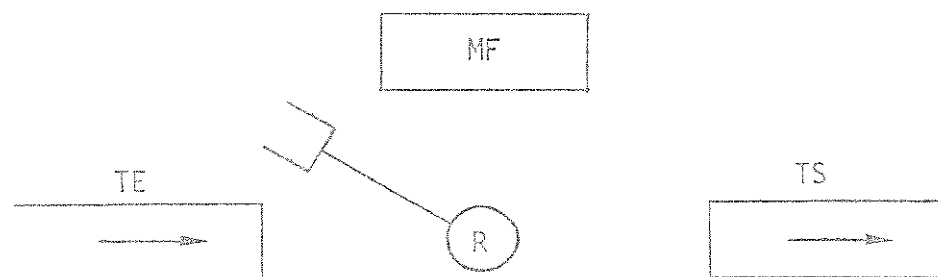


FIGURA 3.4 - Exemplo de um sistema simples

As operações (ou atividades) a serem realizadas pelo sistema são:

- Transporte da peça pelo transportador de entrada (TE);
- Carregamento da peça na máquina pelo robô (CAR);
- Processamento da peça na máquina (PR);
- Descarregamento da peça da máquina pelo robô (DESC);
- Transporte da peça pelo transportador de saída (TS).

Cada uma dessas atividades é representada por um lugar na RP. Dessa forma a Figura 3.5 mostra a RP equivalente, onde as transições representam os eventos de início/fim das atividades.

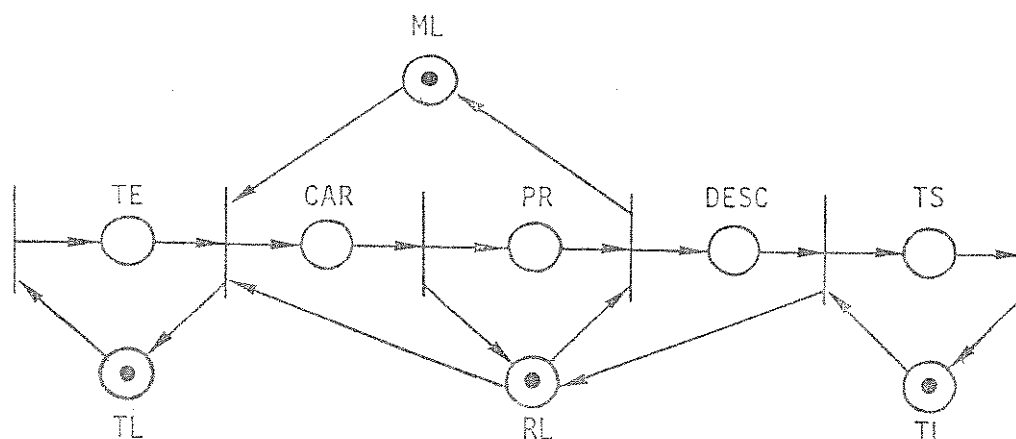


FIGURA 3.5 - RP equivalente ao sistema da Figura 3.4

Os lugares TL, RL e ML estabelecem condições para a realização das operações e significam: TL - Transportador Livre; ML - Máquina Livre e RL - Robô Livre. Esses lugares servem também para indicar o estado de cada um dos objetos do sistema.

3.4.2.3. MODELOS POR MFG (MARK FLOW GRAPH) [11]

MFG é uma representação gráfica semelhante à rede de Petri. Essa ferramenta foi desenvolvida para o modelamento de sistemas de manufatura, os quais têm propriedades de assincronismo, orde-

nação, concorrência e conflito. Possui como característica a segurança ("safeness") e a capacidade de representar sinais de entrada/saída de/para máquinas e outros componentes do sistema que são requeridos para o controle.

Um modelo em MFG é constituído de seis elementos: caixas, transições, arcos diretos, marcas, arcos de sinais de entrada e arcos de sinais de saída.

As caixas representam ação/condição dos elementos de um sistema, transições representam os eventos. As marcas são assinaladas às caixas e representam o estado do sistema.

Os arcos de entrada são classificados em permissivos ou inibidores, e internos ou externos. Um arco interno recebe um sinal de uma caixa (1 para uma caixa com uma marca e 0 sem marca), um arco externo recebe o sinal do sistema. Um arco permissivo permite a ocorrência de um evento quando o sinal for 1 e o arco inibidor quando o sinal for 0.

Uma caixa pode ter somente uma marca por vez. Uma transição é habilitada quando: não existam marcas em todas as caixas de saída, todas as caixas de entrada tenham uma marca, os arcos internos permissivos tenham sinal 1 e inibidores sinal 0. Os arcos externos seguem a mesma condição dos internos. O disparo de uma transição remove as marcas das caixas de entrada e coloca marcas nas caixas de saída (os sinais externos de entrada não são alterados).

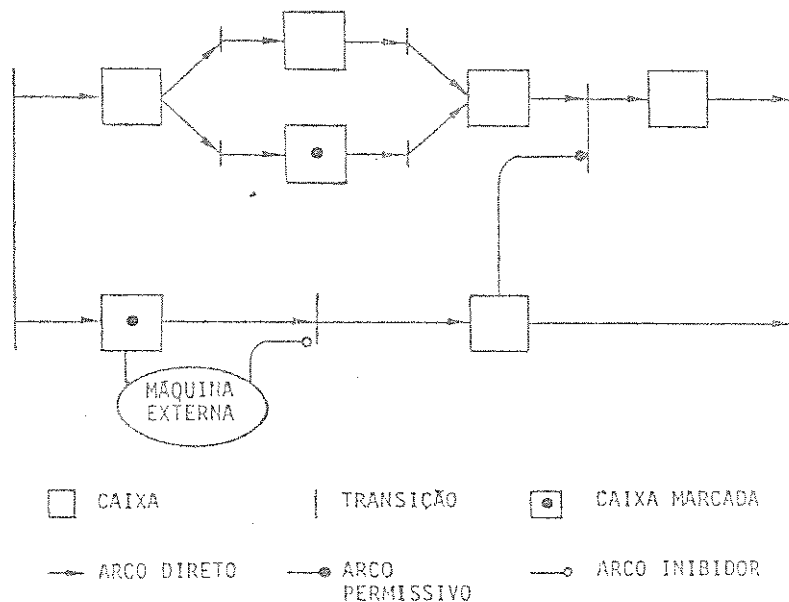


FIGURA 3.6 - Exemplo de MFG

Pelas regras do MFG verifica-se que o número de marcas em uma caixa é no máximo 1, isto garante que o grafo seja "seguro" [11]. Para um modelo de RP isto seria equivalente a:

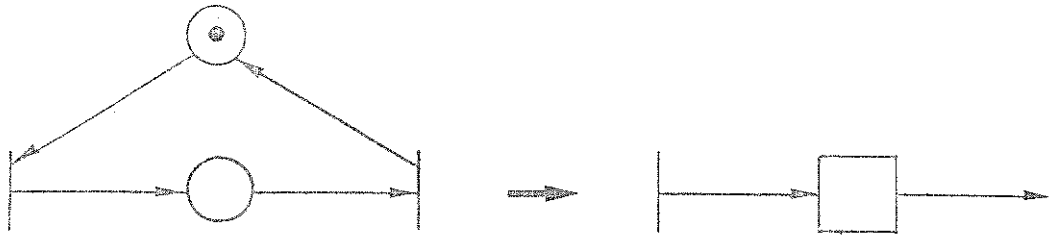


FIGURA 3.7 - Equivalência entre uma RP e uma caixa no MFG

O modelo em MFG para o exemplo do item anterior seria equivalente a:

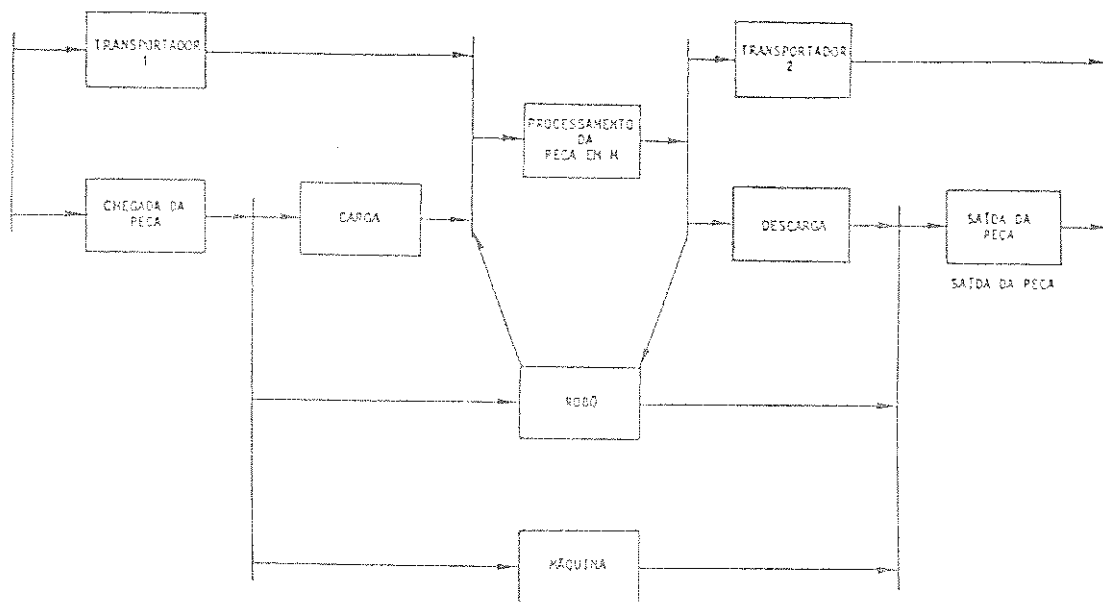


FIGURA 3.8 - MFG para o exemplo do item 3.4.2.2

Essa ferramenta permite controlar o sistema a partir da execução do MFG. As transições podem ser habilitadas com os sinais vindos do próprio sistema e os sinais de controle do MFG. Os sinais para o sistema são gerados quando as transições forem habilitadas.

3.5. LINGUAGENS DE SIMULAÇÃO

Para se passar de um modelo para um programa de simulação pode-se utilizar diversas linguagens. Estas podem ser classificadas em duas categorias:

- . Linguagens de programação de uso geral;
- . Linguagens especializadas de simulação.

Entre as linguagens de uso geral mais indicadas, pode-se citar: FORTRAN, PASCAL, C e ALGOL. Entre as linguagens especializadas pode-se citar: SLAM, GPSS, ECSL, GASP, SIMULA, SIMSCRIPT, QGERT, PAWS, QNAP, entre outras.

As linguagens especializadas têm como principal vantagem a necessidade de um menor "esforço" para a realização do programa de simulação, já as linguagens de uso geral permitem uma maior complexidade nos modelos. A seguir são mostradas outras características desses dois tipos de linguagens.

3.5.1. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO DE USO GERAL

As linguagens de uso geral permitem que o modelo do sistema a ser simulado seja mais complexo, permitindo também adaptar o programa de simulação para certas particularidades do sistema, fazendo com que o tempo de processamento seja otimizado.

Esse tipo de linguagem necessita que o núcleo de simulação seja escrito e também o tratamento das filas de espera e das estatísticas [4].

As linguagens de uso geral por estarem num nível de abstração inferior ao das linguagens de simulação, permitem que os programas de simulação necessitem de menos espaço de memória, fazendo com que esses programas possam ser usados em equipamentos de menor porte. Essas linguagens também são de fácil aquisição e possuem uma boa portabilidade.

3.5.2. LINGUAGENS ESPECIALIZADAS DE SIMULAÇÃO

Um programa de simulação realizado com uma linguagem especializada permite que o modelamento do sistema seja feito rapidamente.

Para o modelamento da parte "inteligente" do sistema (regras de condução, ordenação,...) essas linguagens possuem um número limitado de regras. Para a programação dessa parte é necessário introduzir sub-programas em linguagens de uso geral, FORTRAN ou PASCAL (SLAM, QNAP, QGERT, PAWS) [4].

Esse tipo de linguagem pode ser classificada quanto ao tipo de aproximação que utilizam. Em seguida são citadas algumas linguagens existentes e suas principais características segundo [1], [4], [12] e [7].

- SLAM (Simulation Language for Alternative Modeling)
 - . Desenvolvida pela Sociedade Pritsker and Associates - Estados Unidos;
 - . O modelamento é feito por uma representação gráfica através de uma rede;
 - . A abordagem é feita por processos e por eventos;
 - . Necessita de conhecimentos da linguagem FORTRAN para a elaboração de sub-programas para regras de decisões complexas.
- ECSL/CAPS (Extended Control and Simulation LANGUAGE/ (Computer Aided Programming System)
 - . Desenvolvida na Universidade de Birmingham (Inglaterra);
 - . O modelamento é feito através de um diagrama de ciclo de atividades;
 - . A abordagem é por atividades;
 - . CAPS é um gerador de programa de simulação, existindo outros, tais como: HOCUS e DRAFT.

- GPSS (General Purpose Simulation System)

- . Desenvolvida para utilização em computadores da IBM, sendo escrito em linguagem ASSEMBLY IBM, embora existam atualmente outras versões;
- . O modelo é construído combinando-se um conjunto de blocos "standards" (processos pré-programados) em um diagrama de blocos (ou rede) que definem a estrutura lógica do sistema;
- . A abordagem pode ser por processos e por eventos;
- . Os programas utilizados são escritos em FORTRAN.

- GASP IV (General Activity Simulation Program)

- . Desenvolvida originalmente na U.S. Steel;
- . O modelo é construído de maneira semelhante a GPSS, através de blocos "standards";
- . A abordagem é por eventos;
- . Permite a realização de simulações contínuas e combinação com simulações discretas.

- QNAP (Queuing Network Analysis Package)

- . É destinada à análise de redes de filas de espera;
- . A descrição do sistema é feita em forma de rede;
- . A abordagem é por processo;
- . As leis de serviços (regras) das "estações de serviços" as quais são associadas às filas de espera, são escritas numa linguagem específica do tipo PASCAL ou ALGOL.

3.6. SIMULADOR BASEADO NO MODELO DE REDE DE PETRI

Redes de Petri e outros tipos de ferramentas de especificação do mesmo tipo, têm sido muito usadas, e Valette desenvolveu um protótipo de um simulador baseado em eventos discretos chamado de PSI (Petri net based Simulator) [2].

Esse tipo de ferramenta possui entre outras vantagens a possibilidade de se fazer análise através de algoritmos matemáticos, no sentido de se verificar algumas características do mesmo, por exemplo verificar se a RP é viva, isto é, não existam lugares que nunca são marcados ou transições que nunca são habilitadas e se não existem "dead-locks" ou o intertravamento nas marcações dos lugares.

O simulador desenvolvido por Valette é baseado no modelo de RP, sendo que esta pode ser temporizada e interpretada, isto é, tempo pode ser associado aos lugares, e expressões booleanas e inteiras podem ser associadas às transições permitindo estabelecer condições e ações em seus disparos.

No modelamento, lugares representam atividades e transições representam eventos. Quando uma marca é colocada em um lugar com tempo associado, essa marca permanece indisponível durante certo período de tempo.

O simulador internamente é constituído de um "jogador", responsável pela verificação de todas as atividades que estão em condições de serem iniciadas, de um "calendário" para o controle dos eventos correspondentes ao término de uma atividade (transformação de uma marca em disponível) e ações/condições previamente estabelecidas (disparo de transições fontes, início/fim de estatísticas, observação da simulação,...) e de "funções estatísticas" que coletam informações sobre a evolução da simulação. A simulação é conduzida por um misto de aproximação por eventos e atividades.

Para a realização de uma simulação é necessário descrever o modelo e especificar as condições de simulação. Isto é feito através de dois programas em separado e são utilizadas duas linguagens diferentes.

A descrição do modelo que é feito por uma rede de Petri interpretada é constituída de uma sequência de declarações que definem o tipo dos identificadores (lugares, transições, variáveis booleanas ou inteiras) as suas ligações (em forma de caminhos através dos arcos) e a sua interpretação (ações/condições associadas às transições). A linguagem para a descrição do modelo tem a sintaxe semelhante a um programa escrito em PASCAL.

A especificação das condições de simulação é feita através da marcação inicial dos lugares, da determinação dos tempos aos

lugares que são temporizados, da determinação do calendário com os tempos de início/fim das estatísticas, final de simulação, disparo das transições fontes e do período de observação.

O arquivo que contém a descrição da RP interpretada é analisado em primeiro lugar e tabelas são produzidas. Isto é feito através de um analisador/tradutor de sintaxe e semântica. Essas tabelas são na realidade a estrutura de dados na qual o "jogador" irá atuar. Em segundo lugar as condições de simulação são analisadas e a inicialização da estrutura de dados é feita.

A simulação propriamente dita é realizada por um terceiro programa, que é o núcleo de simulação. Nesse núcleo é que está o "jogador", que é responsável pela dinâmica da simulação, sendo nesse programa realizadas as estatísticas. Na versão disponível no CTI, os tempos associados aos lugares são constantes, isto é, não é permitido o uso de variáveis aleatórias. As estatísticas fornecidas ao final da simulação são: número de vezes que uma transição foi habilitada, número médio/máximo de vezes que um lugar foi marcado e valor médio/máximo de tempo que uma marca ficou disponível em um lugar.

3.7. CONCLUSÕES

Neste capítulo foram apresentados os principais conceitos aplicados a modelamento e simulação. Para modelos do tipo discreto foram discutidas diversas aproximações e ferramentas de modelamento existentes. Foram ainda apresentadas as principais linguagens utilizadas em simulação e um simulador baseado em eventos discretos por redes de Petri.

A escolha da RP foi baseada nos seguintes aspectos: obedece a regras simples de funcionamento, permite modelar uma gama muito grande de sistemas e possibilita a análise através de algoritmos matemáticos.

A escolha do núcleo de simulação baseado no modelo de rede de Petri, se deve ao fato de que essa ferramenta obedece a regras simples de funcionamento e permite um formalismo a partir do qual procedimentos de análise podem ser desenvolvidos, e ainda, por já terem sido feitos esforços no estudo e desenvolvimento de ferramentas baseadas nesse tipo de modelo por outras instituições, como no caso do PSI desenvolvido no LAAS (Toulouse).

No capítulo seguinte são apresentados os modelos em rede de Petri básicos, que possibilitam compor o modelo do sistema de transporte.

C A P I T U L O 4
= = = = = = = = =

MODELAMENTO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES USANDO
=====

REDE DE PETRI
=====

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, o tipo de sistema de transporte tratado na tese é definido e os modelos em RP, básicos para compor o modelo de uma rede de transporte, são apresentados.

São apresentados também os modelos de uma seção que permite entrar ou sair carga (pallets) de/para um carro na rede de transporte.

Por último, é mostrado como é possível associar tempo ao modelo, resolver conflitos e escolher caminhos alternativos na rede de transporte.

4.2. SISTEMAS DE TRANSPORTE

O sistema de transporte é de vital importância para o perfeito funcionamento de um SM. A escolha do meio de transporte adequado contribui para a melhoria do desempenho do sistema como um todo.

Pecas e ferramentas frequentemente são transportadas por carros que se locomovem por meios próprios em sistemas flexíveis da manufatura [2]. É apresentado a seguir um sistema desse tipo com as suas características principais.

4.2.1. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE TRANSPORTE

O sistema de transporte considerado é constituído de carros ("trucks") que se locomovem por meios próprios. Os carros são guiados por trilhos, que também definem o "lay-out" da rede de transporte. Os trilhos possuem pontos de controle que permitem parar ou alterar a rota dos carros. Somente sobre o ponto de controle é que existe comunicação entre o carro e o sistema de controle da rede de transporte.

4.2.2. DEFINIÇÃO DE SEÇÃO E SETOR

A rede de transporte é dividida em trechos chamados de seções. Uma seção é definida como sendo um trecho da rede de transporte entre dois pontos de controle, incluindo-se um ponto de controle (na saída da seção). Numa seção não é permitida a presença de mais de um carro ao mesmo tempo.

As seções na rede de transporte podem ser agrupadas. A esse agrupamento dá-se o nome de setor. Podemos ter setores do seguinte tipo: ligação, cruzamento, junção e bifurcação. A combinação desses setores possibilita a construção de redes de transporte com qualquer tipo de "lay-out". Em um setor do tipo bifurcação ou cruzamento é permitido a presença de mais de um carro, no entanto, somente um pode estar em movimento.

A Figura a seguir mostra uma rede de transporte composta de 13 seções e 8 setores.

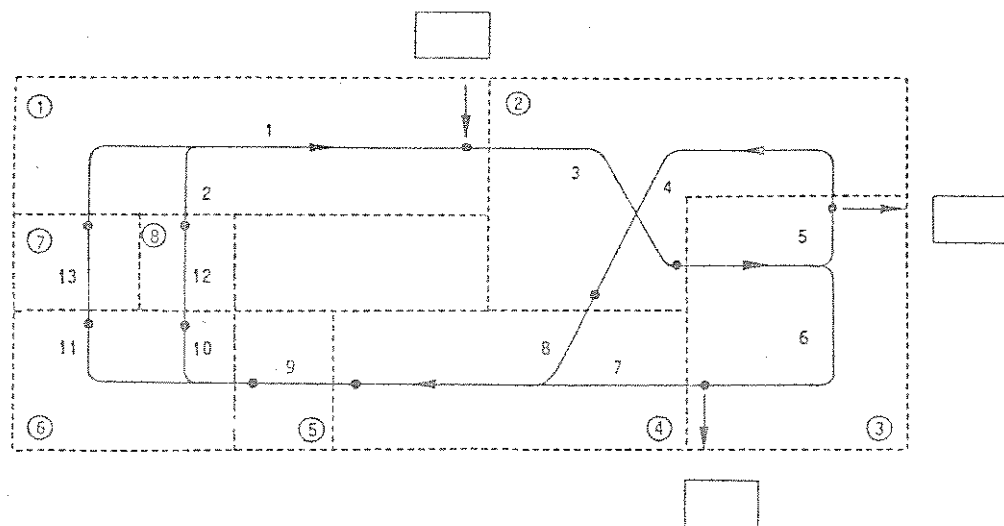


FIGURA 4.1 - "Lay-out" de uma rede de transporte

Na Figura 4.1 a seção 1 permite a entrada de carga nos carros e as seções 5 e 6 permitem a saída de carga dos carros.

4.2.3. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS SETORES

Os quatro tipos de setores apresentados, podem ser representados graficamente para a construção de uma rede de transporte. As Figuras 4.2, 4.3 4.4 e 4.5 mostram a maneira pela qual esses setores são representados.

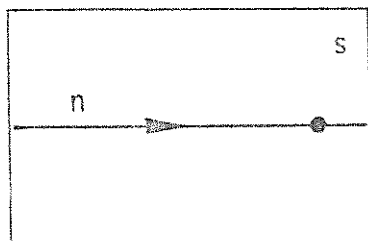


FIGURA 4.2 - Representação gráfica de um setor do tipo ligação

onde:

o	representa o ponto de controle
-----	representa os trilhos
----->-----	define o sentido de percurso
n	número da seção
s	número do setor

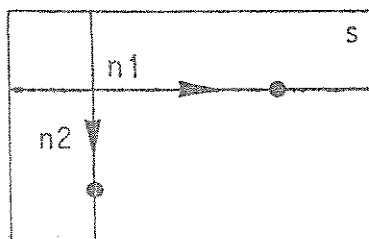


FIGURA 4.3 - Representação gráfica de um setor do tipo cruzamento

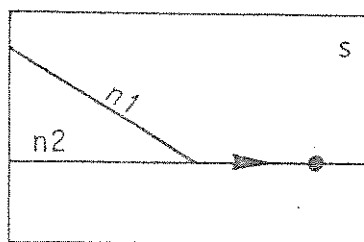


FIGURA 4.4 - Representação gráfica de um setor do tipo junção

Note que o setor mostrado na Figura 4.3 é constituído por duas seções, tendo somente um ponto de controle, que é comum às seções.

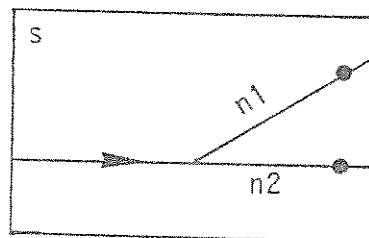


FIGURA 4.5 - Representação gráfica de um setor do tipo bifurcação

4.3. MODELO DE SEÇÃO

Os modelos que representam os setores que compõem uma rede de transporte, foram desenvolvidos a partir de um modelo de uma seção apresentado por Valette e outros em [2]. Esse modelo em RP pode ser visto na Figura 4.6.

O lugar PC representa o ponto de controle na rede, o lugar CSO representa se a seção está sendo percorrida ou não, e o lugar SL representa se a seção está livre ou não.

A possibilidade de existir sobreposição de seções devido a cruzamentos, junções ou bifurcações, requer que o modelo da seção possua o lugar CSL. Este lugar representa a possibilidade de uma das seções que se sobrepõe ser ou não percorrida.

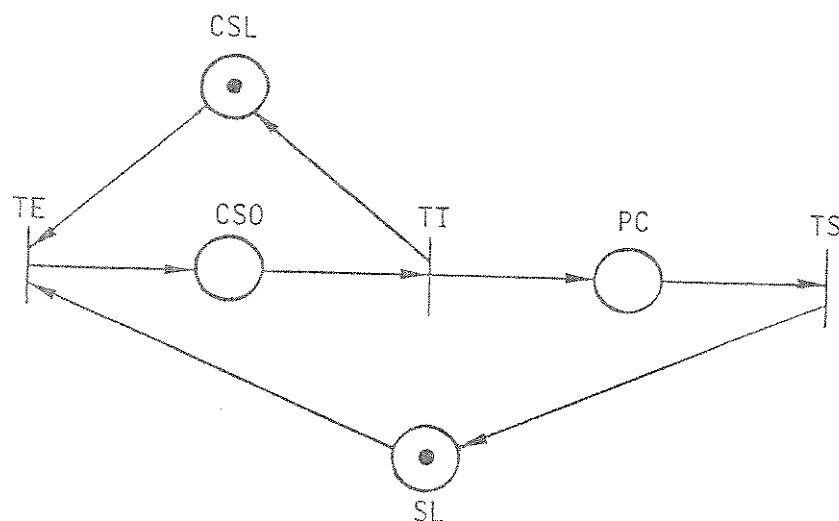


FIGURA 4.6 - Rede de Petri de uma seção

Um setor do tipo ligação no qual não existe sobreposição de seções, o modelo do setor pode ser mais simples, como será visto a seguir.

TE, TI e TS são respectivamente as transições de entrada, intermediária e saída.

Quando o lugar PC tiver uma marca, indicará que a seção encontra-se com um carro parado sobre o ponto de controle. Uma marca em CSO indicará que um carro está percorrendo a seção. Já uma marca em CSL indica que a seção pode ser cruzada por um carro em outra seção e uma marca em SL que a seção pode ser percorrida.

Para representar cada um dos setores, o que se faz é a simplificação no modelo para um setor do tipo ligação e a combinação de seções para os outros tipos de setores.

A RP global é obtida combinando-se as transições de entrada e saída de cada um dos setores que compõem a rede de transporte.

4.4. MODELO DOS SETORES

Os setores como visto no item 4.2 podem ser de quatro tipos. Esses tipos combinados permitem formar qualquer tipo de rede de transporte. A esses setores são atribuídas funções que servem para representar a entrada ou saída de cargas (pallets) nos carros que se locomovem na rede.

4.4.1. SETOR DE LIGAÇÃO

Um setor do tipo ligação serve para representar um trecho na rede de transporte, na qual o carro pode se locomover apenas em uma seção, tendo nesse caso apenas uma entrada e uma saída. O modelo visto na Figura 4.6 pode nesse caso ser simplificado, pois a seção por ser única nunca é cruzada. Desta forma o lugar CSL pode ser desprezado. O lugar CSO é combinado com o lugar PC formando o lugar CSOPC, isto resulta no modelo da Figura 4.7.

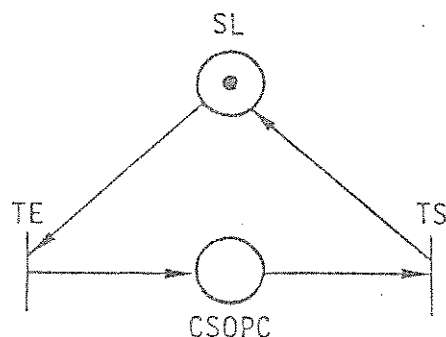


FIGURA 4.7 - Modelo de um setor de ligação

4.4.2. SETOR DE CRUZAMENTO

Um setor do tipo cruzamento representa a possibilidade do cruzamento de seções na rede de transporte. Nesse tipo de setor pode-se ter mais de um carro ao mesmo tempo, sendo que nesse caso o carro só pode entrar em uma seção que esteja vazia e além disso o carro que estiver na outra seção deve estar parado.

Para representar um setor desse tipo, os lugares que representam o cruzamento da seção livre (CSL) das seções que compõem o cruzamento devem ser combinados.

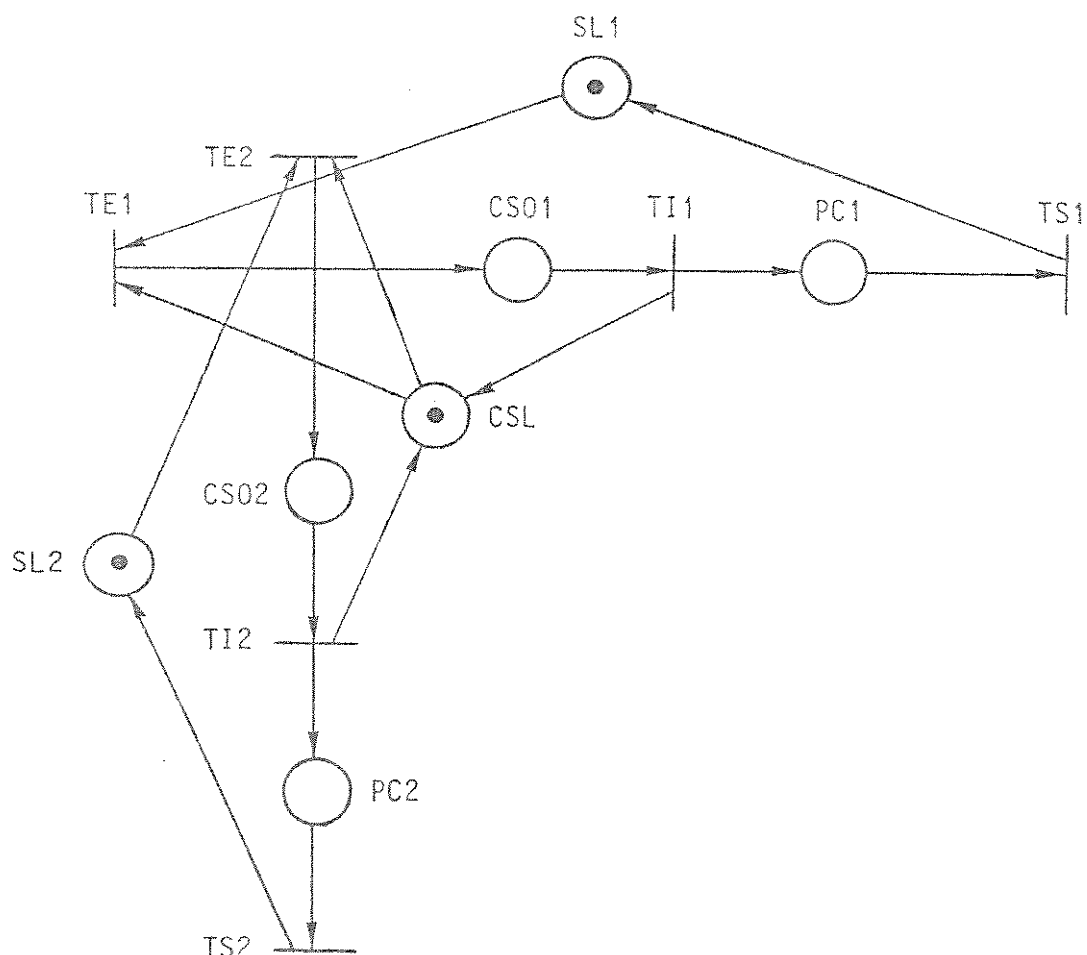


FIGURA 4.8 - Modelo de um setor do tipo cruzamento

4.4.3. SETOR DE JUNÇÃO

As seções que se unem na rede de transporte constituem um setor de junção, sendo que essas seções possuem o ponto de controle comum. Nesse tipo de setor, apenas um carro pode permanecer por vez, fazendo com que o modelo possa ser simplificado. Um setor do tipo junção pode ter mais de duas seções se unindo.

Os lugares que representam o cruzamento da seção livre das seções que constituem o setor, podem ser desprezados, e os lugares SL são combinados para impedir a entrada de mais de um carro por vez no setor.

Na Figura 4.9 é mostrado o modelo de um setor do tipo junção composto de duas seções.

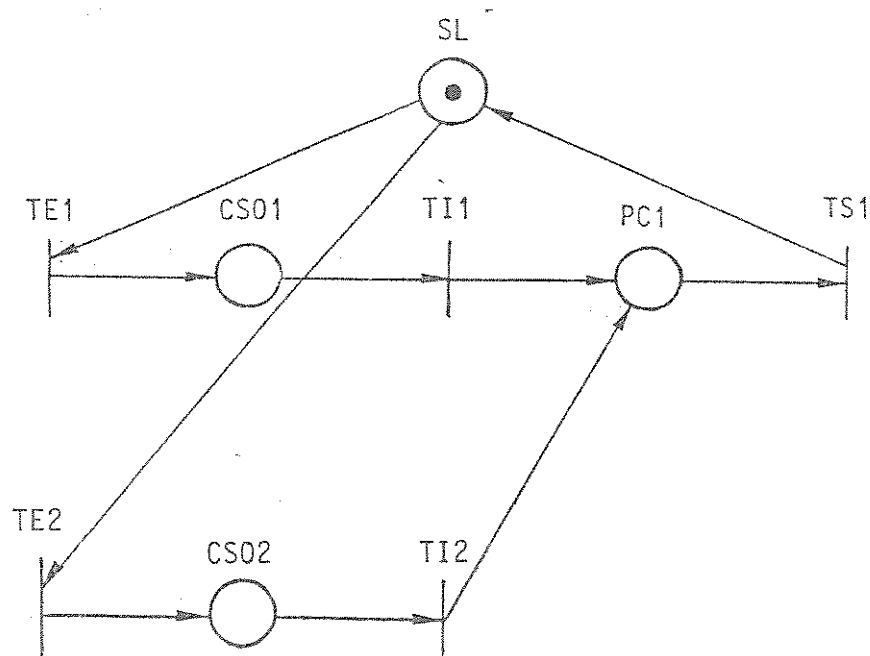


FIGURA 4.9 - Modelo do setor do tipo junção

4.4.4. SETOR DE BIFURCAÇÃO

Setores de bifurcação servem para representar ramificações ou caminhos alternativos em uma rede de transporte. O modelo desse setor é constituído de seções com os lugares CSL's combinados e arcos do ponto de controle (PC) da seção anterior ligando todas as transições de entrada das seções que constituem o setor. Devendo ainda adicionar arcos que unam os TE's das seções e o lugar SL da seção anterior para o perfeito funcionamento da RP.

Assim como nos setores do tipo junção, os setores do tipo bifurcação podem ter mais de duas seções. O modelo da Figura 4.10 mostra um setor do tipo bifurcação com duas seções.

