

SISTEMÁTICA PARA INDIVIDUALIZAÇÃO DE MARCAS DO E-MFG NO PROJETO DE SISTEMA DE CONTROLE PARA SISTEMA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

UANDERSON R. C. MAZZONI¹, OSVALDO L. ASATO², RICARDO H. KUBO³,
CARLOS FRAJUCA¹, GIVANILDO A. SANTOS¹, FRANCISCO Y. NAKAMOTO¹

*Laboratório de Automação e Integração da Manufatura, Departamento de Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Câmpus São Paulo¹
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Câmpus Suzano²
Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo³*

E-mails: uanderson.mazzoni@ifsp.edu.br, asato@ifsp.edu.br, ricardo.hideki.kubo@gmail.com,
frajuca@ifsp.edu.br, givanildo@ifsp.edu.br, nakamoto@ifsp.edu.br

Abstract— The technological advances and the increase of complexity in industrial plants and equipment used in manufacturing process have increased the demand of proposal for new techniques of modelling on productive processes. The tools derived from Petri Net are efficient in the modelling stages of a controlled object and in the design of control systems. This project has the objective to present a proposal of a systematic for generating control models for Flexible Manufacturing Systems using the PFS/MFG methodology considering the modelling of data structure present in the individual marks of E-MFG nets using the object diagram from UML.

Keywords— Flexible Manufacturing Systems, Petri Nets, Unified Modeling Language, PFS/MFG Methodology.

Resumo— Os avanços tecnológicos e o aumento da complexidade nas plantas industriais e dos equipamentos empregados nos processos de manufatura têm exigido cada vez mais a proposição de novas técnicas de modelagem dos processos produtivos. As ferramentas derivadas da rede de Petri se mostram eficientes nas etapas de modelagem do objeto de controle e no projeto de sistemas de controle para sistemas produtivos. O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de sistemática para geração de modelos de controle para Sistemas Flexíveis de Manufatura utilizando a metodologia PFS/E-MFG considerando a modelagem da estrutura de dados presente nas marcas individuais da rede E-MFG utilizando o diagrama de objetos do UML.

Palavras-chave— Sistema Flexível de Manufatura, rede de Petri, *Unified Modeling Language*, Metodologia PFS/MFG.

1 Introdução

Considerando o comportamento dinâmico imposto pela mudança nos valores sociais, adição de novas tecnologias e políticas de mercado globalizado a flexibilidade dos processos produtivos é requerida ao extremo, ou seja, a necessidade por produtos e serviços com gradativa redução do ciclo de vida, o uso racional de recursos e insumos por questão da sustentabilidade dos processos industriais, a garantia da qualidade e confiabilidade como diferencial de mercado (Nakamoto et al. 2008a), além de aspectos tecnológicos que deslocam gradativamente a autonomia de componentes e equipamentos inteligentes (Shrouf, 2014), essas exigências aumentaram a complexidade nos sistemas de manufatura, com isso é necessário desenvolver modelos que permitam avaliar e analisar as propriedades do sistema. Levando-se em consideração a dinâmica imposta pelo mercado globalizado, a classe de sistemas de manufatura, denominada de Sistema Flexível de Manufatura (SFM) ganhou destaque e importância nas pesquisas acadêmicas. Os SFMs possuem a característica de executar diversos processos utilizando um mesmo conjunto

finito de recursos (Groover, 2011), e pertencem à classe de Sistemas Dinâmicos a Eventos Discretos (SDED). Os SDED são sistemas em que a evolução dos estados ocorre de forma assíncrona a partir da ocorrência de eventos que causam uma transição instantânea de estados. Consequentemente, podem ocorrer inclusive o conflito e a concorrência de eventos (Murata, 1989; Miyagi, 1996; Cassandras e Lafortune, 2008).

A evolução dos paradigmas de projeto de sistemas de controle para SFM é gradativa e sensível à absorção das novas tecnologias nas áreas de informação, eletrônica embarcada, de automação e de integração dos sistemas de manufatura. Neste sentido, Miyagi (1996) propôs inicialmente a metodologia *Production Flow Schema/Mark Flow Graph* (PFS/MFG) para projeto de sistema de controle de SFM. O PFS (Miyagi, 1996) é uma ferramenta gráfica utilizada para modelar o sequenciamento das atividades do processo produtivo, enquanto que o MFG (Hasegawa, 1988) é uma rede de alto nível derivado das Redes de Petri (RdP) (Murata, 1989; Cassandras e Lafortune, 2008). A RdP é uma ferramenta gráfica e matemática, proposto por Carl Adam Petri (Murata, 1989) que permite modelar SDED. Santos Filho (2000) apresentou o *Enhanced Mark Flow Graph* (E-

MFG), uma evolução do MFG com a individualização das marcas, elevando o grau de abstração dos modelos. Matsusaki (2004) contribuiu incorporando ao E-MFG os elementos de comunicação entre as redes, denominado de E-MFG com comunicadores.

