

MODELAGEM DE SISTEMAS DE MANUFATURA : UMA ABORDAGEM ORIENTADA A OBJETOS

*Luis Fernando Friedrich
Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Computação*

ABSTRACT

The paper shows an Object-Oriented Approach to Software Modelling of Manufacturing Systems. This approach enable the structure and behavior specification of manufacturing systems. The structure is represented by software objects and the relationship between these objects are defined by system activities. The behavior description is built up through activities that the manufacturing system realize.

RESUMO

O artigo apresenta uma Abordagem Orientada a Objetos para a Modelagem de Sistemas de Manufatura. A abordagem proposta permite a especificação da estrutura assim como do comportamento de um sistema de manufatura. A estrutura (parte operativa) é representada pelos objetos físicos componentes do sistema. O comportamento é descrito pelas atividades realizadas e que causam o fluxo dos objetos através do sistema. Os objetos físicos são modelados por objetos de software e, o relacionamento entre estes objetos definem as atividades dos objetos de mais alto nível, caracterizando assim uma hierarquia de especificação dos objetos componentes de um sistema de manufatura.

INTRODUÇÃO

A crescente utilização de máquinas de comando numérico, controladores lógicos programáveis, robos industriais, computadores e processadores de uso geral e sistemas gráficos, tem trazido nos últimos anos grandes transformações à indústria.

A tendência das inovações tecnológicas não se encontra apenas na sofisticação e aprimoramento destes elementos, como também na união destes elementos em sistemas integrados e com alto grau de flexibilidade.

Estes fatores tem como resultado um aumento no grau de automatização, assim como na complexidade, tanto a nível de projeto como de operação. Isto faz com que seja necessária a existência de metodologias de desenvolvimento com o propósito de auxiliar na especificação e projeto de sistemas que integram elementos como os citados anteriormente.

A necessidade de metodologias e linguagens que se apliquem ao desenvolvimento de sistemas de manufatura, com atenção especial aos aspectos de especificação e prototipação, constitui-se em uma das motivações deste trabalho. Mas a idéia mais importante que deve ser mantida durante o desenvolvimento do trabalho é a busca de uma metodologia simples que, além de atender as necessidades existentes, possa ser totalmente compreendida e manipulada pelos técnicos de cada empresa, sejam eles especialistas em informática sem conhecimento de engenharia ou, especialistas em engenharia sem conhecimento de informática.

SISTEMAS DE MANUFATURA

De um modo geral o termo *manufatura* tem sido utilizado para definir o conjunto de todas as atividades envolvidas na fabricação de um produto, desde o recebimento da definição do mesmo até a sua realização final. Um Sistema de Manufatura (SM) é a união de todos os elementos utilizados nestas atividades dentro de uma empresa.

Um SM pode ser considerado como sendo composto por vários sub-sistemas como células de montagem, robôs, máquinas operatrizes, centros de trabalho, transportadores, etc., de forma que cada um destes sub-sistemas executem uma atividade produtiva, ou seja, uma transformação física (*usinagem, montagem, etc*), ou um deslocamento (*carregamento, descarregamento, etc*).

A caracterização de um processo de manufatura se dá através do fluxo de itens (*material, recurso, etc*) que passa sequencialmente pelos sub-sistemas, onde atividades produtivas são realizadas [MIY89]. Dois pontos são importantes para caracterizar um processo de manufatura : as atividades realizadas e as condições de realização das mesmas. O relacionamento entre as atividades e condições são de natureza discreta, e por isto estes sistemas são denominados como Sistemas Produtivos de Eventos Discretos (SPEDs).

Elementos dos Sistemas de Manufatura

No que diz respeito à representação de sistemas de manufatura [WAL89], alguns elementos recebem um destaque especial ,

devido a sua importância na caracterização deste tipo de sistemas. Estes elementos representam os componentes de um sistema de manufatura, são eles :

RECURSOS:

Os recursos representam os equipamentos físicos necessários a realização de um processo de manufatura . Estes recursos podem ser considerados em vários níveis de abstração. . Os recursos de um modo geral realizam atividades dentro do sistema de manufatura, e podem ser caracterizados por atributos que podem ser :

- atributos fixos definindo a natureza do recurso e suas características .
- atributos variáveis que podem evoluir no decorrer do tempo (estado de uma máquina).