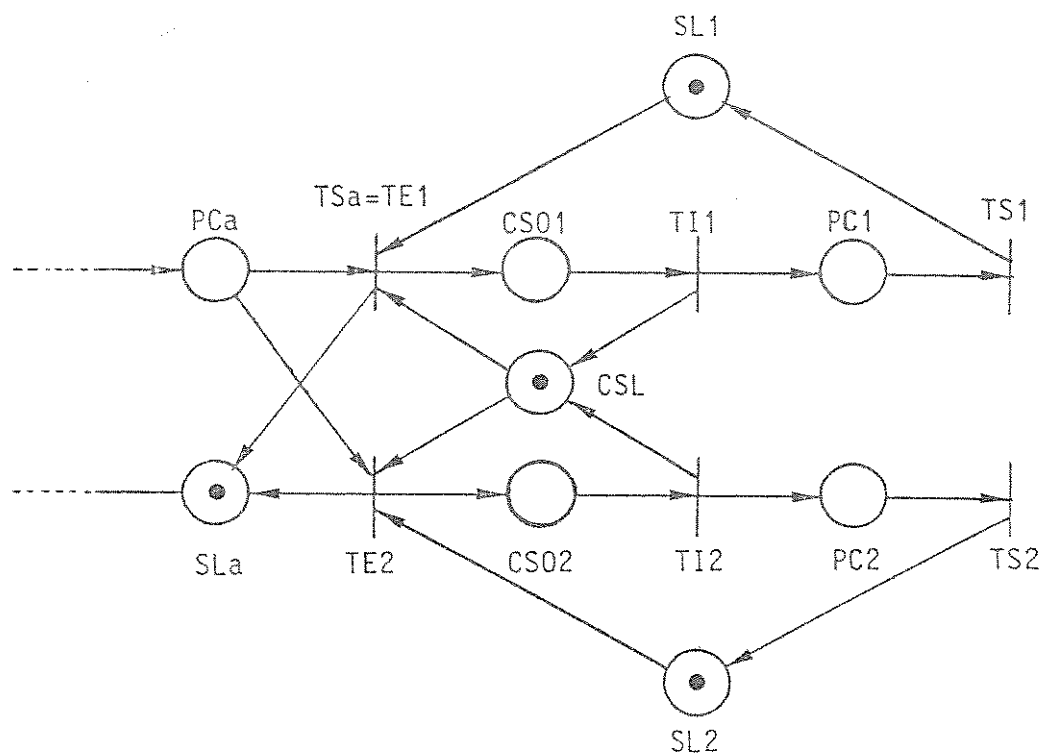


FIGURA 4.10 - Modelo de um setor do tipo bifurcação

onde: PCa e SLa são respectivamente os lugares que representam o Ponto de Controle e a Seção Livre da seção anterior.

4.4.5. FUNÇÃO DAS SEÇÕES

As seções que compõem uma rede de transportes podem permitir a entrada ou a saída de carga nos carros; a essa possibilidade dá-se o nome de função, podendo ter três tipos de funções que são:

- . Função nula;
- . Função de entrada;
- . Função de saída.

Para uma seção com função nula, não existe alteração no modelo da Figura 4.6, já para seção com função de entrada é necessário acrescentar novas transições e lugares.

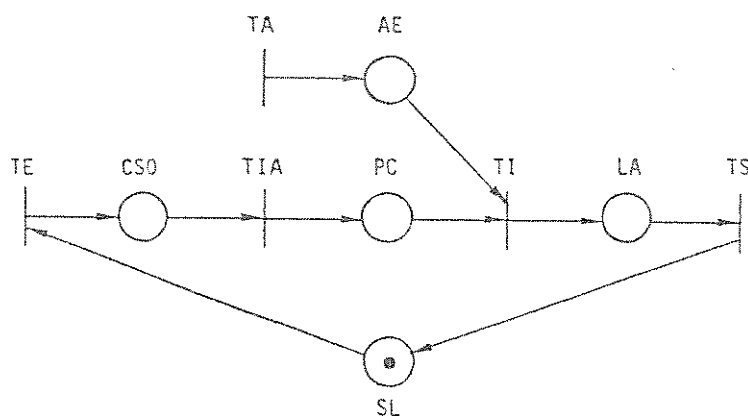


FIGURA 4.11 - Modelo de uma seção com função de entrada

O lugar AE no modelo representa o armazém de entrada. O lugar LA (lugar auxiliar) representa um carro que já percorreu a seção e já foi carregado. A transição TA permite a entrada de peças no armazém.

Uma seção com função de saída também necessita de alteração no modelo, sendo nesse caso acrescentado ao modelo da Figura 4.6 um lugar para representar o armazém de saída e também o LA que nesse caso representa um carro que já percorreu a seção e já está sem carga. O modelo é o seguinte:

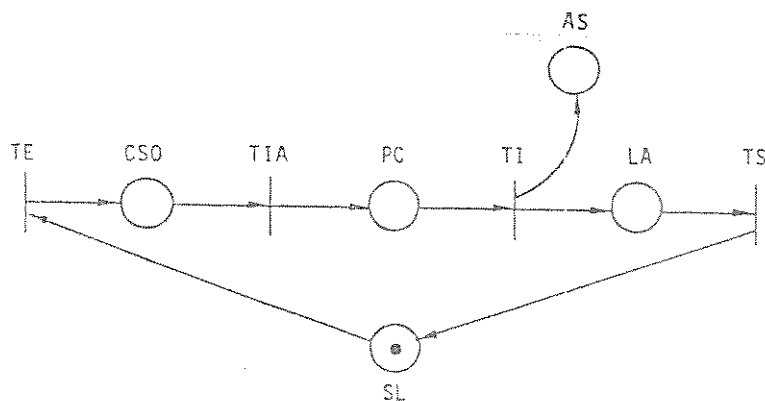


FIGURA 4.12 - Modelo de uma seção com função de saída

4.5. TEMPORIZAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Para representar os tempos relativos a percurso e carregamento/descarregamento são associados tempos aos lugares. Para o caso de tempo de percurso esse tempo é associado ao lugar CS0 e o tempo de carregamento/descarregamento ao lugar PC. Os lugares SL, CSL e LA não têm tempo associado.

Para o setor do tipo ligação, no qual os lugares CS0 e PC são combinados, caso haja função os tempos de percurso e carregamento/descarregamento são somados.

A RP obtida através dos modelos representa as regras de operação, i.e., as restrições de sincronização do sistema mecânico tais como, "somente um carro pode se mover a um mesmo tempo no setor" e "somente um carro pode estar numa seção".

Pode-se acrescentar ao modelo algumas regras de decisão que permitem resolver conflitos e permitem a escolha de um caminho. Essas regras implicam na interpretação da RP. Essa interpretação é conseguida associando-se expressões lógicas e/ou inteiras a uma transição.

Através da interpretação é possível dar-se prioridade ao percurso das seções nos setores do tipo cruzamento e junção e também de estabelecer alternativa no percurso das seções que compõem um setor do tipo bifurcação.

Para priorizar uma seção em um setor do tipo cruzamento, são associadas às transições intermediárias das seções anteriores uma ação (A) e às transições de entrada do setor uma condição (C), como na Figura 4.13.

No caso da Figura 4.13 uma variável do tipo booleana é testada para que TE2 possa ser habilitada, essa variável deve ter valor falso para que satisfaça a condição (A). Essa mesma variável assume valor verdadeiro sempre que um carro passar por T1x dando preferência para a seção 1. A variável recebe o valor falso depois que TE1 é habilitada, permitindo dessa maneira que a seção 2 seja percorrida.

Para o modelo da Figura 4.13 a seção 1 tem a preferência no percurso do setor, caso haja um conflito, i.e., um carro (ou marca) no lugar PCx e outro em PCy.

A preferência é obtida colocando-se uma condição associada à transição de entrada da seção sem a preferência. Essa condição é testada antes da transição ser habilitada, devendo ser satisfeito para que isso ocorra, o teste feito sobre uma variável definida pela seção com preferência.

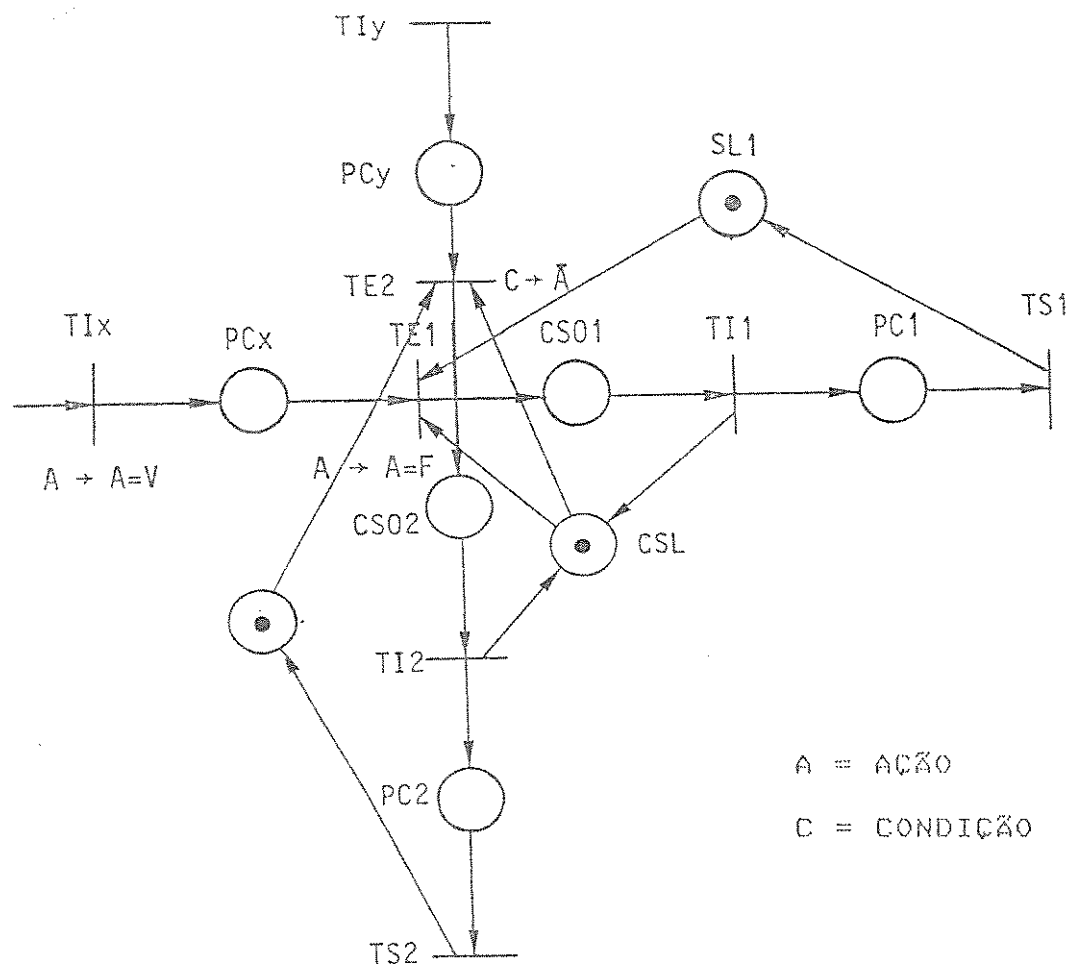


FIGURA 4.13 - Modelo de um setor do tipo cruzamento com interpretação

A escolha ou seleção de uma seção a ser percorrida no setor do tipo bifurcação é feita através da determinação da quantidade relativa de carros que é atribuída a cada uma das seções. Se o setor tiver duas seções e quantidade relativa for 3 para a seção 1 e 2 para a seção 2, isto significa que de cada 5 carros que percorrem o setor, 3 vão para a seção 1 e 2 para a seção 2.

Para que a relação possa ser obedecida, condições são estabelecidas através de uma variável inteira (X), nas transições de entrada das seções que compõem o setor. Para o caso citado acima para estabelecer a relação 3 para a seção 1 e 2 para a seção 2, a condição para que TE1 seja habilitada deve ser $X < 3$ ($X = 0$) e para TE2 a condição deve ser $X \geq 3$. Nas duas inicial transições deve ter também uma ação, que faça com que toda vez

que as seções forem percorridas, ou seja, que as transições de entrada sejam disparadas, a variável seja incrementada, no caso $X = X+1$. Um novo ciclo deve iniciar toda vez que o setor for percorrido 5 vezes, sendo dessa forma acrescentada à transição da ramificação mencionada uma condição, que faz com que essa transição só seja disparada se $X = 5$, e também uma ação que faz $X = 0$, dando origem a um novo ciclo.

A Figura 4.14 mostra o modelo do setor com a ramificação.

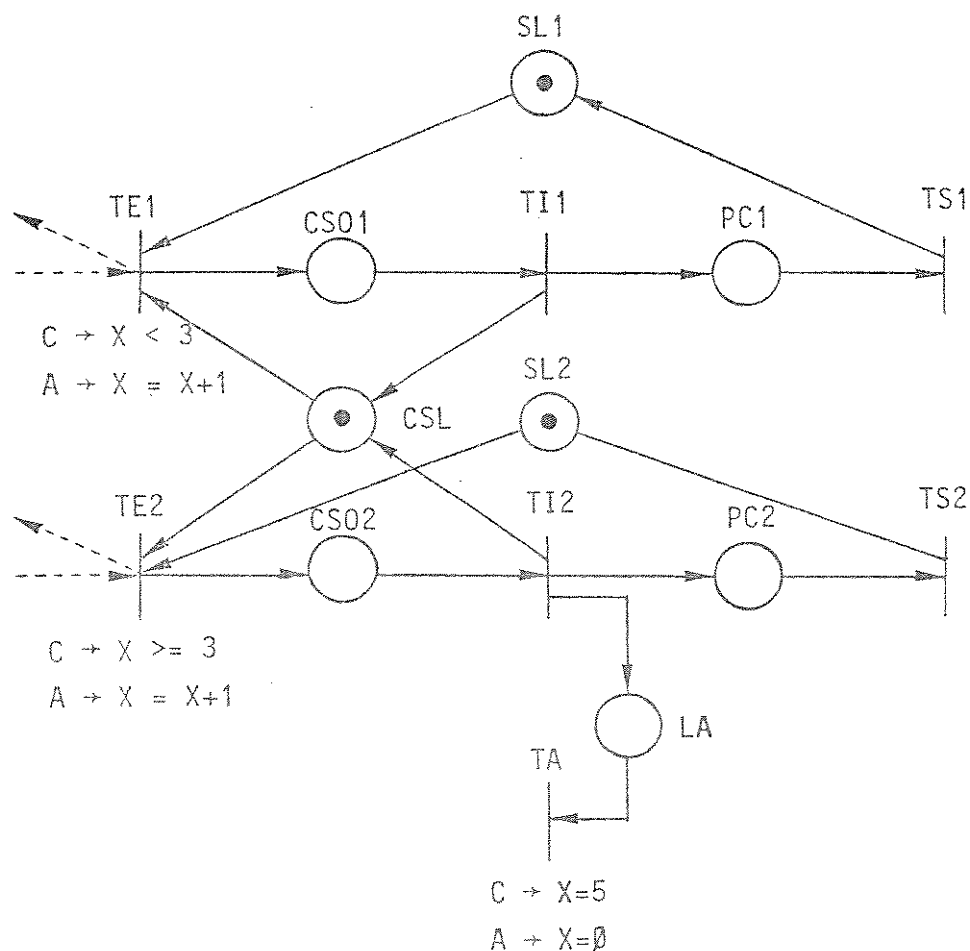


FIGURA 4.14 - Seleção em um setor do tipo bifurcação

A escolha de caminhos alternativos no percurso é portanto implementada através de um controlador. São associadas as transições de entrada do setor, condições para selecionar qual seção deve ser percorrida e também uma ação para que possa haver o con-

trole do número de vezes que as seções foram percorridas, é acrescentado ao modelo do setor uma ramificação em uma das seções contendo um lugar e uma transição para permitir a restauração do ciclo.

4.6. CONCLUSÕES

Neste capítulo foi apresentado o sistema de transporte para o qual o simulador foi desenvolvido. Foram definidas subdivisões na rede de transporte para facilitar a sua descrição e o seu modelamento usando linguagem de alto-nível.

O sistema de transporte proposto permite a movimentação de pallets por carros dentre locais pré-determinados, como por exemplo: almoxarifados para centros de trabalho, fim de estações de montagem para bancadas de teste, estações de montagem para estoques de produtos acabados, etc.

No capítulo seguinte serão apresentados: o protótipo do simulador de sistemas de transporte, as interfaces que permitem ao usuário interagir com o simulador e um exemplo de aplicação mostrando as utilização das interfaces e a obtenção e a análise dos resultados.

C A P Í T U L O 5
= = = = =

SIMULADOR DE SISTEMAS DE TRANSPORTE
=====

5.1. INTRODUÇÃO

Nesse capítulo é mostrado o protótipo de um simulador, que permite simular sistemas de transportes aplicados a sistemas de manufatura, os quais foram descritos no capítulo anterior.

O simulador é composto de interfaces que permitem uma interação amigável do usuário com o simulador, de um módulo gerador de Redes de Petri (RP) em forma de tabelas, e de um núcleo de simulação.

O núcleo de simulação, que é baseado no modelo em Rede de Petri, é o mesmo descrito no item 3.6, que foi desenvolvido no Laboratoire d'Automatique et d'Analyse de Systemes - LAAS (Toulouse/França), em uma versão também considerada protótipo.

Nesse capítulo, em primeiro lugar é mostrada a estrutura do simulador e a sua representação gráfica, onde são destacados os seus principais módulos.

Em seguida cada uma das interfaces existentes são descritas e são apresentadas: a linguagem utilizada em cada uma das interfaces e as formas pelas quais os resultados da simulação são fornecidos.

Por último são mostrados um exemplo de um sistema de transporte existente em uma indústria francesa, e a utilização das interfaces de descrição da rede de transporte, da especificação das condições de simulação e do núcleo de simulação.