Por outro lado, a aplicação da metodologia PFS/MFG foi apresentada inicialmente por Cavalheiro (2004) no projeto de sistemas de controle modulares e distribuídos. Nakamoto (2008a) abordou a tratativa de *deadlock* nos sistemas de alocação de recursos utilizando o E-MFG com comunicadores. Observa-se que neste trabalho há uma lacuna na metodologia PFS/MFG, uma vez que os modelos resultantes são o E-MFG. Seguindo a mesma abordagem, Asato (2015) considerou a utilização das máquinas multifuncionais em SFM propondo um paradigma de alocação de funcionalidades. Trabalhos mais recentes apresentados por Guirro (2017), que propôs um modelo em E-MFG com comunicadores para sistema de Programação e Controle da Produção (PCP) baseado na norma ANSI/ISA S95 (ISA, 2013), e de Kubo (2017), que desenvolveu novos modelos para a alocação de funcionalidades dos processos de manufatura baseado nos trabalhos de Asato (2015), apresentam a mesma lacuna na metodologia PFS/MFG para gerar os modelos E-MFG.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo apresentar os estudos preliminares para uma proposta de complementação da metodologia PFS/E-MFG e sistematização para a geração da estrutura de dados das marcas dos modelos E-MFG utilizando o diagrama de objetos do UML - *Unified Modeling Language* (Booch, Tumbaugh e Jacobson, 2005).

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Modelagem de Sistema de Controle de Sistemas Flexíveis de Manufatura

A modelagem do sistema de controle de um SFM, baseado na metodologia PFS/MFG, tem sido intensamente utilizada em pesquisas de sistemas de controle para sistemas produtivos conforme os trabalhos de Santos Filho (2000), Junqueira (2001), Cavalheiro (2004), Matsusaki (2004), Araújo Júnior (2006), Nakamoto (2008a), Nakamoto et al. (2008c; 2008b; 2009; 2011), Cavalheiro (2013), Asato (2015), Da Silva (2016), Guirro (2017) e Kubo (2017). Destaca-se que nos trabalhos de Nakamoto (2008), Asato (2015), Guirro (2017) e Kubo (2017) foram mapeados modelos em E-MFG a partir do modelo MFG, ou seja, a individualização das marcas ocorreu após a criação dos modelos em MFG.

Segundo Miyagi (1996), controlar significa impor um comportamento dinâmico desejado ao sistema. Entretanto, o projeto de sistema de controle para SFM envolve além do processamento, montagem e manipulação de materiais, um volume considerável de informações de aquisição, armazenamento, processamento e distribuição (Nakamoto, 2008a). Se-

gundo a metodologia de projeto de sistema de controle para sistemas produtivos proposto por Miyagi (1996), independente da dimensão do sistema produtivo, as seguintes atividades devem ser realizadas:

- i. Identificação do objetivo final do sistema;
- ii. Compreensão do objeto de controle, instalações e equipamentos;
- iii. Organização dos conhecimentos sobre os dispositivos de controle;
- iv. Abstração e análise das funções de controle, modos de operação e monitoração da instalação;
- v. Definição das funções de controle, dos fluxos das funções de controle, das interfaces e das funções a estas associadas, da alocação dos sinais de entrada e saída e da estrutura do programa de controle;
- vi. Projeto de Reutilização de código;
- vii. Projeto do Sistema de Controle;
- viii. Desenvolvimento do programa;
- ix. Teste por unidade e teste do sistema.

Ainda, segundo Miyagi (1996), o ciclo de vida do sistema de controle possui duas fases, conforme apresentado na figura 1.

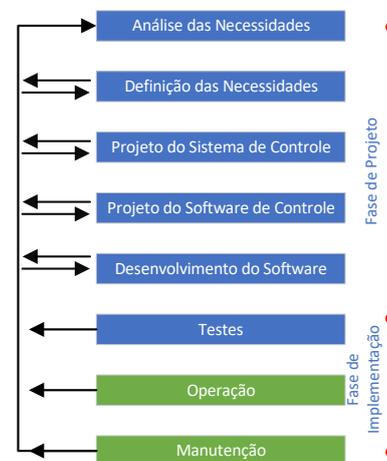


Figura 1. Ciclo de vida do sistema de controle (Adaptado de Miyagi, 1996).

Destaca-se que a primeira fase é realizada de forma cíclica baseada no ciclo de prototipagem de software (Figura 2).

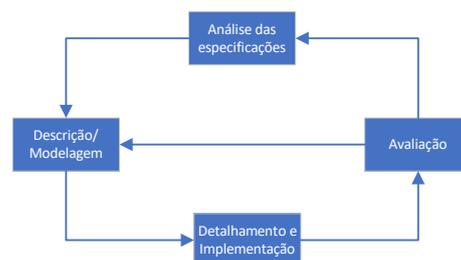


Figura 2. Ciclo de prototipagem de *software* (Adaptado de Miyagi, 1996).

2.2 Metodologia PFS/MFG

A metodologia *Production Flow Schema/Mark Flow Graph* (PFS/MFG) é baseada no método *Top-Down* de projetos e na abordagem estruturada hierárquica através do refinamento sucessivo (Miyagi, 1996; Santos Filho, 2000). O PFS (Miyagi, 1996) é uma ferramenta que permite construir um modelo conceitual num nível relativamente alto de abstração sem considerar a dinâmica do sistema (Figura 3). O MFG (Hasegawa, 1988) é uma rede interpretada derivada da Rede de Petri, (Murata, 1989) desenvolvida para a modelagem e controle de sistemas, sendo que no nível mais detalhado do projeto, a rede deverá possuir apenas modelos MFG para serem implementados (Figura 4).

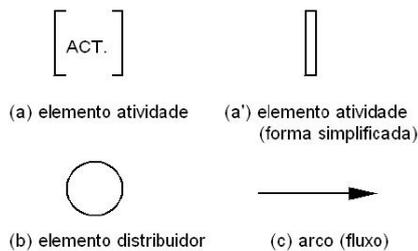


Figura 3. Elementos estruturais do PFS (Miyagi, 1996).

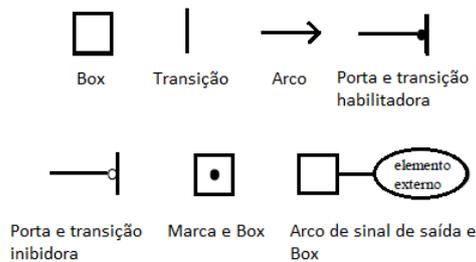


Figura 4. Elementos estruturais do MFG (Adaptado de Hasegawa, 1988).

As atividades e distribuidores do modelo de alto nível em PFS são substituídos por uma rede detalhada em PFS ou MFG. O uso dessa metodologia permite o mapeamento do modelo conceitual em PFS para o modelo formal em MFG ou E-MFG (*Enhanced Mark Flow Graph*) que inclui as marcas individuais aos elementos estruturais do MFG (Figura 5) e permite a manipulação de marcas com atributos sem, no entanto, fugir do modelo de rede elementar convencional (Santos Filho, 2000) de forma estruturada e modular, tornando mais eficiente o processo de modelagem do sistema global. Além disso, permite que problemas complexos possam ser decompostos em módulos mais simples, simplificando a modificação, atualização e correção, ou seja, a manutenção do programa (Miyagi, 1996; Santos Filho, 2000).

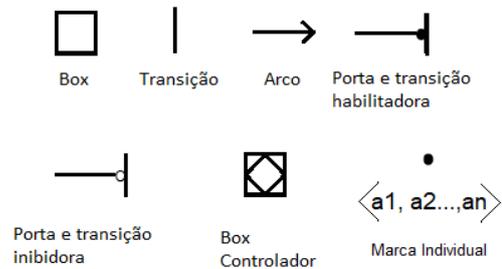


Figura 5. Elementos estruturais E-MFG (Adaptado de Santos Filho, 2000).

Miyagi (1996) divide as atividades em níveis hierárquicos para facilitar a distinção no processo do refinamento sucessivo. Os níveis mais representativos estão listados a seguir:

- Nível de tarefas: Engloba atividades onde um valor é acrescido ao processo produtivo.
- Nível de operações: Atividades correspondentes às operações de máquinas, dispositivos, etc.
- Nível de ações: Atividades correspondentes às ações e movimentos físicos simples.

Desta forma uma atividade no nível de tarefas contém atividades ao nível de operações, que por sua vez possuem atividades do nível de ações. Se for necessário adicionar outros níveis, os mesmos podem ser introduzidos em cada um dos níveis acima (Miyagi, 1996).

Miyagi (1996) apresenta os passos para o desenvolvimento da metodologia PFS/MFG:

- 1º Passo: Identificação dos principais fluxos de atividades;
- 2º Passo: Detalhamento dos fluxos de atividades;
- 3º Passo: Detalhamento das atividades;
- 4º Passo: Introdução dos elementos de controle de recursos e
- 5º Passo: Indicação dos sinais de controle com a planta.

Santos Filho (2000) acrescentou a marcação individual ao modelo MFG para gerar a metodologia PFS/E-MFG, seguindo os seguintes procedimentos:

- I. Representação de cada processo por um modelo PFS conceitual de alto nível de abstração.
- II. Detalhamento de cada processo em atividades, definindo a lógica de sequenciamento inerente a cada um deles.
- III. