

# **MODELAGEM DE SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS UTILIZANDO-SE UMA ABORDAGEM HÍBRIDA (ORIENTADA A PROCESSOS E A OBJETOS)**

**Fabrcio Junqueira**

**Paulo Eigi Miyagi**

**Diolino José dos Santos Filho**

Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Depto. de Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: fabri@usp.br

## **Resumo**

Considera-se os sistemas de movimentação de materiais (tanto interno como de distribuição) em empresas de manufatura um dos elementos chave para a sua competitividade, pois dela depende a flexibilidade da produção e uma distribuição eficiente dos produtos. Desta forma, procura-se estudar ferramentas que permitam a modelagem e análise destes sistemas. Uma das ferramentas que tem se demonstrado efetiva para esta finalidade são as Redes de Petri Interpretadas como o E-MFG (Enhanced Mark Flow Graph). Assim, procura-se, neste trabalho, abordar o E-MFG de uma forma híbrida (orientada a processo e a objeto), visando-se aumentar a sua capacidade de modelagem de sistemas de movimentação de materiais.

**Palavras-chave:** E-MFG, Redes de Petri, Modelagem de Processos, Sistemas de Movimentação de Materiais.

## **1. INTRODUÇÃO**

Muitas empresas estão procurando ferramentas que as ajudem a melhorar a eficiência de seus sistemas produtivos, ou seja, torná-los eficazes e permanecerem competitivas. Dentre as várias ferramentas aplicáveis para esta finalidade, pode-se destacar o E-MFG (Enhanced Mark Flow Graph) – uma Rede de Petri Interpretada para aplicação em sistemas de manufatura – que vem demonstrando ser eficaz tanto na modelagem de sistemas produtivos como na especificação do controle destes sistemas, possibilitando a execução de simulações para análise de desempenho e implementação do controle (Santos Filho, 1993; 1995).

Dentre os requisitos mais importantes para ser competitivo estão a agilidade na resposta às necessidades do mercado – responder num curto espaço de tempo – e a flexibilidade na produção, ou seja, poder alterar o seu mix de produtos em produção com rapidez. Para tanto, as linhas de produção não podem ser rígidas, ou seja, dedicadas a apenas um produto ou família de produtos, é necessário mobilidade e intercambialidade de recursos. Para se garantir esta mobilidade utilizam-se transportadores de alta flexibilidade tais como VATs (Veículos Autônomos de Transporte) que incluem os veículos guiados pelo homem e cujas características de autonomia e versatilidade não têm sido adequadamente modeladas quando o enfoque é orientado apenas ao processo (Inamasu, 1995; Santos Filho, 1998). Desta forma, o que se apresenta aqui é uma contribuição à solução deste problema.

## 2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Antes de introduzir o conceito de modelagem híbrida (orientada a objeto e orientada para processos) utilizando-se Redes de Petri interpretadas, tal como o E-MFG, apresenta-se os conceitos de objetos e do E-MFG.

### 2.1 Objetos

A definição de objetos baseia-se em três conceitos fundamentais (Cantù, 1995):

- classes – é um tipo<sup>1</sup> de dado definido pelo usuário, o qual tem um estado<sup>2</sup>, uma representação<sup>3</sup> ou algumas operações<sup>4</sup> ou comportamentos. Uma classe possui alguns dados internos e alguns métodos<sup>5</sup>, na forma de procedimentos ou funções. Uma classe usualmente descreve as características genéricas e o comportamento de uma série de objetos<sup>6</sup> muito semelhantes;
- heranças – é a possibilidade de se definir um novo tipo a partir de uma já existente;
- polimorfismo – indica a capacidade de um objeto assumir várias formas, ou seja, permite-se que se referencie objetos de classes diferentes por meio da mesma variável.

Destes, os mais relevantes para este estudo são os dois primeiros por possibilitarem, respectivamente, o encapsulamento de “dados” e por possibilitar a utilização dos modelos existentes na confecção de outros modelos mais complexos.