PEÇAS:

Uma peça ou material representa qualquer item identificável dentro de um sistema de manufatura. Peça é todo material físico que participa do processo de produção como uma matéria prima, uma peça propriamente dita, sub-montagem ou produto final. Da mesma forma que um recurso, uma peça é caracterizada pelos seus atributos e também pode ser vista em níveis de abstração diferentes.

ATIVIDADES:

Uma atividade representa a modificação do valor de um atributo (característica) de uma peça, como por exemplo a sua forma, localização, temperatura, etc. As atividades requerem, além dos seus insumos, diversos recursos, tais como um centro de trabalho, ferramentas, mão de obra, para serem realizadas. Uma atividade

pode ser definida em vários níveis de abstração, dependendo do nível de controle/planejamento que ela está sendo especificada. Por exemplo, uma atividade carregar peça na máquina em um centro de usinagem pode ser decomposta em várias outras atividades, envolvendo outros recursos como por exemplo uma esteira, um robô e uma máquina-ferramenta :

esteira <= parar

robô <= carregar peça da esteira

máquina-ferramenta <= receber peça do robô.

Características de Modelagem de Sistemas de Manufatura

Aqui serão apresentadas algumas características importantes para a modelagem de sistemas de manufatura, a serem aplicadas aos níveis de supervisão global, supervisão de centros de trabalho e controle local. Atualmente algumas metodologias tem sido usadas, fluxogramas, diagramas de estado e diagramas de tempo, para especificação e projeto de sistemas de manufatura. Um ponto importante para uma metodologia de desenvolvimento é a descrição do comportamento dos sistemas de maneira completa, consistente, concisa, sem ambigüidades e precisa.

De acordo com os níveis de controle, um sistema de manufatura pode ser considerado ou não como um sistema de eventos discretos, isto é, pode ser modelado por *eventos e atividades* (operações). Para os três níveis mais baixos da hierarquia a modelagem de sistemas de manufatura pode ser feita usando a noção de sistemas de eventos discretos.

Os sistemas de manufatura são complexos e tendem a aumentar o seu nível de complexidade assim que novas funções são a eles incorporadas. Desta forma a modelagem deste tipo de sistemas deve permitir representar o sistema em diferentes níveis de abstração e facilitar a sua decomposição em subsistemas funcionais, com uma definição das relações entre estes subsistemas.

A complexidade inerente aos sistemas de manufatura faz com que este tipo de sistema não possa ser modelado a partir de um modelo que utilize o conceito de estado global, porque a partir de um estado, são muitos os eventos que podem provocar alterações no estado do sistema. É importante a representação dos diversos aspectos estáticos e dinâmicos do sistema, através de uma forma precisa e uniforme.

Uma característica importante nos sistemas de manufatura é que as atividades realizadas podem acontecer (ser executadas) em paralelo, total ou parcialmente independentes. Isto faz com que problemas de sincronização entre atividades e a competição pelos recursos que podem ser acessados por mais de uma atividade, devam ser modelados. Desta forma a metodologia de modelagem a ser usada deve facilitar a decomposição das atividades em outras atividades total ou parcialmente independentes, permitir a expressão clara da sincronização entre as atividades e da competição ao recursos comuns.

Uma outra consideração importante é que este tipo de sistema envolve geralmente especialistas de diferentes áreas, e para que todos contribuam no desenvolvimento do sistema é

importante que a metodologia de modelagem seja de fácil aprendizado e compreensão, além de possuir boa legibilidade, preferencialmente com uma representação gráfica simples.

Resumindo o que foi discutido acima, alguns problemas são relevantes e devem ser considerados para a representação de sistemas de manufatura :

- a) a representação do sistema em diferentes níveis de abstração;
- b) a decomposição do sistema em subsistemas funcionais, com uma definição clara das relações entre eles;
- c) a expressão da sincronização entre atividades;
- d) a expressão da concorrência entre atividades;
- e) a possibilidade de execução do modelo.

ABORDAGEM PROPOSTA

Similarmente aos Sistemas de Processamento de Dados, os Sistemas de Manufatura passam por duas fases principais durante o seu ciclo de vida, a fase de desenvolvimento (projeto) e a fase de operação e manutenção. A grande complexidade e o alto custo de implantação que envolve os Sistemas de Manufatura implicam na necessidade de modelos de representação que, através do uso de formalismos de representação convenientes (próprios), que suportem os objetivos da modelagem, permitam a validação das soluções propostas através de análise ou de simulação.

A proposta apresenta uma abordagem onde o processo de

manufatura é visto como sendo composto por duas partes principais, a parte operativa e a parte de controle, a figura 1 ilustra esta visão.

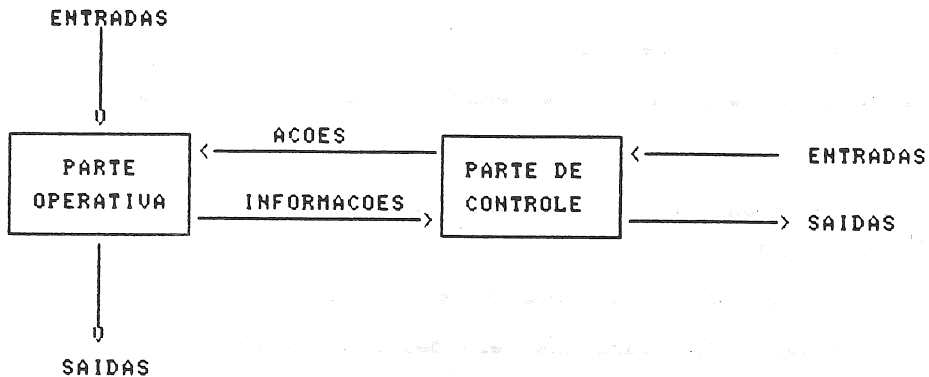


Fig. 3.1 Decomposicao do processo de manufatura

- a parte operativa engloba o conjunto de recursos físicos (máquinas, equipamentos, mão de obra) que são utilizados para armazenar ou transformar as matérias primas (peças).

- a parte de controle assegura o sequenciamento e condiciona a execução de operações na parte operativa. A cada estado da parte de controle é associado um conjunto de ações executadas na parte operativa [TEL84].

A abordagem proposta pretende descrever a execução das atividades de manufatura em termos de entidades de manufatura e atividades de manufatura. As entidades de manufatura representam a parte operativa (estrutura), enquanto que as atividades de manufatura representam a parte de controle (comportamento) dos SM. A abordagem propõe um modelo de software para representação dos sistemas de manufatura, onde o sistema é composto de objetos

(peças, equipamentos) e relações entre os objetos (atividades), que são definidas (sequenciadas) pela parte de controle.

A proposta introduz uma metodologia de representação onde os sistemas de manufatura são descritos levando-se em consideração a sua estrutura e o seu comportamento dinâmico. A estrutura é descrita a partir de seus componentes e suas características que definem atributos e operações individualmente. O comportamento dinâmico é caracterizado por atividades e fluxo de "coisas" (materiais, informações, recursos). As atividades nos sistemas de manufatura podem representar diferentes níveis conceituais, sugerindo assim uma estrutura hierárquica na descrição das atividades.

A seguir é mostrado como a parte operativa e a parte de controle são representadas e de que forma o modelo gerado a partir da especificação do usuário pode ser analisado. A proposta apresentada considera a criação de um ambiente de desenvolvimento, a nível de protótipo, de sistemas de manufatura com base na metodologia de representação introduzida.

Representação da Parte Operativa

Com o objetivo de representar os componentes de sistemas de manufatura é proposta a utilização das técnicas de orientação a objetos [BOO86] [COX86]. Objetos são usados para modelar entidades de manufatura como: recursos (equipamentos, mão de obra), materiais (peças, matéria prima), etc., que caracterizam entidades físicas de SM.

A modelagem de software é um processo de criação de uma representação ou modelo do sistema considerado, em um sistema de computação. Este modelo é geralmente criado a partir da descrição dos objetos no sistema e das interações dos objetos. Um dos problemas clássicos para uma abordagem genérica para a modelagem de sistemas de manufatura é a necessidade de incorporar abstração em múltiplos níveis. Esta necessidade existe pelo fato de que pessoas em diferentes níveis na hierarquia da organização tendem a ter uma visão dos componentes do sistema em diferentes níveis de abstração. Os sistemas orientados a objetos permitem que estes componentes possam ser tratados em diferentes níveis de abstração, possibilitando assim múltiplas visões da situação de uma maneira completa e consistente.

Estudos de problemas de implementação de sistemas de manufatura [BES85], tem recomendado uma abordagem incremental para a implementação. No paradigma de orientação a objetos duas características principais, *modularidade dos objetos* e *conceito de herança*, fazem com que esta abordagem seja possível.

Alguns autores [ENG85] [TAM84] tem identificado vários requisitos para modelagem de software em sistemas de manufatura. Estes requisitos em sua maioria incluem interfaces de usuário e interfaces de desenvolvimento de software. Os ambientes de desenvolvimento orientados a objetos na sua maioria incorporam grande parte dos requisitos identificados.

As entidades de manufatura, sejam elas físicas ou conceituais, são modeladas como objetos de software que apresentam um conjunto de características (atributos) e um conjunto de

operações (métodos) e são usadas para descrever a execução de atividades de um sistema de manufatura. Por exemplo, são entidades de manufatura : *informação*, *materiais*, *recursos*. *Informação* pode ser pedidos, informações técnicas, etc. *Materiais* incluem todas as 'coisas' físicas que entram no produto durante o processo de manufatura (matéria prima, peças, etc). *Recursos* representam todos os objetos físicos que realizam o processo de manufatura (equipamentos, ferramentas, pessoal, etc).

A identificação dos objetos é feita, pelos usuários, levando em consideração as entidades de manufatura que representam os tipos de objetos. Os objetos são definidos a partir da especificação de suas características como estrutura, operações e restrições. Objetos que apresentam características iguais são reunidos em classes. A estrutura dos objetos de uma classe é um conjunto de atributos que possuem um nome e um tipo, o tipo dos atributos pode ser uma constante ou uma referência a outra classe de objetos. No caso de um atributo do tipo referência o valor do mesmo é o nome de um objeto da classe referida e assim, os operadores que se aplicam neste caso permitem a chamada de uma operação do objeto. O valor de um objeto é o conjunto dos valores de seus atributos.

Um objeto apresenta operações e atributos públicos, que podem ser utilizados por outros objetos, e privados, que são ignorados pelos outros objetos e utilizados exclusivamente pelas operações do próprio objeto. Os serviços que um objeto coloca a disposição de seus clientes são, desta forma, a consulta de atributos públicos e a chamada de operações públicas.

O paradigma de orientação a objetos é considerado aqui como modelo para a representação da estrutura dos sistemas de manufatura, permitindo a especificação das entidades componentes e participantes de um SM. A modelagem orientada a objetos torna possível uma correspondência natural e direta entre o mundo da manufatura e seu modelo.

Representação da Parte de Controle

A parte de controle é responsável pela coordenação e especifica como os elementos componentes de um sistema de manufatura participam nas atividades realizadas. Na representação da parte de controle são consideradas as atividades que definem o processo de manufatura (sistema).

As atividades são consideradas, no modelo apresentado, como sendo transições simples (representando eventos), ou através da utilização de uma representação agregada que associa a uma transição a sequência *início de atividade / atividade / fim de atividade*. A representação agregada é mais apropriada no sentido de que ela detalha os eventos importantes de uma atividade (início e fim), e permite que se possa associar à atividade o tempo de realização da mesma (tempo padrão).

As atividades envolvem um conjunto de entidades que são necessárias para a sua realização, ou seja, são as condições que permitem que uma determinada atividade seja realizada. O modelo aqui considerado representa a sequência de realização das atividades de um SM, e as condições (recursos, materiais, etc.)

necessárias para a realização das mesmas. Cada atividade determina também um conjunto de ações que são executadas em função da realização da atividade. Estas ações são executadas pelos objetos componentes do SM, sendo que as ações correspondem a operações (atividades) definidas para estes objetos.

Os lugares na rede representam os objetos que participam das atividades, onde as marcas são individualizadas, ou seja, caracterizam as instâncias de um objeto. Desta forma uma atividade pode ser representada por um conjunto de lugares que definem os objetos que participam da sua realização, uma transição (evento) de início da atividade, um lugar que modela a atividade e uma transição de fim da atividade. Os resultados da execução de uma atividade de manufatura são colocados nos lugares de saída da atividade, seja através da criação de novos objetos ou da mudança de estado dos objetos.

A modelagem com as redes de Petri permite descrever aspectos importantes nos sistemas de manufatura como o paralelismo (duas atividades independentes), a competição por um recurso, a escolha entre alternativas, e a sincronização entre atividades. As redes permitem ainda uma boa visualização do fluxo de recursos e materiais, assim como informações, existente entre as atividades de manufatura.

A partir da especificação da rede que representa a parte de controle do sistema de manufatura, a idéia é criar um modelo de simulação onde a interpretação da rede define as atividades a ser realizadas a cada ciclo e as ações que os objetos participantes devem realizar. Neste caso cada atividade tem associada

pré-condições e pós-condições que determinam as restrições ações.

Os objetos considerados nos sistemas de manufatura podem ser complexos (agregados), ou primitivos. Nos objetos primitivos a rede que descreve a parte de controle representa o comportamento do objeto a nível de atividades que ele realiza.

O modelo proposto para a representação da parte de controle dos sistemas de manufatura permite a descrição das atividades e dos recursos utilizados, sejam eles equipamentos ou materiais. As atividades seguem uma hierarquia onde o seu conteúdo pode ser detalhado, ou seja, uma atividade pode ser representada por várias sub-atividades inter-relacionadas num nível inferior.

Exemplo

O exemplo a seguir descrito envolve um sistema composto por tres máquinas que realizam atividades e um conjunto de depósitos intermediários que armazenam peças, sobre as quais são realizadas operações. O processo é descrito da seguinte forma : quando os depósitos 1 e 2 contém pelo menos uma peça cada um a atividade 1 pode ser iniciada, sendo realizada pela máquina 1; o término da atividade implica na colocação de um produto no depósito 3; quando existe um produto no depósito 3 pôde-se iniciar a atividade 2 ou a atividade 3.

Os objetos considerados no exemplo representam as peças e as máquinas (parte operativa) componentes do sistema, enquanto a rede de Petri representa o sequenciamento e as condições de

realização (parte de controle) das atividades do sistema. A figura 2 mostra os objetos (classes) que compõe o processo de manufatura.

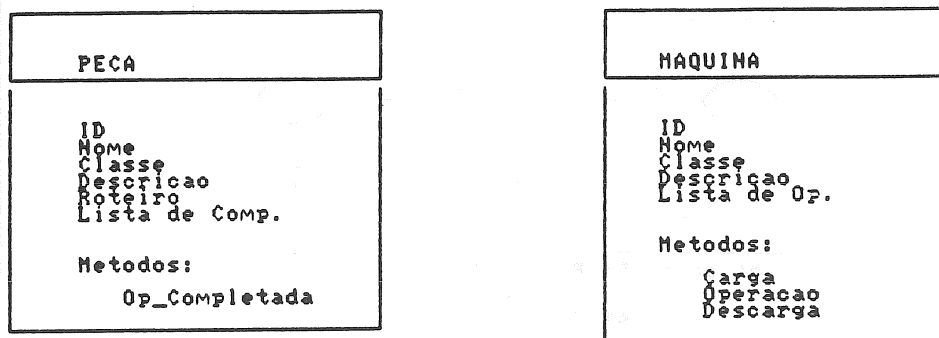


Fig. 2 Representação dos objetos peça e máquina

A figura 3 mostra a representação do comportamento do processo (parte de controle). A representação abrange o fluxo de objetos (materiais, recursos) assim como de que forma o processo interage com os objetos componentes do sistema.

Neste caso os lugares representam as classes de objetos (L1, L2, L4 representam a classe peça), e a realização das atividades (AT_1, AT_2, AT_3 representam as atividades do processo). As transições representam os eventos de início e fim de uma atividade, e a elas são associadas pré-condições e ações. As pré-condições podem determinar o valor dos atributos dos objetos a serem selecionados. As ações mostram de que forma os objetos participam da realização das atividades deste nível. As ações são atividades realizadas pelos objetos componentes do nível de

controle que esta sendo descrito, por exemplo :

M1.carga (P1,P2).

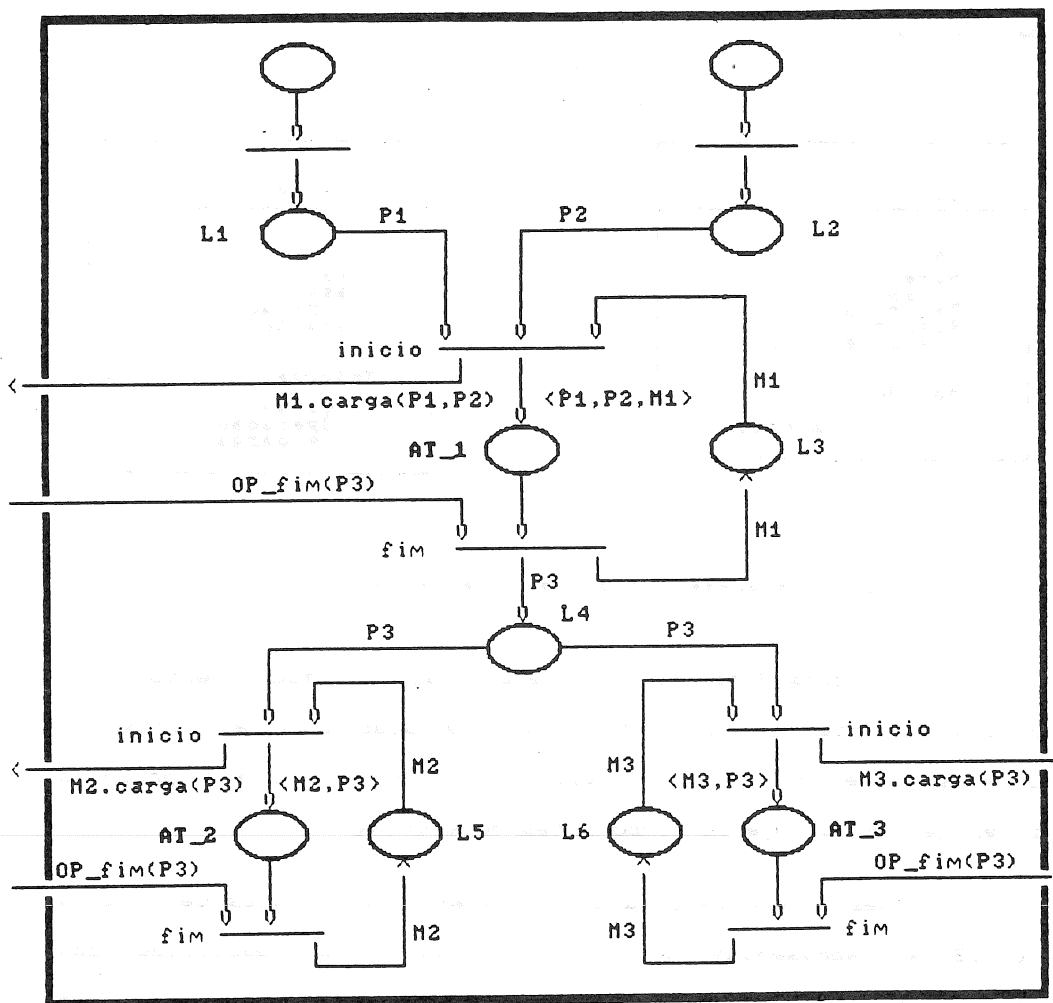


Fig. 3 Representação da parte de controle

significa que o objeto *M1* participa da atividade *AT_1*, através da execução da sua atividade *carga*. São definidos ainda os atributos necessários para a realização da atividade, *P1 P2*, que por sua vez podem ser referências (classes de objetos) ou constantes.

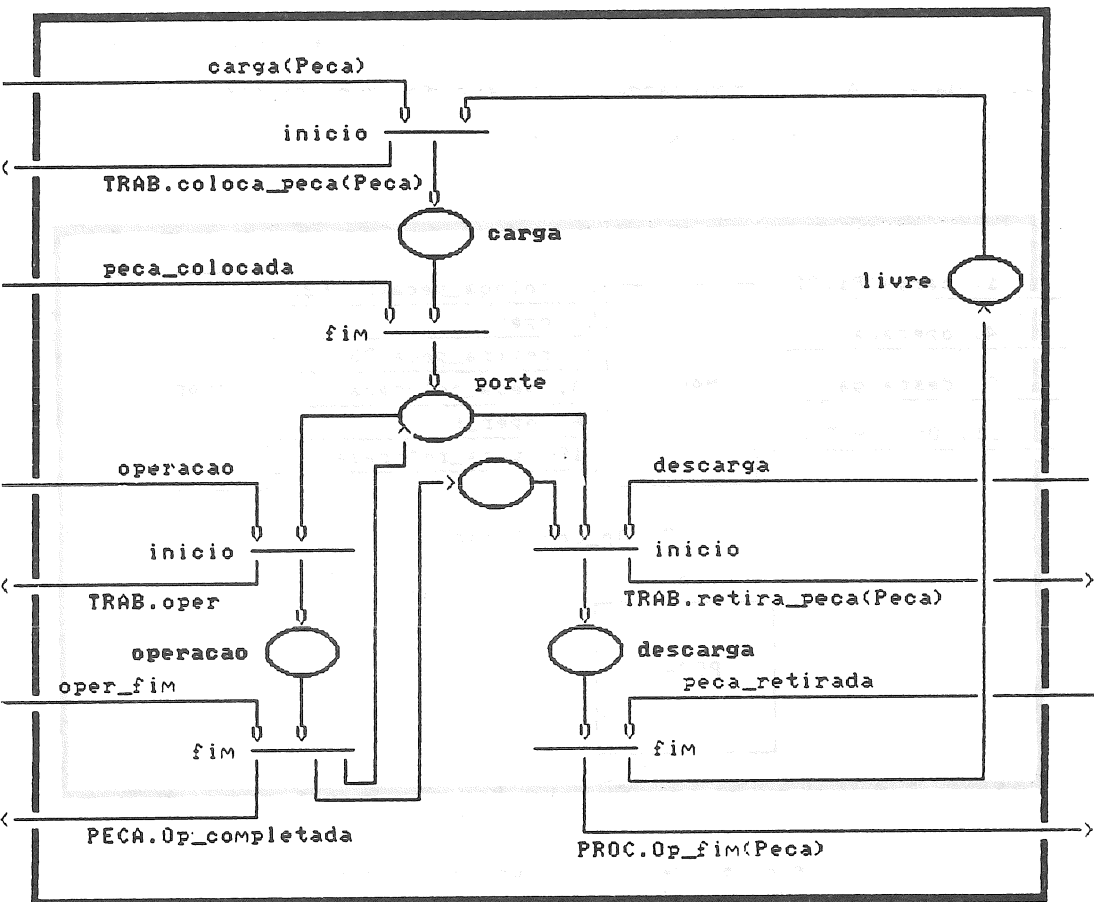


Fig. 4 Parte de Controle do objeto Máquina

A figura 4 mostra a representação da parte de controle (comportamento) da classe de objetos *Máquina*. Neste nível de descrição aparece um novo objeto *TRAB* que não é visto pelo processo descrito na figura 3.4, e que participa das atividades do objeto *Máquina*. A parte de controle do objeto máquina mostra como as atividades realizadas por este objeto se comportam. Os lugares *porte* e *livre* indicam estados internos do objeto, neste caso a ativação do objeto por uma mensagem depende do seu estado interno.

A figura 5 apresenta o cenário que descreve uma atividade (AT_1), mostrando a interação que existe entre os objetos participantes desta atividade.

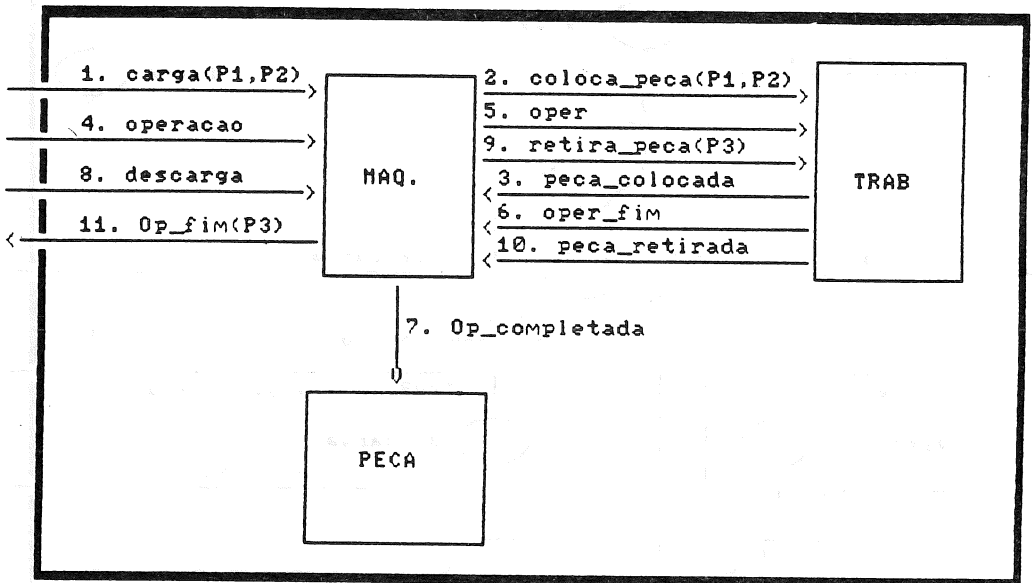


Fig. 5 Cenário de uma atividade

CONCLUSÕES

O artigo apresenta uma proposta para a modelagem de sistemas de manufatura que tem como base a metodologia orientada a objetos e o formalismo das redes de Petri. A modelagem orientada a objetos é adequada para a representação das entidades físicas de manufatura, permitindo também a representação das operações destas entidades. O formalismo das redes de Petri nos permite modelar aspectos de sincronização e paralelismo entre atividades e também serve como base para simulação do sistema de manufatura modelado.

BIBLIOGRAFIA

- [ADI89] ADIGA, S. Software Modelling of Manufacturing Systems: A casefor an Object-Oriented Programming Approach. ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH, 17(363-378), 1989.
- [BAS89] BASTIDE, R. & SIBERTIN-BLANC, C. Conception Par Objets de Systemes Paralleles. In. SECOND INT. WORKSHOP ON SOFTWARE ENGINEERING AND ITS APPLICATIONS, 4-8 decembre 1989, Toulouse.
- [BES85] BESSANT, J. The integration barrier; problems in the implementationof advanced manufacturing technology. Robotica. April-June 1985, p.97-103.
- [BOO86] BOOCH, G. Object-Oriented Development. IEEE Transactions on Software Engineering . 12(2), Feb. 1986, p. 211-221.
- [BRU86] BRUNO, G. & BALSAMO, A. Petri-net Based Object-Oriented Modelling of Distributed Systems. Proceedings. OOPSLA'86, Sep. 1986.
- [COX86] COX, B.J. Object-Oriented Programming . Addison-Wesley. Reading MA, 1986.
- [ENG85] ENGELKE, H. et alli. Integrated Manufacturing modeling system. IBM Journal of Res. Development. July 1985, p.343-355.
- [GEN81] GENRICH, H.J. & LAUTENBACH, K. System Modelling with High-Level Petri Nets. Theoretical Computer Science, 13, 1981, p.109-136.
- [GLA89] GLASSEY, R.C. & ADIGA, S. Conceptual Design of a Software Object Library for Simulation of Semiconductor Manufacturing Systems. Journal of Object-Oriented Programming, SIGS, New York, Nov/Dec 1989, p.39-43.

- [HEU88] HEUSER, C.A. Modelagem de Sistemas com Redes de Petri. CPGCC, Porto Alegre, Maio, 1988.
- [MIY89] MIYAGI, P.E. MFG/PFS Uma metodologia para o desenvolvimento do Controle de Sistemas Automatizados de Manufatura. In: 1. ENCONTRO REGIONAL DE AUTOMAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO. E S, 1989.
- [TAM84] TAMM, B.; KITTNER, R. & VILIPYLD, J. A system for CAD/CAM software development and implementation. Computers in Industry . 5 (1984) , p.367-376.
- [TEL84] TELICHEVESKY, R.G. Prospec: Um Formalismo para a Especificação de Sistemas de Fabricação. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre, Junho 1984.
- [WAL89] WALTER, C. Representação de Sistemas de Manufatura. Notas de Aula. CPGCC. Porto Alegre, RS. 1989.