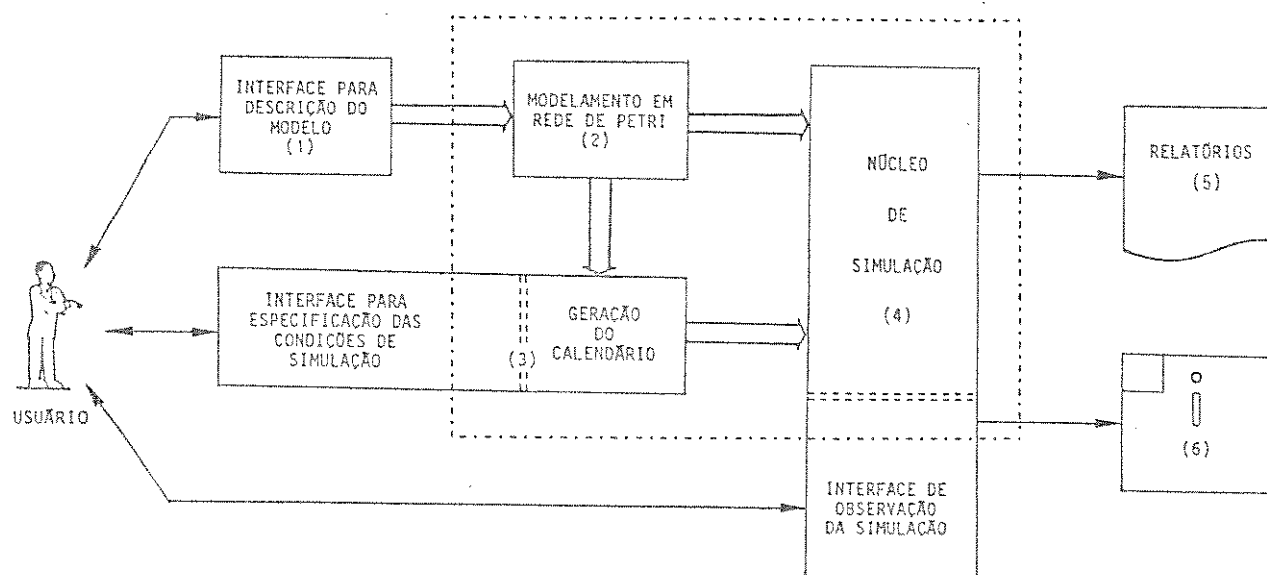
Para o exemplo apresentado é feita a análise dos resultados e outros casos são simulados com novas condições de simulação.

5.2. ESTRUTURA DO SIMULADOR

O simulador foi concebido no sentido de facilitar sua utilização a nível do usuário. Isto é possível através da utilização de "interfaces amigáveis" entre o usuário e o simulador, as quais permitem ao usuário descrever o sistema de transporte e obter resultados da simulação através de uma linguagem de alto-nível.

A interação entre o usuário e o simulador se dá através de três interfaces que permitem descrever o modelo do sistema, especificar as condições de simulação e observar a evolução da simulação.

Essas interfaces fazem com que toda a parte do simulador que trabalha com Rede de Petri (RP), fique transparente para o usuário. A Figura 5.1 mostra a representação esquemática do simulador.



- <—> interação usuário-simulador
 ===> comunicação via arquivo de dados
 ———> saída de resultados

FIGURA 5.1 – Representação esquemática do simulador

Na Figura 5.1 a parte entre as linhas tracejadas (—.—.—) é transparente para o usuário do simulador. O simulador é ainda composto das seguintes partes:

- (1) Interface interativa para a descrição do modelo;
- (2) Módulo de geração do modelo em RP na forma de tabelas;
- (3) Interface interativa para a especificação das condições de simulação e geração do calendário com os tempos e outros dados relativos à simulação;
- (4) Núcleo de simulação de RP com interface interativa para observação da evolução da simulação;
- (5) Impressão de relatórios sobre o estado da simulação e estatísticas;

- (6) Geração de arquivo no disquete com o estado e estatísticas finais da simulação.

5.2.1. INTERFACE DE DESCRIÇÃO DO MODELO

A interface de descrição do modelo permite ao usuário definir o lay-out do sistema de transporte. A definição é feita através de uma linguagem de alto-nível de forma interativa, onde todas as informações necessárias para a geração do modelo são solicitadas.

Os dados fornecidos pelo usuário são consistidos para detectar a ocorrência de erros na digitação e na descrição do modelo e, desta forma, evitar erros no modelamento.

Na saída do módulo da interface (1) é gerado um arquivo que contém a descrição da rede de transporte. Esse arquivo é utilizado pelo módulo de modelamento (2), o qual processa seus dados gerando o modelo em RP em forma de tabelas, as quais contém a identificação e as ligações entre os nós da RP (transições e lugares) e também a sua interpretação.

Para a descrição da rede de transporte a ser simulada, é necessário em primeiro lugar identificar os pontos de controle existentes na rede de transporte, para a determinação das seções. Em seguida é feito o agrupamento das seções, de tal forma a serem obtidos setores do tipo ligação, cruzamento, junção ou bifurcação.

A descrição propriamente dita é feita através da determinação da quantidade de setores existentes na rede, e a identificação de cada um deles. A identificação é feita determinando o tipo do setor e o número da(s) seção(ões) que forma(m) o setor.

Para setores do tipo cruzamento ou junção, é possível estabelecer preferência para uma das seções no percurso do setor. Para setores do tipo bifurcação, é possível determinar a quantidade relativa de carros para o percurso das seções que fazem parte do setor.

Além da determinação dos setores, é necessário determinar também a ligação das seções através da definição dos caminhos existentes na rede de transporte. Também é necessário determinar quais seções permitem a entrada, e quais seções permitem a saída de carga (pallets) nos carros.

A Figura 5.2 mostra a linguagem para a descrição da rede de transporte. A sua utilização é detalhada no desenvolvimento do exemplo de utilização no item 5.4.

DESCRIÇÃO DA REDE DE TRANSPORTE:			
QUANTOS SÃO OS SETORES NA REDE?			
IDENTIFIQUE OS SETORES:			
QUAL O TIPO DO SETOR __? (B-BIF, C-CRUZ, J - JUN, L - LIG)			
L	C OU J	B	
QUAL O NÚMERO DA SEÇÃO	EXISTE PREFERÊNCIA NO SETOR? (S/N)	QUAL O NÚMERO DAS SEÇÕES?	
REPETIDO P/ TODOS OS SETORES	S	ENTRE COM OS NÚMEROS DAS SEÇÕES EM ORDEM DE PREFERÊNCIA	EXISTE SELEÇÃO NO PERCURSO DA BIFURCAÇÃO? (S/N)
	N	QUAL O NÚMERO DAS SEÇÕES?	S
QUAL A QUANTIDADE RELATIVA DE CARROS PARA CADA SEÇÃO?			
DEFINA OS CAMINHOS DA REDE. USE PARÊNTESES PARA CAMINHOS DIFERENTES:			
QUE SEÇÕES TÊM FUNÇÃO DE ENTRADA?			
QUE SEÇÕES TÊM FUNÇÃO DE SAÍDA?			
ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO: (SAÍDA)			

FIGURA 5.2 - Linguagem para descrição da rede de transporte

5.2.2. INTERFACE DE ESPECIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO

Essa interface permite ao usuário determinar os tempos envolvidos na simulação, a quantidade de carros, a posição inicial dos carros, o estado inicial dos armazéns, e também optar pela observação da evolução da simulação.

Os tempos envolvidos na simulação são os seguintes:

- . Tempo de duração da simulação;
- . Tempo de início das estatísticas;
- . Tempo de chegada dos pallets e a frequência;
- . Tempo de percurso das seções;
- . Tempo de carregamento ou descarregamento dos pallets, e
- . Tempo de observação da simulação.

Esse módulo possui como entrada, além das informações fornecidas pelo usuário, um arquivo gerado no modelamento da RP (módulo 2). Esse arquivo contém o número das seções que tem função de entrada ou saída, o número dos lugares da RP que tem tempo associado e o número dos lugares que devem ser marcados inicialmente.

Para a especificação das condições de simulação, em primeiro lugar são fornecidos o tempo de duração da simulação, que deve ser um valor inteiro e o tempo de início das estatísticas. As estatísticas podem ser iniciadas em tempo zero ou em qualquer outro tempo inferior ao tempo de duração da simulação.

Em seguida é determinada a quantidade de carros e a posição inicial dos mesmos, é feito o dimensionamento dos armazéns de entrada, fornecendo-se a quantidade inicial de pallets armazenados e a chegada de outros pallets. Caso isso ocorra, é determinado o tempo de chegada do primeiro pallet e a frequência dos demais.

Também é feita a opção pela observação da evolução da simulação, e em caso afirmativo é determinado o período de observação. Por último, são definidos os tempos de percurso das seções e o tempo de carregamento e/ou descarregamento para as seções com essas funções. Esses tempos também devem ser valores inteiros.

A Figura 5.3 mostra a linguagem de especificação das condições de simulação usada nessa interface.

ESPECIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO:		
NOME ARQ. C/ TAB. DA REDE?		
QUAL O TEMPO DE DURAÇÃO DA SIMULAÇÃO?		
EM QUE TEMPO INICIAM-SE AS ESTATÍSTICAS?		
QUANTOS CARROS TEM NA REDE?		
DETERMINE A POSIÇÃO INICIAL DOS CARROS:		
1º CARRO - SEÇÃO: _ _		
2º CARRO - SEÇÃO: _ _		
⋮		
DIMENSIONAMENTO DOS ARMAZENS DE ENTRADA:		
P/ TODAS SEÇÕES C/ FUNÇÃO DE ENTRADA	ARMAZÉM: _ _	
	QUAL O ESTADO INICIAL DO ARMAZÉM? (em número de pallets)	
	CHEGAM MAIS PALLETS? (S/N)	
	S	EM QUE TEMPO CHEGA o 1º PALLET?
	QUAL A FREQUÊNCIA?	
QUER OBSERVAR A EVOLUÇÃO DA SIMULAÇÃO? (S/N)		
S	COM QUE PERÍODO?	
DEFINA OS TEMPOS ASSOCIADOS ÀS SEÇÕES?		
PARA TODAS SEÇÕES	SEÇÃO _ _ - PERCURSO:	
	CARREGAMENTO	(P/ SEÇÕES C/ FUNÇÃO DE ENTRADA)
	DESCARREGAMENTO	(P/ SEÇÕES C/ FUNÇÃO DE SAÍDA)
QUAL O NOME DO ARQUIVO (SAÍDA)?		

FIGURA 5.3 - Linguagem de especificação das condições de simulação

5.2.3. INTERFACE COM O NÚCLEO DE SIMULAÇÃO

O núcleo de simulação é responsável pela execução da dinâmica da simulação. O núcleo tem como entradas os arquivos gerados pelos módulos 2 e 3, ou seja, o modelo em RP do sistema a ser simulado e o calendário contendo os outros dados necessários à simulação.

A execução da simulação pode ser realizada de dois modos diferentes, que são os seguintes:

- . Modo autônomo;
- . Modo interativo.

No modo autônomo a simulação é realizada sem a interferência do usuário. A simulação é realizada no tempo definido pelo usuário, e as estatísticas são também realizadas no período definido. No final é gerado um arquivo contendo as estatísticas.

No modo interativo é possível observar a evolução da simulação e também interromper a execução da simulação em um dos pontos de observação.

A interface do núcleo com o usuário se dá também através de uma linguagem interativa. Em primeiro lugar é solicitado do usuário o nome dos arquivos contendo as tabelas do modelo em RP e o calendário. Isto pode ser visto na Figura 5.4.

```

NÚCLEO DE SIMULAÇÃO - SIMULADOR BASEADO EM REDE DE PETRI
ARQUIVO TAB. DA REDE?

.
.
.

ARQUIVO COMPIL. COND. SIMULAÇÃO?

.
.
.
```

FIGURA 5.4 - Parte da interface usuário-núcleo

O núcleo permite ao usuário observar a evolução da simulação, em períodos pré-definidos na especificação das condições de simulação. Na observação da simulação são fornecidas as seguintes opções (-) e os seguintes resultados (.):

- VERIFICAR O ESTADO DAS SEÇÕES:

- . Com carro em movimento, ou
- . Com carro em estado de espera (parado), ou
- . Sem carro.

- VERIFICAR O ESTADO DOS ARMAZÉNS:

- . Quantidade de pallets.

- OBTER ESTATÍSTICAS SOBRE AS SEÇÕES:

- . Tempo de percurso da seção (TEMPO);
- . Número de vezes que foi percorrida (NVZPER);
- . Tempo de chegada ou partida do último carro (TCHPAR);
- . Espera máxima dos carros na seção (ESPMAX);
- . Espera média dos carros na seção (ESPMED).

- OBTER ESTATÍSTICAS SOBRE OS ARMAZÉNS:

- . Quantidade de pallets (QTDPAL);
- . Tempo de chegada ou saída do último pallet (TCHESA);
- . Número máximo de pallets armazenados (NUMMAX);
- . Número médio de pallets armazenados (NUMMED).

- IMPRIMIR RELATÓRIOS:
 - . Estado e as estatísticas dos armazéns;
 - . Estatísticas das seções.
- ABANDONAR O PONTO DE OBSERVAÇÃO.
- TERMINAR A SIMULAÇÃO NESSE PONTO.

A interface para a observação da evolução da simulação pode ser vista na Figura 5.5.

5.2.4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Ao final da simulação são fornecidos resultados contendo informações sobre as seções e os armazéns da rede de transporte. Esses resultados auxiliam no dimensionamento dos armazéns, na determinação da frequência de chegada dos pallets, na determinação da quantidade de carros, da velocidade dos carros, preferências para seções, dimensionamento de um local para estacionamento de carros na rede, quando houver, entre outros.

Os resultados finais da simulação são fornecidos de duas maneiras, através de um arquivo gravado em disquete ou de um relatório impresso em formulário via impressora. As informações fornecidas são as seguintes:

- Tempo inicial das estatísticas;
- Tempo final das estatísticas;
- Armazéns de entrada:
 - . Número de pallets (NUMPAL);
 - . Número máximo de pallets (NUMMAX);
 - . Número médio de pallets (NUMMED).
- Seções:
 - . Tempo de percurso (TEMPO);
 - . Número de vezes que foi percorrida (NVZPER);
 - . Espera máxima (ESPMAX);
 - . Espera média (ESPMED).

O "lay-out" do arquivo gerado em disquete com os resultados da simulação é mostrado na Figura 5.6.

TEMPO __ __ OPÇÕES: Ø, A, E, F, R, S, H-elp	
H (opção)	
HELP:	
Ø - ABANDONA PONTO DE OBSERVAÇÃO	
A - ESTADO DOS ARMAZÊNS	
E - ESTATÍSTICAS	
F - FIM DA SIMULAÇÃO	
R - RELATÓRIO	
S - ESTADO DAS SEÇÕES	
A (opção)	
QUAL O NÚMERO DO ARMAZÉM? (* PARA TODOS)	
ARMAZÉM: __ __ QUANTIDADE DE PALLETS: __ __	
S (opção)	
QUAL O NÚMERO DA SEÇÃO? (* PARA TODOS)	
SEÇÃO: (nº) (estado da seção) __	
E (opção)	
OPC: 1 - ARM. - 2 - SEÇ	
	1 (opção)
	QUAL O NÚMERO DO ARMAZÉM? (* PARA TODOS)
	ARMAZÉM: __ __
	QTDPAL = TCHESA =
	NUMMAX = NUMMED =
	2 (opção)
	QUAL O NÚMERO DA SEÇÃO? (* PARA TODOS)
	SEÇÃO: __ __
	TEMPO = NVZPER = TCHPAR =
	ESPMAX = ESPMED =

FIGURA 5.5 - Interface usuário-núcleo para observação

```

      ESTATISTICAS DA REDE DE TRANSPORTE

TEMPO INICIAL :      0
TEMPO FINAL   :     200

ARMAZENS :

      ARMAZEM DE ENTRADA:      1
      NUMPAL=      6      NUMAX=      8      NUMED=      5.80
      ARMAZEM DE SAIDA:      3
      NUMPAL=     37      NUMAX=     37      NUMED=     18.18
      ARMAZEM DE SAIDA:      5
      NUMPAL=      0      NUMAX=      0      NUMED=      0.00

SECOES :
      SECAO:      1
      TEMPO =      4      NVZPER=     38
      ESPMAX=      0      ESPMED=     0.00
      SECAO:      2
      TEMPO =      2      NVZPER=     38
      ESPMAX=      0      ESPMED=     0.00
      SECAO:      7
      TEMPO =      2      NVZPER=     37
      ESPMAX=      0      ESPMED=     0.00
      SECAO:      3
      TEMPO =      4      NVZPER=     37
      ESPMAX=      0      ESPMED=     0.00
      SECAO:      4
      TEMPO =      2      NVZPER=      0
      ESPMAX=      0      ESPMED=     0.00
      SECAO:      5
      TEMPO =      4      NVZPER=      0
      ESPMAX=      0      ESPMED=     0.00
      SECAO:      6
      TEMPO =      2      NVZPER=      0
      ESPMAX=      0      ESPMED=     0.00
      SECAO:      8
      TEMPO =      2      NVZPER=     36
      ESPMAX=      0      ESPMED=     0.00
      SECAO:      9
      TEMPO =      2      NVZPER=     37
      ESPMAX=      2      ESPMED=     0.05

FIM.

```

Figura 5.6 - "Lay-out" do arquivo com os resultados finais da simulação

As informações contidas no relatório são as mesmas do arquivo em disquete, apenas o "lay-out" é alterado, no sentido de se conseguir um formato mais adequado para apresentação dos resultados em formulário-contínuo. A Figura 5.7 mostra o "lay-out" do relatório.

RESULTADOS DA SIMULACAO					
TEMPO INICIAL	---	0	TEMPO FINAL	---	200
ESTATISTICAS DOS ARMAZENS					
NUM. DO ARM.	FUNCAO	NUM. PALLETS	NUM. MEDIO	NUM. MAXIMO	
1	ENTR.	6	5.80	8	
3	SAIDA	37	18.18	37	
5	SAIDA	0	0.00	0	
ESTATISTICAS DAS SECOES					
NUM. DA SEC.	TEMPO	NUM.VEZ.PER.	ESP. MEDIA	ESP. MAXIMA	
1	4	38	0.00	0	
2	2	38	0.00	0	
7	2	37	0.00	0	
3	4	37	0.00	0	
4	2	0	0.00	0	
5	4	0	0.00	0	
6	2	0	0.00	0	
8	2	36	0.00	0	
9	2	37	0.05	2	

FIGURA 5.7 - "Lay-out" do relatório

5.4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Neste item é mostrado um exemplo de utilização do simulador, com as respectivas interfaces.

5.4.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE

O exemplo utilizado é semelhante a uma rede de transporte real, com carros que se locomovem por meios próprios, e que são guiados por trilhos. Essa rede foi construída em uma indústria francesa. Ela é utilizada para alimentação de 3 bancadas de testes ("test workbench"), a partir de 3 estações de carregamento, podendo ter 20 carros circulando a um mesmo tempo.

Nesse exemplo, são feitas simplificações na rede de transporte, por simples conveniência no desenvolvimento do exemplo. É considerada então uma rede com o mesmo tipo de "lay-out", onde 2 bancadas de testes são alimentadas a partir de 2 estações de carregamento, podendo conter 15 carros circulando ao mesmo tempo.

A rede de transporte usada no exemplo pode ser vista na Figura 5.9.

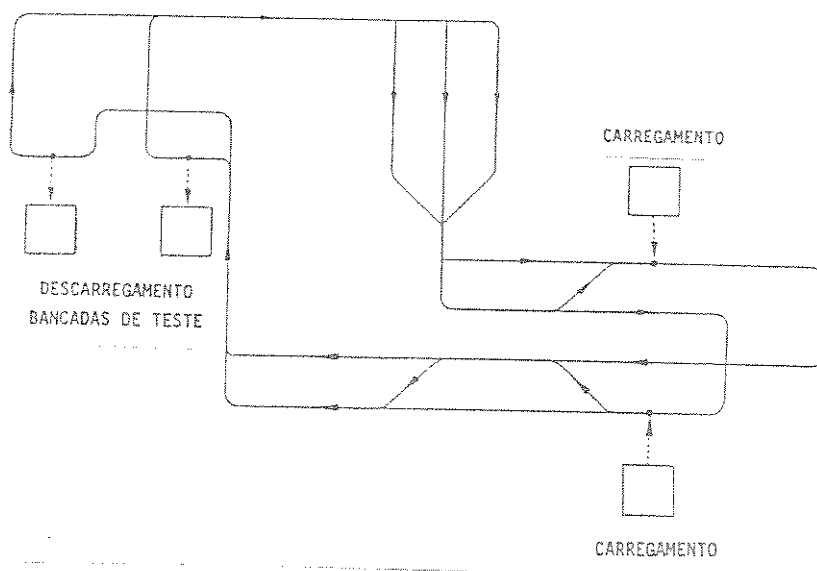


FIGURA 5.9 - "Lay-out" da rede de transporte

5.4.2. DESCRIÇÃO DO MODELO

Na descrição do modelo, é necessário em primeiro lugar identificar os pontos de controle existentes na rede. Feito isto, são determinados os setores existentes e um número é associado a cada um deles. Também as seções são numeradas, para que seja possível a sua identificação.

A priorização no percurso de seções e a fixação de caminho também é feita na descrição do modelo, já que isto faz parte do modelo em RP que representa a rede de transporte.

A rede de transporte com a respectiva divisão em setores e a numeração das seções pode ser vista na Figura 5.10. A rede é composta de 21 setores e de 37 seções, as seções 32 e 34 têm função de entrada (i.e., permitem o carregamento dos carros), e as seções 13 e 18 têm função de saída (descarregamento).

Os caminhos existentes na rede são determinados a partir da descrição do caminho principal. Iniciando e terminando na mesma seção, este caminho pode ser qualquer. Os caminhos que não fizerem parte do caminho principal devem ser descritos em separado. Usa-se parênteses "()" para cada um dos caminhos. Os caminhos escolhidos na rede do exemplo são os seguintes:

(1, 2, 5, 8, 12, 15, 18, 21, 23, 28, 29, 31, 33, 34, 36, 1), (3, 6, 9), (4, 7, 10), (11, 13, 17, 19, 25, 27, 30), (16, 14), (22, 20), (26, 24), (32, 35, 37).

Na descrição dos caminhos nenhuma seção é repetida, com exceção da primeira seção do caminho principal (seção 1 no exemplo).

Como restrição à escolha do setor 1, ele não pode ser do tipo bifurcação, pois no modelamento em RP, tal setor requer que o setor anterior já tenha sido descrito.

Como foi visto no capítulo anterior, a descrição da rede de transporte é feita através de uma interface interativa, onde os dados a serem fornecidos são requeridos do usuário. A seguir é mostrada uma listagem contendo a linguagem usada para a descrição da rede de transporte do exemplo, Figura 5.11.

Para o nome do arquivo de saída é usado um nome com extensão .TAB, para identificação do arquivo que contém as tabelas da rede.

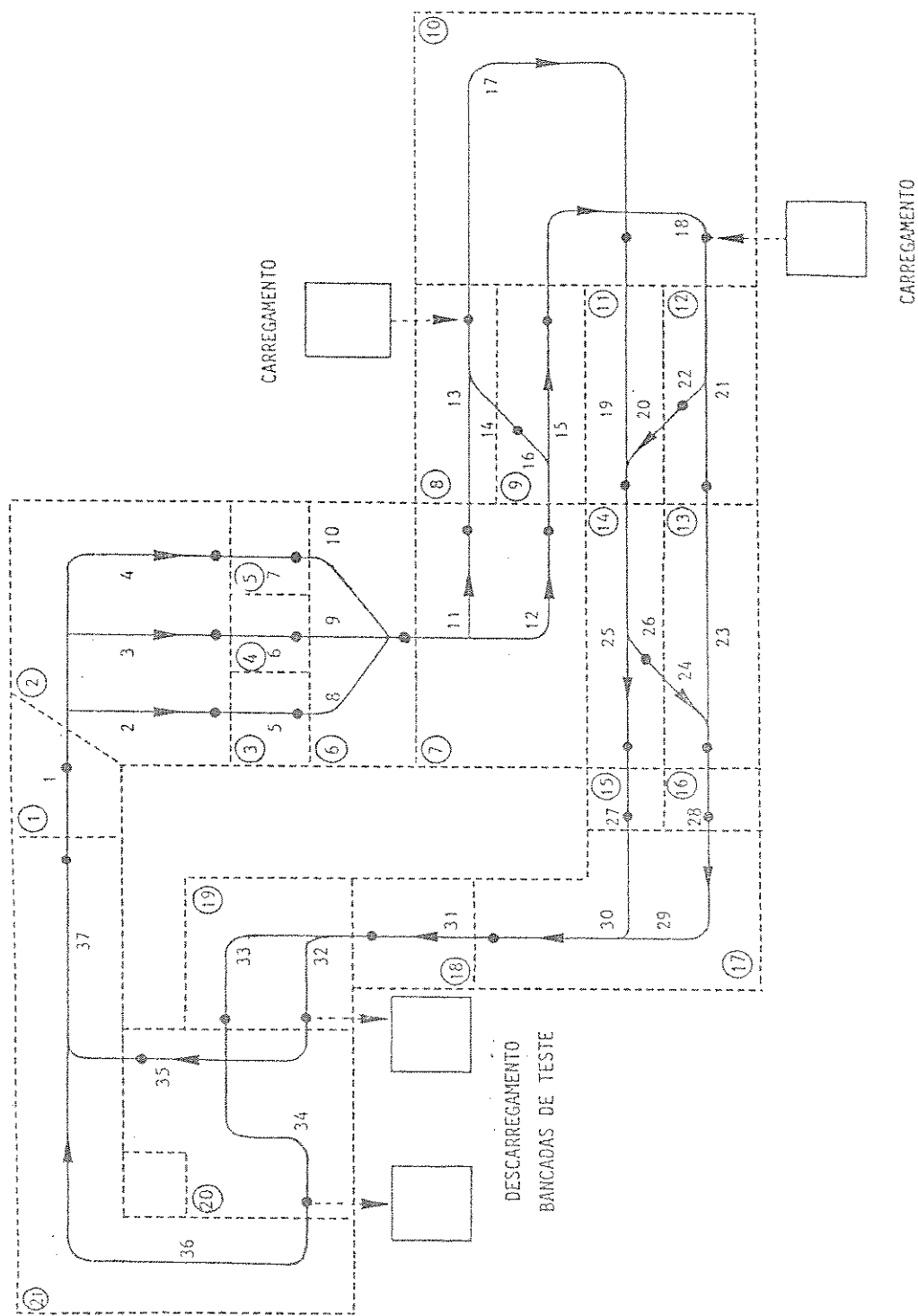


FIGURA 5.10 - "Lay-out" da rede de transporte

DESCRICAO DA REDE DE TRANSPORTE:

QUANTOS SAO OS SETORES NA REDE?

21

IDENTIFIQUE OS SETORES:

QUAL O TIPO DO SETOR 1 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)

1

QUAL O NUMERO DA SECAO?

1

QUAL O TIPO DO SETOR 2 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)

b

QUAL O NUMERO DAS SECOES?

2,3,4

EXISTE SELECAO NO PERCURSO DA BIFURCACA0? (S/N)

n

QUAL O TIPO DO SETOR 3 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)

1

QUAL O NUMERO DA SECAO?

5

QUAL O TIPO DO SETOR 4 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)

1

QUAL O NUMERO DA SECAO?

6

QUAL O TIPO DO SETOR 5 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)

1

QUAL O NUMERO DA SECAO?

7

QUAL O TIPO DO SETOR 6 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)

j

EXISTE PREFERENCIA NO SETOR? (S/N)

n

QUAL O NUMERO DAS SECOES?

8,9,10

QUAL O TIPO DO SETOR 7 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)

b

QUAL O NUMERO DAS SECOES?

11,12

EXISTE SELECAO NO PERCURSO DA BIFURCACA0? (S/N)

n

QUAL O TIPO DO SETOR 8 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)

j

EXISTE PREFERENCIA NO SETOR? (S/N)

n

QUAL O NUMERO DAS SECOES?

13,14

QUAL O TIPO DO SETOR 9 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)

b

QUAL O NUMERO DAS SECOES?

15,16

EXISTE SELECAO NO PERCURSO DA BIFURCACA0? (S/N)

n

QUAL O TIPO DO SETOR 10 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)

c

EXISTE PREFERENCIA NO SETOR? (S/N)

n

QUAL O NUMERO DAS SECOES?

17,18

QUAL O TIPO DO SETOR 11 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
j
EXISTE PREFERENCIA NO SETOR? (S/N)
n
QUAL O NUMERO DAS SECOES?
19,20

64

QUAL O TIPO DO SETOR 12 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
b
QUAL O NUMERO DAS SECOES?
21,22
EXISTE SELECAO NO PERCURSO DA BIFURCACA0? (S/N)
n

QUAL O TIPO DO SETOR 13 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
j
EXISTE PREFERENCIA NO SETOR? (S/N)
n
QUAL O NUMERO DAS SECOES?
23,24

QUAL O TIPO DO SETOR 14 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
b
QUAL O NUMERO DAS SECOES?
25,26
EXISTE SELECAO NO PERCURSO DA BIFURCACA0? (S/N)
n

QUAL O TIPO DO SETOR 15 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
1
QUAL O NUMERO DA SECA0?
27

QUAL O TIPO DO SETOR 16 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
1
QUAL O NUMERO DA SECA0?
28

QUAL O TIPO DO SETOR 17 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
j
EXISTE PREFERENCIA NO SETOR? (S/N)
n
QUAL O NUMERO DAS SECOES?
29,30

QUAL O TIPO DO SETOR 18 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
1
QUAL O NUMERO DA SECA0?
31

QUAL O TIPO DO SETOR 19 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
b
QUAL O NUMERO DAS SECOES?
32,33
EXISTE SELECAO NO PERCURSO DA BIFURCACA0? (S/N)
n

QUAL O TIPO DO SETOR 20 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
c
EXISTE PREFERENCIA NO SETOR? (S/N)
n
QUAL O NUMERO DAS SECOES?
34,35

QUAL O TIPO DO SETOR 21 ? (B-BIF,C-CRUZ,J-JUN,L-LIG)
j
EXISTE PREFERENCIA NO SETOR? (S/N)
n
QUAL O NUMERO DAS SECOES?
36,37

```

DEFINA OS CAMINHOS DA REDE. USE PARENTESSES PARA CAMINHOS DIFERENTES:
(1,2,5,8,12,15,18,21,23,28,29,31,33,34,36,1),(3,6,9),(4,7,10),
(11,13,17,19,25,27,30),(16,14),(22,20),(26,24),(32,35,37)

```

```

QUE SECOES TEM FUNCAO DE ENTRADA?
13,18

```

```

QUE SECOES TEM FUNCAO DE SAIDA?
32,34

```

```

* * * * *

```

```

GERANDO AS TABELAS QUE MODELAM A REDE DE TRANSPORTE.AGUARDE!!!

```

```

ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO:(saida)
rede.tab

```

```

*** PRONTO ***

```

FIGURA 5.11 - Interface de descrição do modelo

5.4.3. ESPECIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO

Na especificação das condições de simulação deve-se determinar os tempos envolvidos na simulação, conforme visto neste capítulo. Esses tempos devem ser valores inteiros, que podem representar qualquer unidade de tempo.

Os tempos de percurso devem ser determinados em função da velocidade dos carros e do comprimento das seções. No dimensionamento dos armazéns pode ser atribuída inicialmente uma quantidade de pallets qualquer para serem transportados, e ainda, estabelecer a chegada de mais pallets durante o tempo de duração da simulação. A chegada de novos pallets é determinada através de uma certa frequência. Por exemplo: se a frequência for igual a 5, isso indica que a cada 5 unidades de tempo chega mais um pallet. A observação da simulação deve ser definida nessa interface, determinando-se o período no qual essa observação se dará.

Para o nome do arquivo de saída é escolhido um nome com extensão .CAL, embora não haja restrição quando ao nome e a extensão escolhidos.

No exemplo serão considerados os seguintes dados:

- . Tempo de duração da simulação = 500;
- . Tempo de início das estatísticas = 0;
- . Quantidade de carros = 9;

- Posição inicial dos carros, seções: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11 e 12;
- Armazém 13:
 - .. Quantidade inicial = 5 pallets,
 - .. Frequência = 10 a partir do tempo 1;
- Armazém 18:
 - .. Quantidade inicial = 5 pallets,
 - .. Frequência = 10 a partir do tempo 1
- Período de observação da simulação = 250;
- Tempos associados às seções:

SEÇÃO	PERCURSO	DESC./CAR.	SEÇÃO	PERCURSO	DESC./CAR.
1	1		20	1	
2	3		21	2	
3	3		22	1	
4	4		23	2	
5	1		24	1	
6	1		25	2	
7	1		26	1	
8	2		27	1	
9	2		28	1	
10	2		29	3	
11	2		30	2	
12	3		31	2	
13	2	4	32	2	4
14	2		33	2	
15	2		34	2	4
16	1		35	2	
17	3		36	4	
18	2	4	37	1	
19	2				

A Figura 5.12 mostra a linguagem usada na interface para especificação das condições de simulação.

ESPECIFICACAO DAS CONDICAOES DE SIMULACAO:

NOME ARQ. C/ TAB. DA REDE?
rede.tab

QUAL O TEMPO DE DURACAO DA SIMULACAO?
500

EM QUE TEMPO INICIAM-SE AS ESTATISTICAS?
0

QUANTOS CARROS TEM NA REDE?
9

DETERMINE A POSICAO INICIAL DOS CARROS:

10. CARRO - SECAO: 1

20. CARRO - SECAO: 2

30. CARRO - SECAO: 3

40. CARRO - SECAO: 4

50. CARRO - SECAO: 5

60. CARRO - SECAO: 6

70. CARRO - SECAO: 7

80. CARRO - SECAO: 11

90. CARRO - SECAO: 12

DIMENSIONAMENTO DOS ARMAZENS DE ENTRADA:

ARMAZEM : 10

QUAL O ESTADO INICIAL DO ARMAZEM?(em numero de pallets)
5

CHEGAM MAIS PALLETS?(S/N)
S

EM QUE TEMPO CHEGA O 10. PALLET?
1

QUAL A FREQUENCIA?
10

ARMAZEM : 10

QUAL O ESTADO INICIAL DO ARMAZEM?(em numero de pallets)
5

CHEGAM MAIS PALLETS?(S/N)
S

EM QUE TEMPO CHEGA O 10. PALLET?
1

QUAL A FREQUENCIA?
10

QUER OBSERVAR A EVOLUCAO DA SIMULACAO? (S/N)
S

COM QUE PERIODO?
250

DEFINA OS TEMPOS ASSOCIADOS AS SEÇÕES:

68

SECAO	1	-	PERCURSO:	1
SECAO	2	-	PERCURSO:	3
SECAO	3	-	PERCURSO:	3
SECAO	4	-	PERCURSO:	4
SECAO	5	-	PERCURSO:	1
SECAO	6	-	PERCURSO:	1
SECAO	7	-	PERCURSO:	1
SECAO	8	-	PERCURSO:	2
SECAO	9	-	PERCURSO:	2
SECAO	10	-	PERCURSO:	2
SECAO	11	-	PERCURSO:	2
SECAO	12	-	PERCURSO:	3
SECAO	13	-	PERCURSO:	2
			CARREGAMENTO:	4
SECAO	14	-	PERCURSO:	2
SECAO	15	-	PERCURSO:	2
SECAO	16	-	PERCURSO:	1
SECAO	17	-	PERCURSO:	3
SECAO	18	-	PERCURSO:	2
			CARREGAMENTO:	4
SECAO	19	-	PERCURSO:	2
SECAO	20	-	PERCURSO:	1
SECAO	21	-	PERCURSO:	2
SECAO	22	-	PERCURSO:	1
SECAO	23	-	PERCURSO:	2
SECAO	24	-	PERCURSO:	1
SECAO	25	-	PERCURSO:	2
SECAO	26	-	PERCURSO:	1
SECAO	27	-	PERCURSO:	1
SECAO	28	-	PERCURSO:	1
SECAO	29	-	PERCURSO:	3
SECAO	30	-	PERCURSO:	2
SECAO	31	-	PERCURSO:	2
SECAO	32	-	PERCURSO:	2
			DESCARREGAMENTO:	4
SECAO	33	-	PERCURSO:	2
SECAO	34	-	PERCURSO:	2
			DESCARREGAMENTO:	4

```

SECAO  35 - PERCURSO: 2
SECAO  36 - PERCURSO: 4
SECAO  37 - PERCURSO: 1

```

```

* * * * *

```

```

QUAL O NOME DO ARQUIVO(saida)?
rede.cal

```

```

*** PRONTO ***

```

FIGURA 5.12 - Interface de especificação das condições de simulação

5.4.4. EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO

Conforme visto no item 5.2.3, a simulação pode ser realizada em dois modos: autônomo e interativo. No modo autônomo, somente os resultados finais da simulação são fornecidos, e no modo interativo é possível observar a evolução da simulação.

Para o exemplo que está sendo desenvolvido, foi feita a opção pela observação da simulação com o período de 250 unidades de tempo.

Em um ponto de observação é possível verificar: o estado das seções e dos armazéns, as estatísticas das seções e dos armazéns realizadas até aquele ponto, imprimir relatório contendo as estatísticas das seções e dos armazéns e terminar a simulação.

Em resposta à opção estado das seções, tem-se três possibilidades:

- . Sem carro;
- . Com carro em movimento;
- . Com carro em estado de espera.

Quando a resposta é carro em estado de espera, significa que o carro já percorreu a seção e está parado sobre o ponto de controle aguardando o momento de se movimentar. Na observação da simulação tem-se uma "foto instantânea" do atual estado da simulação, e o fato de um carro se encontrar em estado de espera pode significar que o carro está em movimento e naquele instante se encontra sobre o ponto de controle.

A seguir é mostrada a linguagem utilizada pelo núcleo de simulação, utilizando-se os arquivos REDE.TAB e REDE.CAL com os dados fornecidos nos itens anteriores (Figuras 5.13).

NUCLEO DE SIMULACAO - SIMULADOR BASEADO EM REDE DE PETRI
ARQUIVO TAB DA REDE?

rede.tab

**

REDE:

106 LUGAR 73 TRANS. 0 VAR B 0 VAR E

DIM. VETORES 135 95 202

ARQUIVO COMPIL. COND. SIMULACAO?

rede.cal

TEMPO 0 OPCOES: O,A,E,F,R,S,H-elp

h

HELP:

O - ABANDONA PONTO DE OBSERVACAO

A - ESTADO DOS ARMAZENS

E - ESTATISTICAS

F - FIM DA SIMULACAO

R - RELATORIO

S - ESTADO DAS SECAES

OPCOES: O,A,E,F,R,S,H-elp

O

TEMPO 0 OPCOES: O,A,E,F,R,S,H-elp

O

TEMPO 250 OPCOES: O,A,E,F,R,S,H-elp

a

QUAL O NUMERO DO ARMAZEM? (* - p/ todos)*

ARMAZEM: 13 QUANTIDADE DE PALLETS: 0

ARMAZEM: 18 QUANTIDADE DE PALLETS: 9

ARMAZEM: 32 QUANTIDADE DE PALLETS: 24

ARMAZEM: 34 QUANTIDADE DE PALLETS: 23

OPCOES: O,A,E,F,R,S,H-elp

S

QUAL O NUMERO DA SECAO? (* - p/ todas)*

SECAO: 1 COM CARRO EM MOVIMENTO

SECAO: 2 COM CARRO EM ESTADO DE ESPERA

SECAO: 3 SEM CARRO

SECAO: 4 SEM CARRO

SECAO: 5 SEM CARRO

SECAO: 6 SEM CARRO

SECAO: 7 SEM CARRO

SECAO: 8 SEM CARRO

SECAO: 9 SEM CARRO

SECAO: 10 SEM CARRO

SECAO: 11 COM CARRO EM ESTADO DE ESPERA

SECAO: 12 COM CARRO EM ESTADO DE ESPERA

SECAO: 13 COM CARRO EM ESTADO DE ESPERA

SECAO: 14 SEM CARRO

SECAO: 15 SEM CARRO

SECAO: 16 SEM CARRO

SECAO: 17 SEM CARRO

SECAO: 18 SEM CARRO

SECAO: 19 SEM CARRO

SECAO: 20 SEM CARRO

SECAO: 21 COM CARRO EM ESTADO DE ESPERA

SECAO: 22 SEM CARRO

SECAO: 23 SEM CARRO

SECAO: 24 SEM CARRO

SECAO: 25 SEM CARRO

SECAO: 26 SEM CARRO

SECAO: 27 SEM CARRO

SECAO: 28 SEM CARRO

SECAO: 29 COM CARRO EM ESTADO DE ESPERA

SECAO: 30 SEM CARRO

SECAO: 31 SEM CARRO

SECAO: 32 COM CARRO EM ESTADO DE ESPERA

SECAO: 33 SEM CARRO

SECAO: 34 COM CARRO EM ESTADO DE ESPERA

SECAO: 35 SEM CARRO

SECAO: 36 SEM CARRO

SECAO: 37 SEM CARRO

OPCOES: O,A,E,F,R,S,H-e1p

e

OPC: 1-ARM. - 2-SEC.

1

QUAL 0 NUMERO DO ARMAZEM? (* - p/ todas)*

ARMAZEM: 13

QTDPAL= 0 TCHESA= 241

NUMMAX= 6 NUMMED= 2.44

ARMAZEM: 18

QTDPAL= 9 TCHESA= 250

NUMMAX= 10 NUMMED= 7.75

ARMAZEM: 32

QTDPAL= 24 TCHESA= 243

NUMMAX= 24 NUMMED= 10.79

ARMAZEM: 34

QTDPAL= 23 TCHESA= 243

NUMMAX= 23 NUMMED= 10.04

OPCOES: O,A,E,F,R,S,H-e1p

e

OPC: 1-ARM. - 2-SEC.

2

QUAL 0 NUMERO DA SECAO? (* - p/ todas)*

SECAO: 1

TEMPO = 1 NVZPER= 46 TCHPAR= 249

ESPMAX= 2 ESPMED= 0.63

SECAO: 2

TEMPO = 3 NVZPER= 27 TCHPAR= 242

ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00

SECAO: 3

TEMPO = 3 NVZPER= 19 TCHPAR= 245

ESPMAX= 7 ESPMED= 0.35

SECAO: 4

TEMPO = 4 NVZPER= 0 TCHPAR= 12

ESPMAX= 12 ESPMED= 12.00

SECAO: 5

TEMPO = 1 NVZPER= 28 TCHPAR= 243

ESPMAX= 1 ESPMED= 0.04

SECAO: 6

TEMPO = 1 NVZPER= 21 TCHPAR= 246

ESPMAX= 7 ESPMED= 0.43

SECAO: 7

TEMPO = 1 NVZPER= 2 TCHPAR= 15

ESPMAX= 12 ESPMED= 7.00

SECAO: 8

TEMPO = 2 NVZPER= 29 TCHPAR= 248

ESPMAX= 1 ESPMED= 0.08

SECAO: 9

TEMPO = 2 NVZPER= 21 TCHPAR= 248

ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00

SECAO: 10

TEMPO = 2 NVZPER= 2 TCHPAR= 17

ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00

SECAO: 11

TEMPO = 2 NVZPER= 30 TCHPAR= 247

ESPMAX= 6 ESPMED= 2.79

SECAO: 12

TEMPO = 3 NVZPER= 21 TCHPAR= 242

ESPMAX= 2 ESPMED= 0.10

SECAO: 13

TEMPO = 4 NVZPER= 30 TCHPAR= 241

ESPMAX= 4 ESPMED= 2.00

SECAO: 14

TEMPO = 2 NVZPER= 1 TCHPAR= 37

ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00

SECAO: 15

TEMPO = 2 NVZPER= 21 TCHPAR= 244

ESPMAX= 7 ESPMED= 0.62

SECAO: 16

TEMPO = 1 NVZPER= 1 TCHPAR= 35

ESPMAX= 24 ESPMED= 24.00

```

SECA0: 17
        TEMPO = 3 NVZPER= 30 TCHPAR= 244
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 18
        TEMPO = 6 NVZPER= 21 TCHPAR= 250
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 19
        TEMPO = 2 NVZPER= 30 TCHPAR= 246
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 20
        TEMPO = 1 NVZPER= 0 TCHPAR= 0
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 21
        TEMPO = 2 NVZPER= 20 TCHPAR= 242
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 22
        TEMPO = 1 NVZPER= 0 TCHPAR= 0
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 23
        TEMPO = 2 NVZPER= 20 TCHPAR= 244
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 24
        TEMPO = 1 NVZPER= 0 TCHPAR= 0
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 25
        TEMPO = 2 NVZPER= 30 TCHPAR= 248
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 26
        TEMPO = 1 NVZPER= 0 TCHPAR= 0
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 27
        TEMPO = 1 NVZPER= 30 TCHPAR= 249
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 28
        TEMPO = 1 NVZPER= 20 TCHPAR= 245
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 29
        TEMPO = 3 NVZPER= 20 TCHPAR= 248
        ESPMAX= 3 ESPMED= 0.06
SECA0: 30
        TEMPO = 2 NVZPER= 29 TCHPAR= 241
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 31
        TEMPO = 2 NVZPER= 49 TCHPAR= 250
        ESPMAX= 4 ESPMED= 1.61
SECA0: 32
        TEMPO = 6 NVZPER= 24 TCHPAR= 243
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 33
        TEMPO = 2 NVZPER= 24 TCHPAR= 245
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 34
        TEMPO = 6 NVZPER= 23 TCHPAR= 243
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 35
        TEMPO = 2 NVZPER= 24 TCHPAR= 247
        ESPMAX= 2 ESPMED= 0.83
SECA0: 36
        TEMPO = 4 NVZPER= 23 TCHPAR= 248
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
SECA0: 37
        TEMPO = 1 NVZPER= 24 TCHPAR= 248
        ESPMAX= 0 ESPMED= 0.00
OPCOES: O,A,E,F,R,S,H-elp
0
TEMPO 500 OPCOES: O,A,E,F,R,S,H-elp
0
FIM DA SIMULACAO
TEMPO 500 OPCOES: O,A,E,F,R,S,H-elp
0
NOME DO ARQUIVO DE ESTATISTICAS?
rede.sta

```

FIGURA 5.13 - Interface com o núcleo de simulação

A seguir são mostrados os relatórios que são impressos durante a execução da simulação.

A Figura 5.14 mostra o relatório impresso no tempo 250 e a Figura 5.15 mostra o relatório impresso no tempo 500. Os relatórios são impressos em formulário contínuo (80 colunas), via impressora.

RESULTADOS DA SIMULACAO				
TEMPO INICIAL --->	0	TEMPO FINAL --->	250	
ESTATISTICAS DOS ARMAZENS				
NUM. DO ARM.	FUNCAO	NUM. PALLETS	NUM. MEDIO	NUM. MAXIMO
13	ENTR.	0	2.44	6
18	ENTR.	9	7.75	10
32	SAIDA	24	10.79	24
34	SAIDA	23	10.04	23
ESTATISTICAS DAS SECOES				
NUM. DA SEC.	TEMPO	NUM.VEZ.PER.	ESP. MEDIA	ESP. MAXIMA
1	1	46	0.83	2
2	3	27	0.00	0
3	3	19	0.35	7
4	4	0	12.00	12
5	1	28	0.04	1
6	1	21	0.43	7
7	1	2	7.00	12
8	2	29	0.08	1
9	2	21	0.00	0
10	2	2	0.00	0
11	2	30	2.79	6
12	3	21	0.10	2
13	6	30	2.00	4
14	2	1	0.00	0
15	2	21	0.62	7
16	1	1	24.00	24
17	3	30	0.00	0
18	6	21	0.00	0
19	2	30	0.00	0
20	1	0	0.00	0
21	2	20	0.00	0
22	1	0	0.00	0
23	2	20	0.00	0
24	1	0	0.00	0
25	2	30	0.00	0
26	1	0	0.00	0
27	1	30	0.00	0
28	1	20	0.00	0
29	3	20	0.06	3
30	2	29	0.00	0
31	2	49	1.61	4
32	6	24	0.00	0
33	2	24	0.00	0
34	6	23	0.00	0
35	2	24	0.83	2
36	4	23	0.00	0
37	1	24	0.00	0

FIGURA 5.14 - Relatório impresso no tempo = 250

RESULTADOS DA SIMULACAO					
TEMPO INICIAL	---	0	TEMPO FINAL	---	500
ESTATISTICAS DOS ARMAZENS					
NUM. DO ARM.	FUNCAO	NUM. PALLETS	NUM. MEDIO	NUM. MAXIMO	
13	ENTR.	0	1.21	6	
18	ENTR.	9	8.55	10	
32	SAIDA	50	23.92	50	
34	SAIDA	48	22.67	48	
ESTATISTICAS DAS SECOES					
NUM. DA SEC.	TEMPO	NUM.VEZ.PER.	ESP. MEDIA	ESP. MAXIMA	
1	1	96	0.85	2	
2	3	54	0.00	0	
3	3	43	0.16	7	
4	4	0	12.00	12	
5	1	55	0.02	1	
6	1	45	0.20	7	
7	1	2	7.00	12	
8	2	56	0.04	1	
9	2	45	0.00	0	
10	2	2	0.00	0	
11	2	55	3.00	13	
12	3	47	0.04	2	
13	6	55	2.33	6	
14	2	1	0.00	0	
15	2	47	0.36	7	
16	1	1	24.00	24	
17	3	55	0.00	0	
18	6	46	0.00	0	
19	2	55	0.00	0	
20	1	0	0.00	0	
21	2	46	0.00	0	
22	1	0	0.00	0	
23	2	46	0.00	0	
24	1	0	0.00	0	
25	2	55	0.00	0	
26	1	0	0.00	0	
27	1	55	0.00	0	
28	1	46	0.00	0	
29	3	46	0.03	3	
30	2	54	0.00	0	
31	2	99	1.78	4	
32	6	50	0.00	0	
33	2	49	0.00	0	
34	6	48	0.00	0	
35	2	50	0.57	2	
36	4	47	0.00	0	
37	1	49	0.00	0	

FIGURA 5.15 - Relatório impresso no tempo = 500

5.4.4.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando os resultados do relatório impresso no tempo 500 (tempo final de simulação) pode-se tirar as seguintes conclusões e observações:

- 1) O tamanho requerido para os armazéns de entrada para as condições de simulação fixadas, é de 6 pallets para o armazém 13 e de 10 pallets para o armazém 18;
- 2) O transporte dos pallets do armazém 18 não é satisfatório, pois está ocorrendo o acúmulo de pallets;
- 3) O tempo de espera média da seção 16 foi de 24 unidades de tempo. Este tempo pode ser considerado demasiadamente alto se comparado com os demais, no entanto como o número de vezes que a seção foi percorrida é igual a 1, esse tempo não influi na performance do sistema;
- 4) A seção 4 que faz parte de um setor do tipo bifurcação, não está sendo utilizada convenientemente durante a simulação;
- 5) A quantidade de pallets transportados para os armazéns de saída foram de 50 pallets para o armazém 32 e de 48 pallets para o armazém 34.

5.4.4.2. EXPLORAÇÃO DO EXEMPLO

Para as condições de simulação do exemplo anterior, verifica-se existirem problemas que foram relatados no item referente à análise dos resultados. Para tentar resolver esses problemas, serão feitas as seguintes alterações nas condições de simulação:

No setor de número 2 (tipo bifurcação), será fixada uma quantidade relativa de carros para o percurso da bifurcação. No caso de cada 3 carros, 1 vai para a seção 2, 1 para a seção 3 e 1 para a seção 4, ou seja as quantidades relativas serão: 1, 1, 1. Isto fará com que essas seções sejam percorridas o mesmo número de vezes durante a simulação.

Será associada preferência para o percurso da seção 18, no setor de cruzamento (10) e para a seção 34 no setor 20, para análise dessa estratégia nos setores do tipo cruzamento dessa rede, nas condições de simulação especificadas.

As outras condições de simulação serão mantidas para que se observe o resultado dessas alterações.

Os resultados obtidos na simulação com as alterações propostas acima, podem ser vistas nas Figuras 5.16 e 5.17.

5.4.4.3. ANÁLISE DOS NOVOS RESULTADOS E NOVOS CASOS

Analisando os resultados obtidos nesta nova simulação, pode-se tirar as seguintes conclusões ou observações:

- 1) O tamanho máximo requerido para os armazéns de entrada é de: 7 para o armazém 13 e 9 para o armazém 18;
- 2) A quantidade de pallets transportados até o tempo 500 foram de: 53 para o armazém 32 e 42 para o armazém 34. Observa-se aqui um desequilíbrio nas quantidades de pallets transportados, no caso anterior eram de 50 e 48 respectivamente;
- 3) As seções pertencentes ao setor 2 (bifurcação) estão sendo agora utilizadas de forma mais equilibrada: 32 para a seção 2, 32 para a seção 3 e 31 para a seção 4; antes tínhamos 54, 43 e 0 para as mesmas seções;
- 4) A seção 16 continua a apresentar um tempo de espera médio alto em relação aos demais;
- 5) A preferência dada à seção 18 no setor 10 fez com que a quantidade média de pallets aumentasse no armazém de entrada 13 de 1,53 para 3,82, que a quantidade média diminuísse no armazém de entrada 18 de 9,12 para 7,19, e que a quantidade máxima de pallets nos dois armazéns diminuísse.

RESULTADOS DA SIMULACAO					
TEMPO INICIAL	---	0	TEMPO FINAL	---	250
ESTATISTICAS DOS ARMAZENS					
NUM. DO ARM.	FUNCAO	NUM. PALLETS	NUM. MEDIO	NUM. MAXIMO	
13	ENTR.	2	5.09	7	
18	ENTR.	8	5.89	9	
32	SAIDA	27	11.95	27	
34	SAIDA	18	7.81	18	
ESTATISTICAS DAS SECOES					
NUM. DA SEC.	TEMPO	NUM.VEZ.PER.	ESP. MEDIA	ESP. MAXIMA	
1	1	45	0.91	3	
2	3	15	0.00	0	
3	3	15	0.44	7	
4	4	15	0.75	12	
5	1	16	0.06	1	
6	1	17	0.53	7	
7	1	17	0.82	12	
8	2	17	0.08	1	
9	2	17	0.00	0	
10	2	16	0.00	0	
11	2	27	4.35	23	
12	3	23	0.09	2	
13	6	27	3.15	21	
14	2	1	0.00	0	
15	2	23	0.52	4	
16	1	1	34.00	34	
18	6	22	0.00	0	
17	3	27	0.00	0	
19	2	27	0.00	0	
20	1	0	0.00	0	
21	2	22	0.00	0	
22	1	0	0.00	0	
23	2	22	0.00	0	
24	1	0	0.00	0	
25	2	27	0.00	0	
26	1	0	0.00	0	
27	1	26	0.00	0	
28	1	22	0.00	0	
29	3	21	0.09	3	
30	2	26	0.00	0	
31	2	47	1.30	4	
32	6	27	0.00	0	
33	2	19	0.00	0	
34	6	18	0.00	0	
35	2	27	1.00	2	
36	4	18	0.00	0	
37	1	27	0.00	0	

FIGURA 5.16 - Relatório impresso no tempo = 250

RESULTADOS DA SIMULACAO				
TEMPO INICIAL --->	0	TEMPO FINAL --->	500	
ESTATISTICAS DOS ARMAZENS				
NUM. DO ARM.	FUNCAO	NUM. PALLETS	NUM. MEDIO	NUM. MAXIMO
13	ENTR.	2	3.82	7
18	ENTR.	8	7.19	9
32	SAIDA	53	26.04	53
34	SAIDA	42	18.84	42
ESTATISTICAS DAS SECOES				
NUM. DA SEC.	TEMPO	NUM.VEZ.PER.	ESP. MEDIA	ESP. MAXIMA
1	1	95	0.93	3
2	3	32	0.00	0
3	3	32	0.21	7
4	4	31	0.37	12
5	1	33	0.03	1
6	1	34	0.26	7
7	1	33	0.42	12
8	2	34	0.04	1
9	2	33	0.00	0
10	2	33	0.00	0
11	2	52	3.77	23
12	3	48	0.04	2
13	6	52	3.47	21
14	2	1	0.00	0
15	2	47	0.40	4
16	1	1	34.00	34
18	6	47	0.00	0
17	3	52	0.00	0
19	2	52	0.00	0
20	1	0	0.00	0
21	2	47	0.00	0
22	1	0	0.00	0
23	2	46	0.00	0
24	1	0	0.00	0
25	2	52	0.00	0
26	1	0	0.00	0
27	1	52	0.00	0
28	1	46	0.00	0
29	3	46	0.04	3
30	2	52	0.00	0
31	2	97	1.62	4
32	6	53	0.00	0
33	2	43	0.00	0
34	6	42	0.00	0
35	2	53	0.77	2
36	4	42	0.00	0
37	1	53	0.00	0

FIGURA 5.17 - Relatório impresso no tempo = 500

Novos casos para o mesmo exemplo (mesmo lay-out da rede de transporte) serão executados no simulador. Serão mantidos os mesmos tempos de percurso das seções, a quantidade de carros, o tempo de duração da simulação e o tempo de início de estatísticas.

No primeiro caso ou caso 3 levando-se em consideração os casos anteriores, as alterações a serem feitas são as seguintes:

- . Retirada da preferência da seção de número 18, e
- . Retirada da preferência da seção de número 34.

No caso 4, mantendo-se as condições do caso 3, as alterações serão as seguintes:

- . A frequência de chegada dos pallets no armazém 13 será de 8 unidades de tempo, mantendo-se 5 pallets armazenados inicialmente, e
- . A frequência de chegada dos pallets no armazém 10 será de 11 unidades de tempo, também mantendo a quantidade inicial igual a 5 pallets.

No último caso, caso 5 levando-se em consideração novamente o caso 3, a alteração feita é a seguinte:

- . A frequência de chegada dos pallets no armazém 13 será de 9 unidades de tempo, mantendo-se a quantidade inicial de pallets igual a 5.

As Figuras 5.18, 5.19 e 5.20 mostram os resultados obtidos na simulação desses três últimos casos.

RESULTADOS DA SIMULACAO				
TEMPO INICIAL --->	0	TEMPO FINAL --->	500	
ESTATISTICAS DOS ARMAZENS				
NUM. DO ARM.	FUNCAO	NUM. PALLETS	NUM. MEDIO	NUM. MAXIMO
13	ENTR.	0	1.53	6
18	ENTR.	11	9.12	12
32	SAIDA	52	24.48	52
34	SAIDA	44	21.21	44
ESTATISTICAS DAS SECOES				
NUM. DA SEC.	TEMPO	NUM. VEZ. PER.	ESP. MEDIA	ESP. MAXIMA
1	1	95	0.92	3
2	3	32	0.00	0
3	3	32	0.21	7
4	4	31	0.37	12
5	1	33	0.03	1
6	1	34	0.26	7
7	1	33	0.42	12
8	2	34	0.04	1
9	2	34	0.00	0
10	2	33	0.00	0
11	2	55	3.63	12
12	3	45	0.04	2
13	6	55	1.95	6
14	2	1	0.00	0
15	2	45	0.96	7
16	1	1	24.00	24
17	3	55	0.00	0
18	6	44	0.00	0
19	2	55	0.00	0
20	1	0	0.00	0
21	2	44	0.00	0
22	1	0	0.00	0
23	2	44	0.00	0
24	1	0	0.00	0
25	2	55	0.00	0
26	1	0	0.00	0
27	1	55	0.00	0
28	1	44	0.00	0
29	3	44	0.03	3
30	2	54	0.00	0
31	2	97	1.60	4
32	6	52	0.00	0
33	2	45	0.00	0
34	4	44	0.00	0
35	2	52	0.69	2
36	4	44	0.00	0
37	1	52	0.00	0

FIGURA 5.10 - Resultados da simulação do caso 3

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO				
TEMPO INICIAL --->	0	TEMPO FINAL --->	500	
ESTATÍSTICAS DOS ARMAZENS				
NUM. DO ARM.	FUNÇÃO	NUM. PALLETS	NUM. MEDIO	NUM. MAXIMO
13	ENTR.	16	9.97	16
18	ENTR.	0	2.04	6
32	SAIDA	50	24.47	50
34	SAIDA	49	23.53	49
ESTATÍSTICAS DAS SEÇÕES				
NUM. DA SEC.	TEMPO	NUM.VEZ.PER.	ESP. MEDIA	ESP. MAXIMA
1	1	98	1.04	3
2	3	33	0.00	0
3	3	33	0.24	8
4	4	32	0.39	13
5	1	34	0.06	1
6	1	35	0.29	8
7	1	34	0.47	13
8	2	35	0.06	2
9	2	35	0.00	0
10	2	34	0.00	0
11	2	51	4.90	8
12	3	53	0.19	6
13	6	51	3.71	7
14	2	1	0.00	0
15	2	52	2.13	7
16	1	2	26.00	26
17	3	51	0.00	0
18	6	51	0.00	0
19	2	51	0.00	0
20	1	0	0.00	0
21	2	51	0.00	0
22	1	0	0.00	0
23	2	51	0.00	0
24	1	0	0.00	0
25	2	51	0.00	0
26	1	0	0.00	0
27	1	51	0.04	2
28	1	50	0.02	1
29	3	50	0.00	0
30	2	50	0.00	0
31	2	100	1.89	4
32	6	50	0.00	0
33	2	50	0.00	0
34	6	49	0.00	0
35	2	50	0.54	1
36	4	49	0.00	0
37	1	49	0.00	0

FIGURA 5.19 - Resultado da simulação do caso 4

RESULTADOS DA SIMULACAO				
TEMPO INICIAL --->	0	TEMPO FINAL --->	500	
ESTATISTICAS DOS ARMAZENS				
NUM. DO ARM.	FUNCAO	NUM. PALLETS	NUM. MEDIO	NUM. MAXIMO
13	ENTR.	7	6.34	8
18	ENTR.	2	3.96	6
32	SAIDA	52	24.74	52
34	SAIDA	51	23.86	51
ESTATISTICAS DAS SECOES				
NUM. DA SEC.	TEMPO	NUM.VEZ.PER.	ESP. MEDIA	ESP. MAXIMA
1	1	101	1.15	3
2	3	34	0.00	0
3	3	34	0.23	8
4	4	33	0.38	13
5	1	35	0.06	1
6	1	34	0.28	8
7	1	35	0.46	13
8	2	36	0.06	2
9	2	34	0.00	0
10	2	35	0.00	0
11	2	53	4.96	8
12	3	54	0.19	6
13	6	53	3.38	7
14	2	1	0.00	0
15	2	54	1.81	7
16	1	1	26.00	26
17	3	53	0.00	0
18	6	53	0.00	0
19	2	53	0.00	0
20	1	0	0.00	0
21	2	53	0.00	0
22	1	0	0.00	0
23	2	53	0.00	0
24	1	0	0.00	0
25	2	53	0.00	0
26	1	0	0.00	0
27	1	52	0.00	0
28	1	53	0.00	0
29	3	52	0.00	0
30	2	52	0.00	0
31	2	104	2.00	4
32	6	52	0.00	0
33	2	51	0.00	0
34	6	51	0.00	0
35	2	51	0.69	1
36	4	50	0.00	0
37	1	51	0.00	0

FIGURA 5.20 - Resultado da simulação do caso 5

As observações e conclusões referentes aos três últimos casos são as seguintes:

- 1) No caso 3 o estabelecimento da quantidade relativa de carros para as seções do setor 2, fizeram com que o tempo de percurso total aumentasse (o tempo de percurso da seção 4 é superior aos demais). Isto fez com que menos pallets fossem transportados do armazém 18;
- 2) A alteração da frequência de chegada dos pallets no caso 2 fez com que a situação dos armazéns de entrada fossem invertidos em relação ao caso 3. O armazém 13 passou a ter a quantidade de pallets aumentada;
- 3) Nos casos 3 e 4 os números médios de pallets nos armazéns de entrada ficaram distanciados em relação aos números obtidos no caso 5;
- 4) A seção 16 apresentou o tempo de espera média no mesmo nível para os cinco casos;
- 5) As seções 14, 16, 20, 22, 24 e 26 foram pouco utilizadas em todos os casos. Caso alguns desses casos fossem escolhidos para serem utilizados, essas seções poderiam até ser desprezadas.

5.5. CONCLUSÕES

Neste capítulo foram apresentadas as interfaces do simulador com o usuário, a respectiva utilização através de um exemplo de aplicação e análises dos resultados obtidos na simulação.

No exemplo que demonstra a utilização do simulador, foi sentida a falta de dados reais que pudessem ser utilizados na especificação das condições de simulação, de tal forma a permitir uma melhor análise quantitativa dos resultados obtidos na simulação.

A falta desses dados se deveu ao fato da não existência de literatura e de sistemas de transporte dessa natureza que nos fossem acessíveis. Entretanto, acredito ter sido possível a verificação da utilidade do simulador para aferição dos resultados esperados na implementação e/ou avaliação de sistemas de transporte desse tipo.

No capítulo seguinte são apresentadas conclusões finais sobre esta tese e sugestões para novos trabalhos relacionados com o tema.

C A P Í T U L O 6
= = = = = = = = =

CONCLUSÕES FINAIS
=====

O trabalho desenvolvido possibilitou a aquisição de conhecimentos diversos em relação ao tema da tese, tais como: modelamento, simulação e linguagem de programação; permitiu realçar a utilidade e/ou necessidade de ferramentas que permitem avaliar a performance e de conceber novos sistemas através de simulação, e também uma melhor compreensão da estrutura de sistemas de manufatura.

As interfaces entre o usuário e o simulador desenvolvidas têm como característica principal serem bastante "amigáveis", permitindo que usuários não especialistas em programação e em Redes de Petri possam utilizar o simulador.

O desenvolvimento das interfaces do simulador foi feito baseado nas restrições impostas pelo núcleo de simulação. A versão utilizada como núcleo de simulação é considerada protótipo. Esse protótipo deu origem a novos simuladores com tempos aleatórios e também a um simulador baseado em Rede de Petri colorida, ambos desenvolvidos no LAAS.

A Rede de Petri como ferramenta de modelamento, como já foi dito anteriormente, obedece a regras simples de funcionamento, e também se aplica a uma gama muito grande de sistemas, dentre eles os sistemas de manufatura, permitindo a sua utilização em seus diversos componentes, tais como: robôs, máquinas e sistemas de transporte. Isso nos leva a acreditar na sua grande utilidade para avaliação de performance e de concepção desse tipo de sistema.

O protótipo do simulador aqui desenvolvido e também o núcleo de simulação, apresentam problemas em relação ao tempo de processamento. Este problema, ou melhor, esse tempo poderia ser melhorado significativamente utilizando-se um microcomputador com maior velocidade de processamento e com maior capacidade de memória principal.

Como sugestão ao desenvolvimento de novos trabalhos relacionados com o tema dessa tese e também em relação ao trabalho desenvolvido, pode-se citar:

- Utilização de um microcomputador de maior porte, como por exemplo micros da linha PC;
- Utilização de interfaces gráficas;
- Modelos em RP coloridas;
- Desenvolvimento de novos módulos que permitam simular um sistema de manufatura como um todo ou em partes;

- . Utilização da RP em controladores de sistemas. A idéia básica é implementar o controlador com um sistema operacional de tempo real, onde uma de suas tarefas seria um Jogador de Petri que conteria um modelo em RP do sistema e seria responsável pela ativação dos sinais de controle. Uma das vantagens é que o controle do sistema seja feito utilizando a mesma ferramenta (RP) para modelar o sistema e implementar o controlador do mesmo;
- . Utilização de linguagens de programação que permitam a utilização de conceitos aplicados a inteligência artificial e sistemas peritos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
=====

- [1] ANNE BOURELY: "Methode et Outil de Simulation pour la Conception de Systemes de Production". Tese de "docteur Ingénieur" - Université de Bordeaux I, outubro 84.
- [2] P. ALONCHE, K. BENZOKOUR, F. DOLLÉ, P. GILLET, P. RODRIGUES, R. VALETTE: "PSI: A Petri Net Based Simulators for Flexible Manufacturing Systems". 5th Europ. Workshop on Applications and Theory of Petri Nets, Aarhus Denamark, Junho 84.
- [3] R. VALETTE, V. THOMAS, S. BACHMANN: "SEDRIC: Un Simulateur a Evenements Discrets Base sur les Reseaux de Petri". Colóque Optémes de Production - Paris, abril 85.
- [4] GERARD BEL: "Méthodes et Langages de Simulation pour la Production Automatisée: Principes, Choix Utilisation". Anais do Congresso AFCET Automatica - Besançon 83.
- [5] G. BEL, D. DUBOIS: "Modélisation et Simulation de Systemes Automatisés de Production". RAIRO APII - vol. 19, nº 1, 1985.
- [6] G. SPUR, W. HIFN, G. SELIGER: "The Role of Simulation in Design of Manufacturing Systems". PROLAMAT'82 - Leningrad, USSR - maio 82.
- [7] GEOFFREY GORDON: "The Applications on GPSSV to Discrete System Simulation". Prentice-Hall, Inc.
- [8] JOSEPH J. TALAVAGE: "Models for the Automatic Factory Simulation" - março 1978.
- [9] ROUND TABLE - CIRP. "The Role of Simulation in Design/Teaching of Manufacturing Systems". Annals of CIRP.
- [10] JAMES L. PETERSON: "Petri Nets". Computing Surveys, vol. 9, nº 3, Setembro 77.
- [11] KENSUKE HASEGAWA, KOUJI TAKAHASHI: "MFG (Mark Flow Graph) - Based Programmable Controller and its Application to FMS". Tokyo Institute of Technology, Meguro-Ku, Tokyo, Japan.

- [12] JOHN PATRICK BEVANS: "First, Choose on FMS Simulator". American Machinist, maio 82.
- [13] MANUEL DE JESUS MENDES: Notas de Aula do Curso "Automação por Computador de Sistemas da Manufatura" - FEC/UNICAMP, Campinas, agosto 83.
- [14] L. JACK BRADT, JAMES K. ALBRED: "Materials - Handling Systems". IEEE Spectrum, maio 83.
- [15] JOHN E. LENZ: "MAST: A Simulation Tool for Designing Computerized Metalworking Factories". Simulation, fevereiro 83.
- [16] RAZOUK R.R., VERNON M., ESTRIN G.: "Evaluation Methods in SARA - The Graph Model Simulator". Tutorial on Software Design Techniques Fourth Edition - IEEE.
- [17] OSWALDO L. AGOSTINHO: Tese de doutorado - "Estudo da Flexibilidade dos Sistemas Produtivos". São Carlos, Julho 85.
- [18] M.B. DE CARVALHO: "Construção de Diagramas de Fluxo de Dados e de um Dicionário de Dados". DTIA.16/84, IA/CTI, 1984.
- [19] M.B. DE CARVALHO: "Construção de um Diagrama Hierárquico de Funções". DTIA.05/85, IA/CTI, 1985.
- [20] NEILL GRAHAM: "Introduction to Pascal". West Publishing Company, 1983.

A P Ê N D I C E
= = = = =

IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE
=====

O software do simulador é dividido em três grandes blocos. O primeiro deles, chamado de ENTRA engloba a interface de descrição da rede de transporte e o módulo de geração do modelo em RP. O segundo, chamado de ENTRA2 engloba a interface de especificação das condições de simulação e a geração do calendário. O terceiro e último bloco é o núcleo de simulação, chamado de SIM. Esse bloco é o mesmo desenvolvido no LAAS, em uma versão considerada protótipo.

Aos programas que formam o núcleo de simulação foram acrescentadas e também alteradas algumas subrotinas (procedures), de tal forma a permitir a utilização da linguagem de alto-nível, especializada para sistemas de transportes.

A Figura A.1 mostra o DHF (Diagrama Hierárquico de Funções [19]), que representa a estrutura geral do software do simulador.

A seguir são fornecidos alguns detalhes da implementação do software. Os diversos programas desenvolvidos e as alterações no núcleo de simulação são relacionados. Por último, são mostrados diagramas de fluxo de dados dos programas que compõem o software do simulador.

A.1. DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO

A linguagem utilizada para codificação dos programas é a linguagem PASCAL [20]. Esta linguagem enfatiza o uso de programação estruturada. Uma de suas principais características é a possibilidade de se trabalhar com estruturas de dados complexas, utilizando-se apontadores ("POINTERS").

A implementação se deu em um microcomputador de 8 bits, com sistema operacional CP/M, com 64 Kbytes de memória principal e duas unidades de disquete 5 1/4.

O programa objeto do programa que faz o modelamento em RP ultrapassou a capacidade de memória RAM disponível no micro, durante a execução do mesmo. Isto fez com que esse programa tivesse que ser dividido em três programas, que são encadeados, através da utilização de um "CHAIN", passando os dados via arquivos. Esse procedimento fez com que o tempo de execução desse programa ficasse bastante comprometido, já que os tempos de acesso a disquete para encadeamento e leitura dos arquivos de dados são bastante significativos. Como solução alternativa, foi tentado o uso de "OVERLAYS", que não se mostraram adequados, pois a estrutura dos dados utilizada no programa possui alocação dinâmica na memória, o que dificulta ou inviabiliza o uso de "overlays".

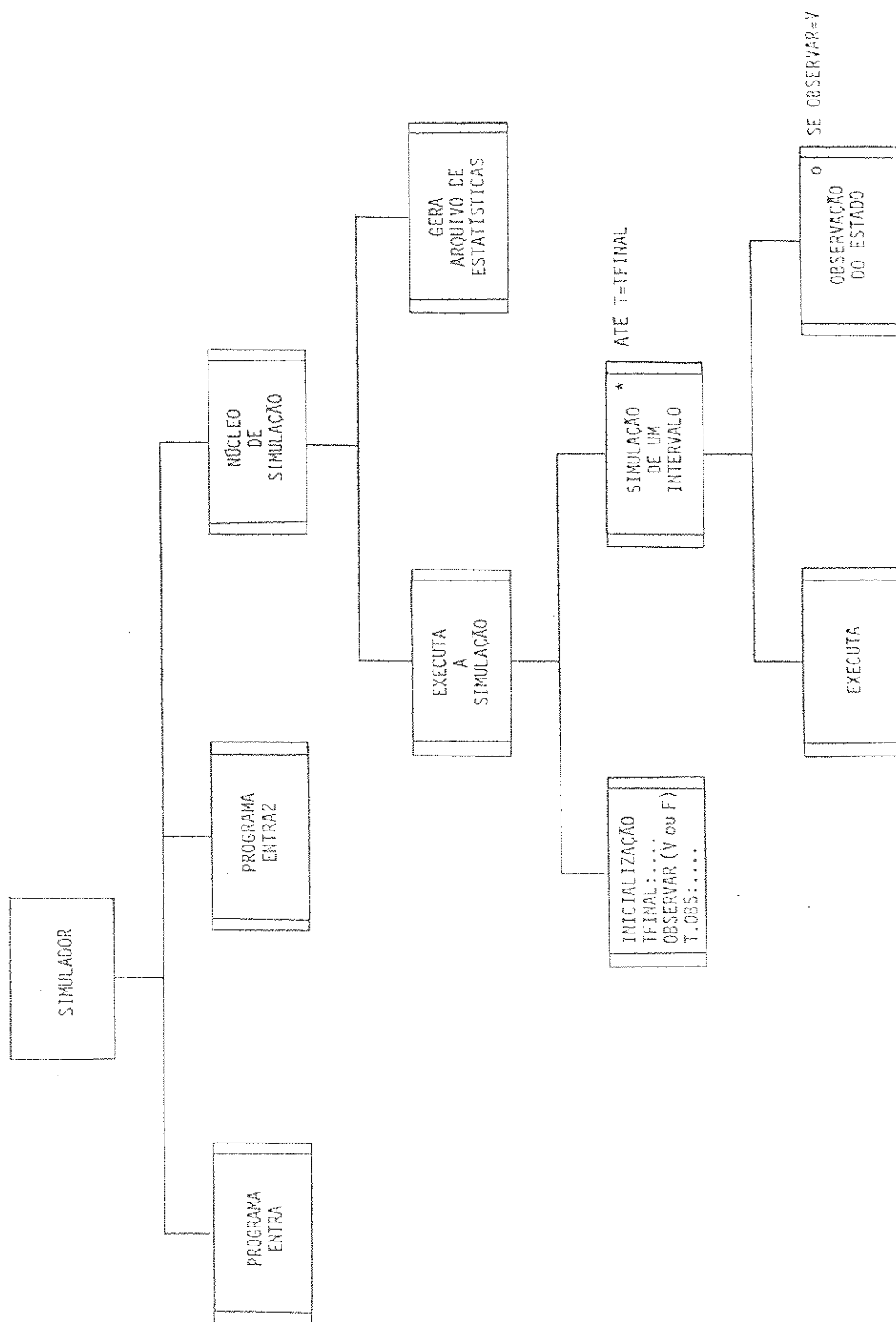


FIGURA A.1 - DHF do software do simulador

Os programas que fazem parte do software do simulador são os seguintes:

ENTRA.COM

Programa que contém a interface de descrição da rede de transporte e o módulo de geração do modelo em RP.

é formado por:

- .. ENTRA.PAS
Programa que contém a interface de descrição da rede de transporte.
- .. MÓDULO1.PAS
Módulo auxiliar do programa ENTRA.PAS.
- .. MODELA.PAS
Programa que gera as tabelas que contém os lugares que precedem as transições na RP (tabela TPRI).
- .. MODA.PAS
Módulo auxiliar do programa MODELA.PAS.
- .. MODELA2.PAS
Programa que gera as tabelas que contém os lugares que seguem uma transição na RP (TSUI).
- .. MODA2.PAS
Módulo auxiliar do programa MODELA2.PAS.
- .. MODELB.PAS
Programa que gera as tabelas que contém as transições que seguem os lugares na RP (PSUI), tabelas de identificação (TAB_IDEN) e interpretação da RP.
- .. MODB.PAS
Módulo auxiliar do programa MODELB.PAS.
- .. ENTRA2.COM
Programa que contém a interface de especificação das condições de simulação e geração do calendário. é formado por ENTRA2.PAS.

- ALTERA.COM
Programa que faz a alteração das condições de simulação e geração do calendário. É formado por ALTERA.PAS.
- SIM.COM
Programa que realiza a simulação do modelo gerado em RP. Este programa é uma versão considerada protótipo, a qual não possui entre outras coisas tempos aleatórios, já existente em versões mais recentes. É formado por:
 - .. SIM.PAS
Programa principal do simulador.
 - .. SEP1.PAS, SEP2.PAS e SEP3.BAS
Módulos auxiliares do programa SIM.PAS.

Para a utilização do núcleo de simulação (programa SIM), no simulador aplicado a sistemas de transportes, foram feitas alterações e inclusões de procedures do programa original.

Os procedures alterados foram os seguintes:

- PROCEDURE OBS
Este procedure permite a observação do sistema para um dado estado. As alterações se deram na linguagem utilizada na interface, já que originalmente é aplicada à RP. Nas opções fornecidas algumas foram aproveitadas e outras foram acrescentadas, tais como: impressão de relatórios e uma opção de auxílio (HELP).
- PROCEDURE SORTIE
Este procedure escreve as estatísticas finais, em um arquivo no disquete. As alterações foram feitas no sentido de traduzir os resultados das estatísticas sobre os elementos que fazem parte de uma RP, para os elementos que fazem parte do sistema de transporte abordado.
- PROCEDURE ELSTAT
Este procedure mostra as estatísticas associadas às seções e aos armazéns.

- .. PROCEDURE E_MARQ
Este procedure mostra o estado das seções e dos armazéns.

Esses dois últimos procedures são usados pelos procedures OBS e SORTIE.

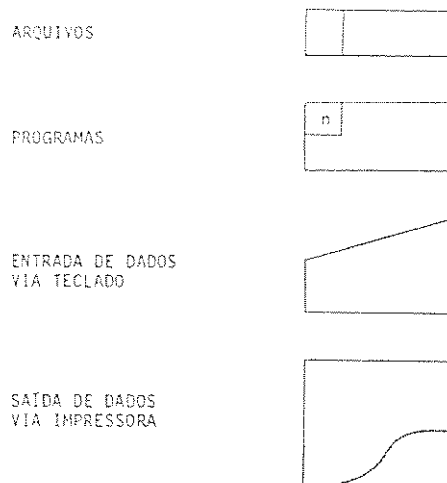
Os procedimentos incluídos foram os seguintes:

- .. PROCEDURE REL
Este procedure faz a impressão de relatórios via impressora. Com esse procedure é possível imprimir resultados intermediários e finais da simulação.
- .. PROCEDURE SCAN
Este procedure identifica a parte numérica de uma string e a converte em número inteiro.
- .. PROCEDURE STRINGA
Este procedure converte um número inteiro em uma string.

A versão do compilador utilizada não é totalmente compatível com a versão utilizada no programa SIM original. Isto fez com que um dos procedures tivesse que ser alterado para que fosse possível a sua compilação. Este procedure é o REC_TLT, que deu origem a um outro chamado de AUXÍLIO.

A.2. FLUXO DE DADOS NO SIMULADOR

O fluxo de dados entre os programas que fazem parte do simulador pode ser representado graficamente. As figuras a seguir mostram esse fluxo, onde estão representados os programas, os arquivos de dados, e também a entrada e a saída dos dados, que são representados da seguinte forma:



Na representação dos arquivos, podemos identificá-los de duas maneiras. A primeira delas é utilizando a letra P e um índice, que neste caso indica um arquivo considerado principal. A outra é através da utilização da letra A e um índice, indicando um arquivo considerado auxiliar.

Existem outros tipos de diagramas de fluxo de dados. Esses diagramas são utilizados na fase de especificação de projetos, e apresentam simbologia e conceitos diferentes dos aplicados nessa tese. Uma outra proposta de diagrama de fluxo de dados pode ser vista em [18].

A Figura A.2 mostra o diagrama de fluxo de dados do programa que contém a interface de descrição do sistema de transporte.

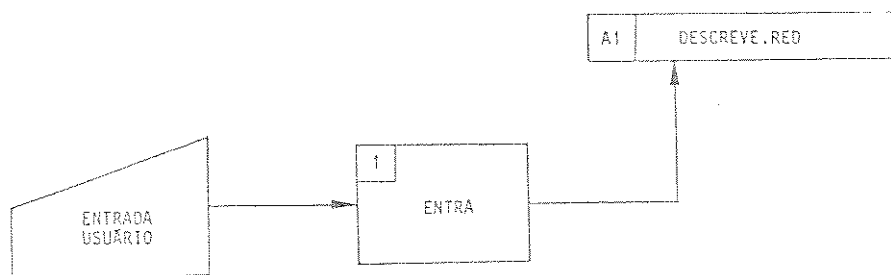


FIGURA A.2 - Diagrama de fluxo de dados do programa ENTR

O programa MODELADOR da Figura A.3 representa os programas MODELA.PAS, MODELA2.PAS e MODEL3.PAS citados no item anterior.

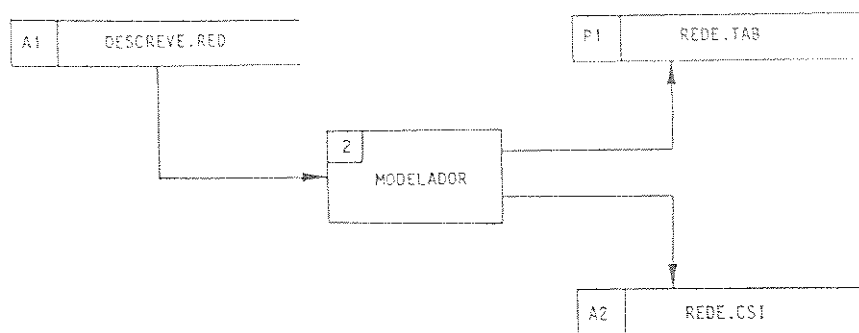


FIGURA A.3 - Diagrama de fluxo de dados do programa MODELADOR

A Figura A.4 mostra o diagrama de fluxo de dados do programa que contém a interface de especificação das condições de simulação e a geração do calendário.

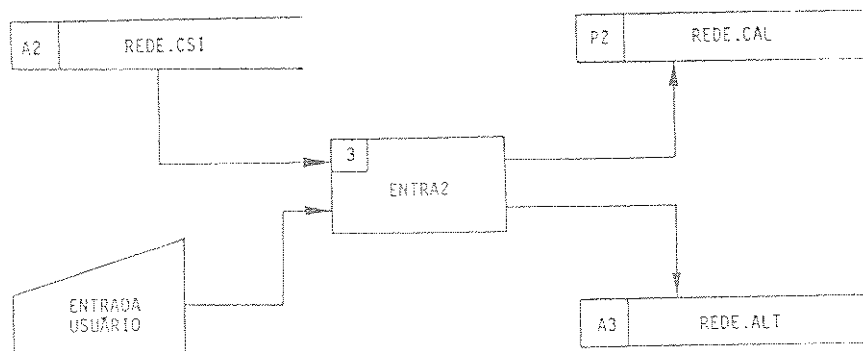


FIGURA A.4 - Diagrama de fluxo de dados do programa ENTRA2

A Figura A.5 mostra o diagrama de fluxo de dados do programa que contém o núcleo de simulação.

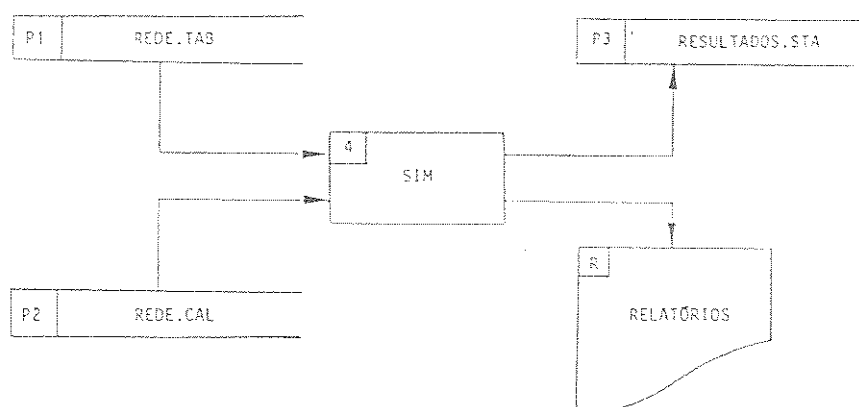


FIGURA A.5 -Diagrama de fluxo de dados do programa SIM

A Figura A.6 mostra o diagrama de fluxo de dados do programa que fez a alteração das condições de simulação, geradas no programa ENTRA2.

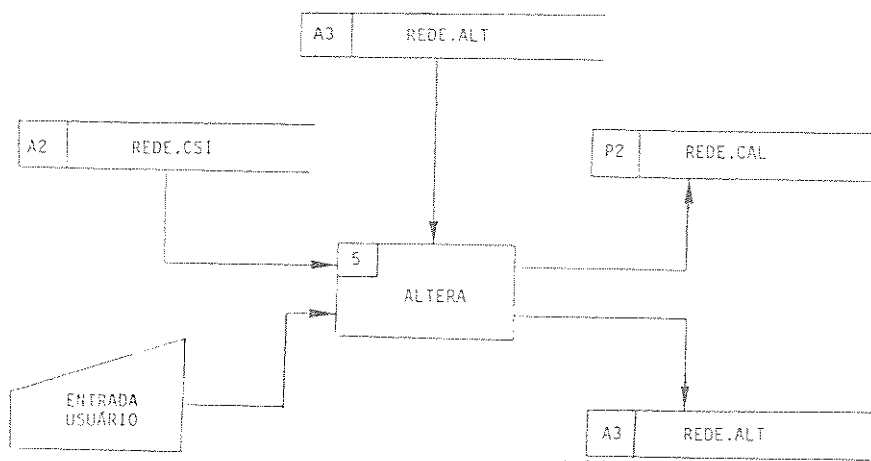


FIGURA A.6 - Diagrama de fluxo de dados do programa ALTERA

A.3. DICIONÁRIO DE DADOS

A seguir os arquivos são relacionados e o seu conteúdo é explicado:

- P1 - Arquivo que contém as tabelas que representam o modelo em rede de Petri da rede de transporte - REDE.TAB;
- P2 - Arquivo que contém o calendário, com as datas que conduzem a simulação - REDE.CAL;
- P3 - Arquivo que contém as estatísticas com os resultados finais - REDE.STA;
- A1 - Arquivo que contém a descrição da rede de transporte - DESCREVE.RED;
- A2 - Arquivo que contém a identificação dos lugares no modelo em RP, que serão associadas condições de simulação - REDE.CSI;
- A3 - Arquivo que contém as datas que conduzem a simulação, para alteração - REDE.ALT, e
- R - Dados a serem impressos em formulário contínuo, via impressora.

Os programas ENTRA, MODELADOR (ou MODELA), ENTRA2, SIM e ALTERA são os mesmos abordados no item A.1.