Esta abordagem possibilita definir os elementos apenas uma vez, evitando-se duplicação de definições de elementos e facilitando futuras alterações dos modelos pois quando se altera, por exemplo, a estrutura de uma classe, todos os objetos que forem baseados nesta – que herdaram as suas características – são atualizadas automaticamente.

### 2.2 O E-MFG

O E-MFG (Santos Filho, 1993; 1995) é uma extensão do MFG (Hasegawa, 1988; Miyagi, 1985; 1996). Este, assim com o MFG, é uma ferramenta de modelagem do comportamento dinâmico de sistemas de controle de equipamentos e sistemas de manufatura, com capacidade para representar assincronismo, seqüencialização, paralelismo, concorrência e intertravamentos. Este é composto pelos seguintes elementos:

- elementos do MFG (Miyagi, 1985):
  - *box*: indica uma condição e é representado por um bloco quadrado (figura 1 (a));

---

<sup>1</sup> Os tipos determinam os valores que uma variável pode assumir (Cantù, 1995).

<sup>2</sup> Focando-se um componente do sistema de movimentação, o transportador, teria-se os seguintes estados: parado, movimentando-se, carregando ou descarregando.

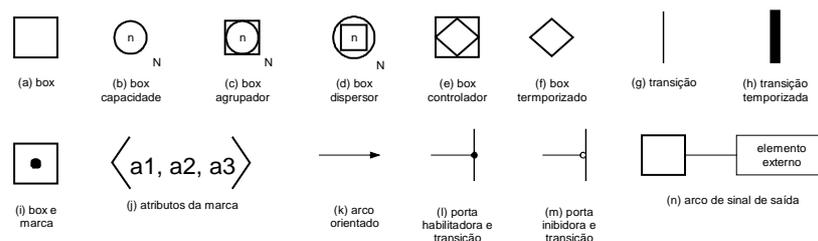
<sup>3</sup> Como representação, focando-se o transportador, poderia-se ter a sua representação em E-MFG, indicando os seus possíveis estados e dinâmica (ver figura 9 como exemplo).

<sup>4</sup> Ainda com relação ao transportador, poderia-se considerar as operações de carga e descarga de materiais.

<sup>5</sup> Como exemplo de método, pode-se citar as respostas às instruções para parar / movimentar e instruções para carregar / descarregar materiais.

<sup>6</sup> Objeto é uma instância de uma classe, em outras palavras, é uma variável do tipo de dados definido pela classe (Cantù, 1995).

- *transição*: representa a ocorrência de eventos e admite inscrições que representam regras adicionais restritivas para a evolução do estado do sistema (figura 1 (g));
- *marcas*: indicam a manutenção de uma condição (figura 1 (i)), podem ser individualizadas por *atributos* (figura 1 (j)), onde pode-se associar diversas informações referentes ao produto, ao processo, etc., podendo este assumir qualquer tipo;
- *arcos orientados*: estabelecem uma relação causal entre os eventos e as condições, podem conter inscrições variáveis que manipulam a transmissão dos *atributos* das *marcas* individuais (figura 1 (k));
- *arcos de sinal de saída*: podem transmitir informações aos dispositivos externos relativas ao estado dos *boxes*. Esta informação é derivada dos *atributos* da *marca* existente no respectivo *box*, através da especificação de inscrições variáveis nestes *arcos* (figura 1 (n)).
- elementos derivados de macro-representações:
  - *box capacidade*: é um macro elemento correspondendo a um grafo MFG com N elementos *box*, onde o símbolo N indica a sua capacidade, ou seja, quantos elementos *box* foram combinados para gerar o *box capacidade* (figura 1 (b));
  - *box agrupador*: um macro elemento correspondendo a um grafo MFG de uma operação de montagem (figura 1 (c));
  - *box dispersor*: um macro elemento correspondendo a um grafo MFG de uma operação de desmontagem (figura 1 (d)).
- elementos derivados de Redes de Petri Coloridas e outras extensões (Santos Filho, 1993):
  - *box temporizador*: quando uma *marca* aparece neste tipo de *box*, ela deve necessariamente permanecer neste *box* um intervalo de tempo, o qual pode ser determinado a partir de alguns dos *atributos* (figura 1 (f));
  - *transição temporizada*: uma vez que todas as condições de disparo estejam satisfeitas, esta *transição* só dispara após decorrido um intervalo de tempo. Se durante este tempo uma das condições deixa de ser satisfeita, a contagem do tempo é anulada. Será reiniciada somente após todas as condições estarem novamente satisfeitas (figura 1 (h));
  - *marca individual composta*: é uma *marca* simples que contém os *atributos* referentes à composição de várias *marcas* individuais simples;
  - *box controlador*: *box* onde se associa um conjunto de regras para a atualização dos *atributos* das *marcas*, as quais são regras de produção do tipo “se...então” referentes ao estado dos *atributos* e a atualização destes (figura 1 (e));
  - *portas habilitadoras / inibidoras*: portas que habilitam (figura 1 (l)) ou inibem (figura 1 (m)), respectivamente, a ocorrência de eventos. Esta condição adicional é especificada através de inscrições fixas relacionadas aos *atributos* agregados às *marcas*.



**Figura 1.** Elementos do E-MFG

Para efetuar a modelagem utilizando o E-MFG, devem ser observados os seguintes pontos:

- os *boxes* e as *transições* são necessariamente conectados de forma intercalada através dos *arcos orientados*.
- não existe limite para o número de *arcos* que entram ou saem dos *boxes* e das *transições*. Mas, em um par *transição-box* ou *transição-origem* da porta externa, pode existir apenas um *arco*.
- as *portas* e *arcos de sinal de saída* são formas de representação explícita das condições de controle.

A dinâmica de um sistema modelado em E-MFG é descrita através das regras de disparo das transições que alteram as marcações no grafo. Para mais detalhes destas regras consultar Miyagi [1996] ou Santos Filho [1993].

### 3. MODELAGEM HÍBRIDA E ESTUDO DE CASO

Afim de se apresentar a abordagem de modelagem híbrida (orientada a processo e a objeto), apresenta-se o exemplo de um sistema de movimentação de materiais utilizando-se inicialmente a metodologia orientada para processo na modelagem e em seguida a metodologia híbrida (orientada para processos e para objetos).

#### 3.1 Formulação do problema

O problema enfoca a movimentação de materiais entre unidades produtivas (que podem ser máquinas, prédios de uma mesma empresa ou entre empresas) – que serão designadas como *nós* – através de transportadores de alta flexibilidade – VATs. Sempre que existe a necessidade de transporte, o sistema produtivo (que não está sendo abordado neste trabalho) comunica esta necessidade a uma unidade de controle, informando o *nó* de origem e o *nó* de destino do material, e esta designa um transportador para realizar a movimentação do material (figura 2). Na figura 3 ilustra-se uma representação de várias unidades produtivas – *nós* – e os possíveis caminhos entre elas – *arcos*.

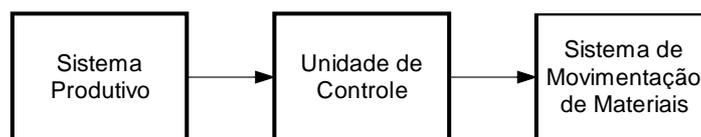


Figura 2. Fluxo de informações.

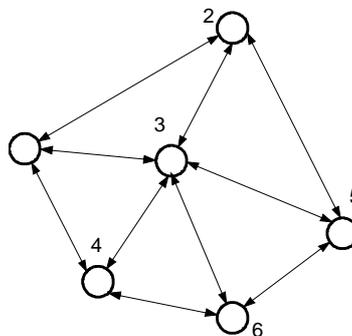


Figura 3. Modelo da malha de movimentação.

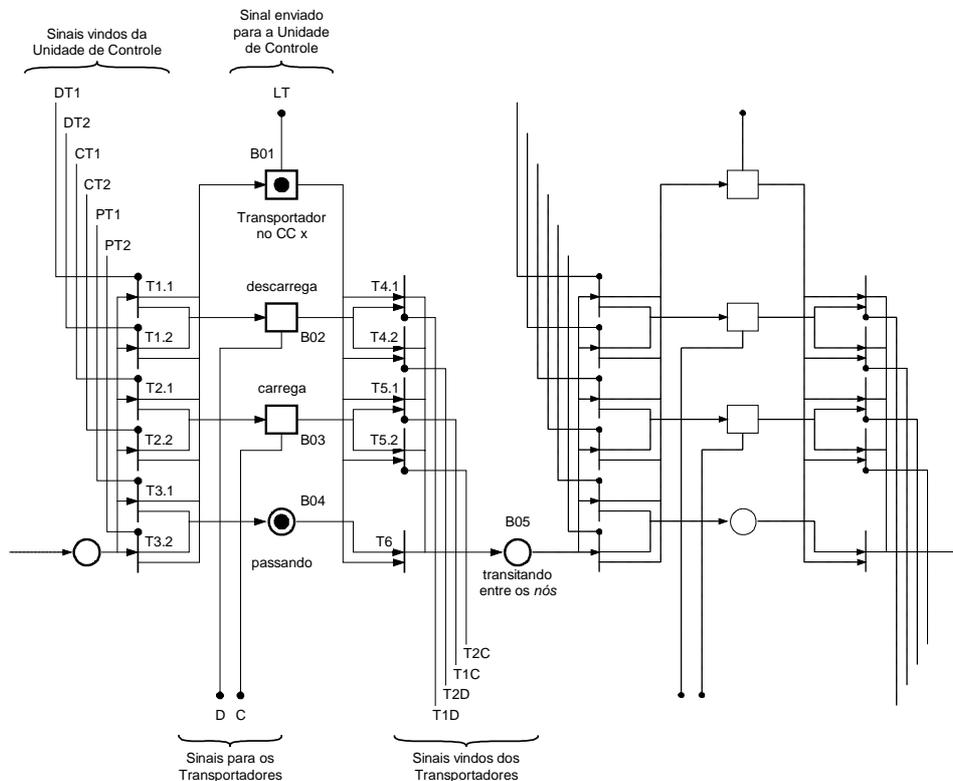
Nas próximas seções serão abordados os modelos dos elementos constituintes deste sistema: os *nós* e os transportadores.

### 3.2 Modelagem orientada para processos

Nesta modelagem, os modelos dos *nós* e dos transportadores são tradicionalmente desenvolvidos separadamente e interligados através de *portas* e *arcos de sinal de saída* (do E-MFG). Os transportadores são modelados por *marcas* que percorrem a malha de movimentação e, conseqüentemente, passam pelos *nós*, e possuem *atributos* para a sua identificação.

O modelo da figura 4 ilustra a representação de um *nó* da malha de transporte, onde o transportador pode estar:

- passando pelo *nó*;
- carregando um material no *nó* para ser transportado;
- descarregando um material que acabou de ser transportado.



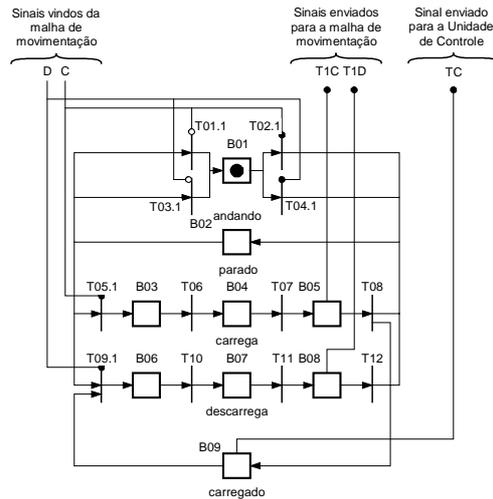
**Figura 4.** Representação da malha de movimentação utilizando-se o E-MFG, destacando-se a representação de um *nó* da malha.

Na ilustração da figura 4 as *marcas* indicam para a unidade de controle a localização do transportador e o que ele está fazendo – neste caso, passando pelo *nó*. As *transições* T1.i, T2.i e T3.i (onde *i* indica o número de transportador, ou seja, para *n* transportadores existirá *n* *transições* do tipo T1, *n* do tipo T2 e *n* do tipo T3) são habilitadas pela unidade de controle e são responsáveis, respectivamente, por: operação em que o transportador deixa o material sendo transportado; operação que o transportador carrega um material para ser transportado e operação que transportador passa direto pelo *nó*. Já as *transições* T4.i e T5.i são *transições* que disparam quando as respectivas operações de descarga e carga forem concluídas (mais

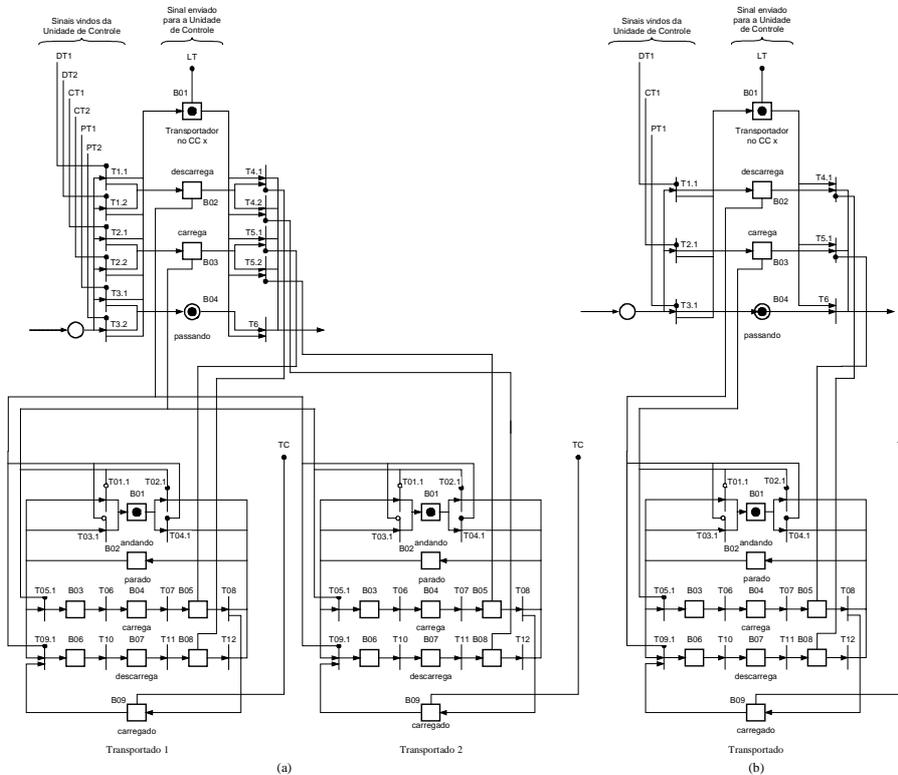
uma vez,  $n$  transportadores implicam em  $n$  transições T4 e  $n$  transições T5). Esta característica pode ser observada na figura 6.

O mesmo acontece no modelo dos transportadores (figura 5)– o número de transições T01.i, T02.i, T03.i, T04.i, T05.i e T09.i é proporcional ao número de nós presentes na malha de movimentação (figura 7).

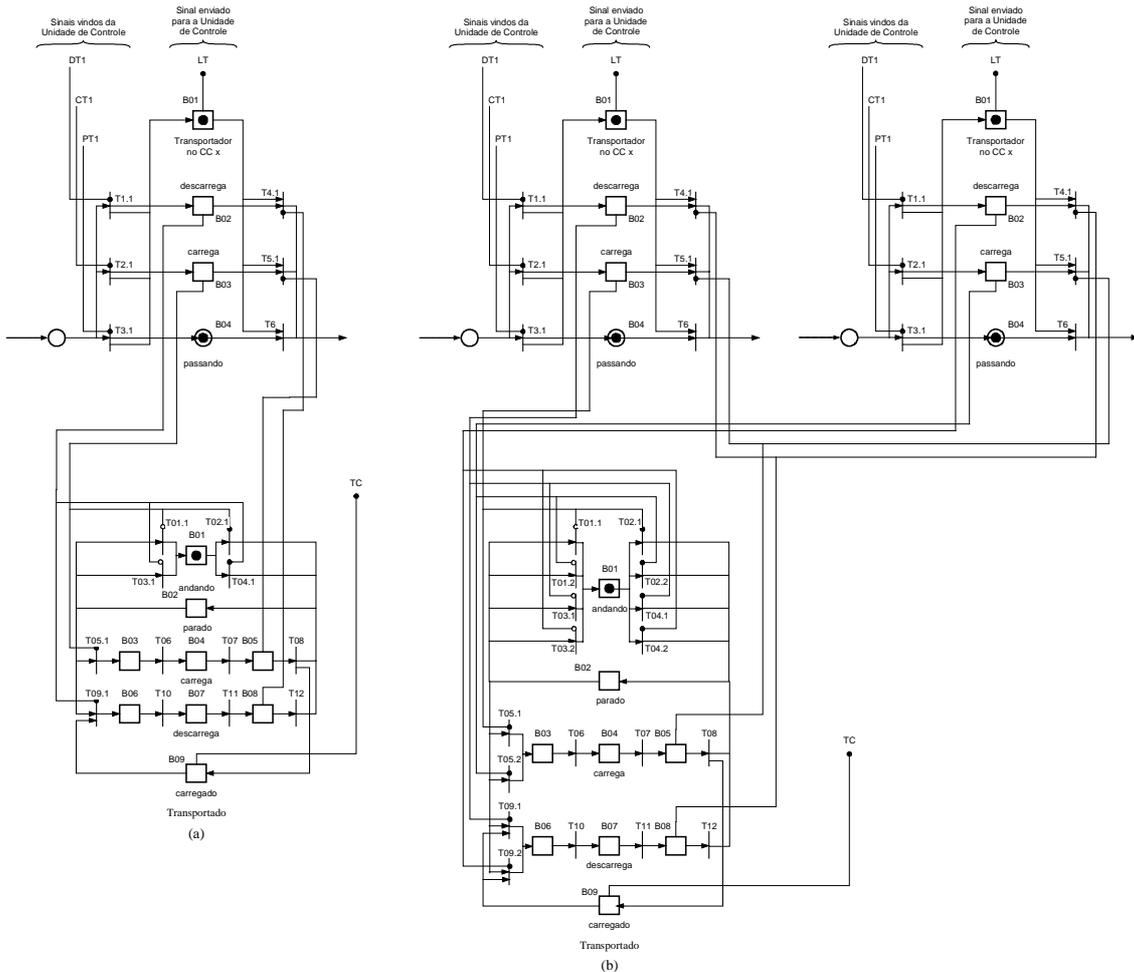
Esta abordagem permite que as inter-relações entre os modelos sejam evidenciadas, porém, sempre que se necessitar de uma mudança como a inclusão de um novo transportador ou mesmo um novo nó à malha, é necessário alterar todas as relações entre os componentes. Este inconveniente motivou a adoção da modelagem híbrida a seguir descrita.



**Figura 5.** Representação do elemento transportador.



**Figura 6.** Exemplo de mudanças necessárias na representação dos nós ao se variar o número de transportadores: (a) o modelo com 2 transportadores; (b) o modelo com um transportador.



**Figura 7.** Exemplo de mudanças necessárias na representação dos transportadores ao se variar o número de nós: (a) o modelo com um nó e (b) o modelo com dois nós.

### 3.3 Modelagem híbrida (orientada para processos e para objetos)

Nesta abordagem apenas as interações entre a unidade de controle e os nós é feita através de *arcos de sinal de saída* e *portas*. As interações entre os nós e os transportadores passam a ser realizadas através de *box controladores* que alteram os *atributos* da *marca* e, conseqüentemente, interagem com o modelo do transportador.

Para tanto, a *marca* (figura 8), ao invés de apenas identificar o transportador, passa a ser composta de dois *macro atributos*: “instrução” e “transportador”.

$$\langle \text{marca} \rangle \equiv \langle \langle \text{instrução} \rangle, \langle \text{transportador} \rangle \rangle$$

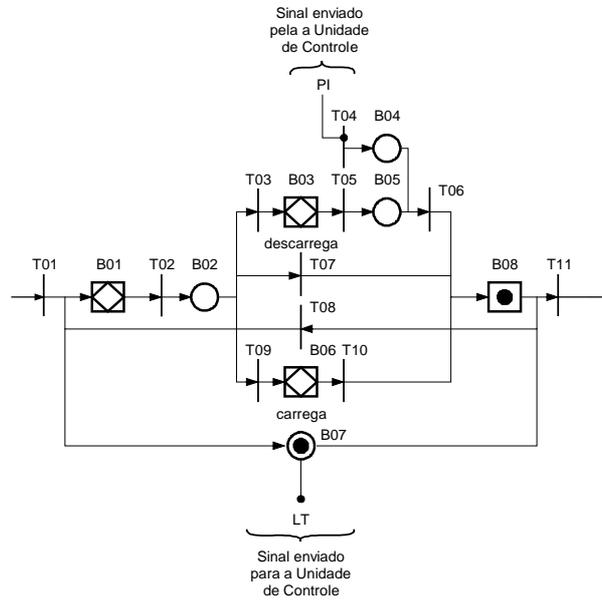
Estes *atributos* em conjunto com filtros nos *arcos* orientados eliminam a necessidade de um novo conjunto de *transições* para cada novo transportador inserido no modelo como acontecia na modelagem orientada para processos (figura 4).

O *macro atributo* “instrução” é composto de 3 *atributos*:

- origem – indica o nó onde o transportador deverá pegar o material;
- destino – indica o nó onde se deve deixar o material;

- rota a ser tomada – é uma lista de *nós* indicando a trajetória que o transportador deve realizar.

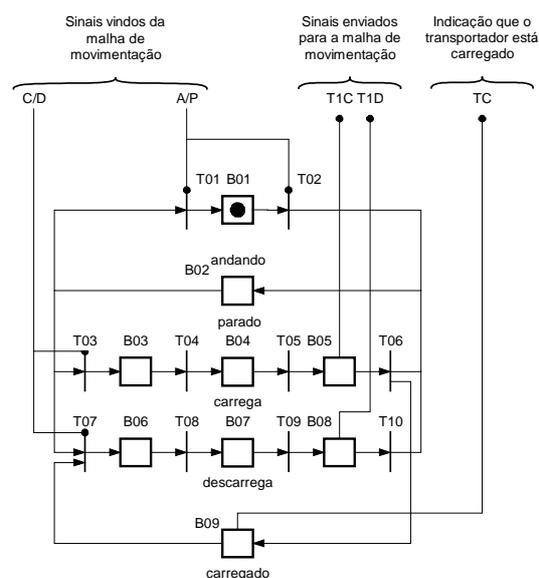
$\langle \text{instrução} \rangle \equiv \langle \text{origem, destino, rota a ser tomada} \rangle$



**Figura 8.** Nova representação de um *nó* da malha de movimentação.

Sempre que um transportador descarrega um material, este fica aguardando, em B05 (figura 8), uma nova requisição de transporte. O *macro atributo* “instrução” é passado pela unidade de controle para o *nó* através de uma *porta* – PI – e deste para o transportador através de um dos filtros nos *arcos orientados* que chegam na forma de porta habilitadora à *transição* T06 (figura 8), fazendo com que haja a combinação dos *atributos* da *marcas* presentes nos *boxes* B04 e B05, originando como resultado uma *marca* em B08.

O modelo do transportador, visto na figura 5, também sofre alterações (figura 9).



**Figura 9.** Nova representação do elemento transportador.

Assim, não mais é necessário um conjunto de *transições* para cada *nó* da malha de movimentação – como no modelo da figura 5 – pois o grafo (figura 9) passa a ser encapsulado em uma *marca* e seus *arcos de sinal de saída* e *portas* passam a ser vinculados aos *atributos* do *macro atributo* “transportador”. Desta forma, as *portas* (C/D e A/P) são habilitadas pelos *box-controladores* B03 ou B06 (figura 8).

$$\langle \text{transportador} \rangle \equiv \langle \text{Transp. i, C/D, A/P, T1C, T1D, TC, grafo} \rangle$$

#### 4. COMENTÁRIOS FINAIS

A proposta de encapsular modelos E-MFG (tem-se neste caso o transportador) e associar seus *arcos de sinal de saída* e *portas* (*gates*) com os *atributos* de uma *marca*, ou seja, inserir um grafo E-MFG dentro da *marca* faz com que as conexões anteriormente necessárias através de *arcos de sinal de saída* e *portas* passem a ser associadas à alteração de *atributos* da *marca* utilizando-se *box controladores* e o fluxo das *marcas* passa a ser direcionado pelos *atributos* e filtros contidos nos *arcos orientados*.

Esta nova abordagem permite que vários transportadores sejam incluídos ao modelo sem a necessidade de se incluir novos *arcos de sinal de saída* e/ou *portas*, bastando para isto definir uma nova *marca* contendo o objeto previamente encapsulado. Algo semelhante pode ser feito com os *nós* que passam a ter que ser conectados com os demais *nós* e com o sistema de controle. Disponibiliza-se assim uma técnica onde os usuários podem ter maior flexibilidade e agilidade no trato com o modelo, possibilitando, por exemplo, a simulação de desempenho do sistemas com *n* transportadores, sem se ter a necessidade de grandes alterações do modelo – apenas a inclusão de uma nova *marca*.

Outra característica que o modelo passa a apresentar é o conceito de herança das linguagens orientadas a objeto pois se necessitar considerar outras características para o transportador como sua capacidade de reboque, basta inserir um novo atributo à classe transportador definindo-se esta capacidade.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dado pela FAPESP e pelo CNPq ao presente trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Cantù, M., 1995, Dominando o Delphi – “A Bíblia”. São Paulo. Makron Books do Brasil Editora Ltda.
- Hasegawa, K.; et al., 1988, Application of the Mark Flow Graph to Represent discrete Event Production Systems and System Control. Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, SICE, Tokyo, Japão, v.24, n.1, p.69-75, ISSN 0453-4654.
- Inamasu, R. Y., 1995, Modelo de FMS: Uma Plataforma para Simulação e Planejamento. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Miyagi, P.E., 1985, A Study on MFG Based Programming Method for Robots. Dissertação de Mestrado, Tokyo Institute of Technology, Tokyo.
- Miyagi, P.E., 1996, Controle Programável - Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos. Editora Edgard Blücher, São Paulo.
- Reisig, W., 1992, A Primer in Petri Design. Springer-Verlag, Berlin.
- Santos Filho, D.J., 1993, Proposta do Mark Flow Graph Estendido para a Modelagem e Controle de Sistemas Integrados de Manufatura. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo.

- Santos Filho, D. J. & Miyagi, P. E., 1995, Enhanced Mark Flow Graph to Control Flexible Manufacturing Systems. *Jornal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences*, ABCM, Rio de Janeiro, RJ, v.17, n.2, p.232-248, ISSN 0100-7386.
- Santos Filho, D.J., 1998, *Sistemas Antropocêntricos de Produção Baseado em Redes de Petri Interpretadas*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo.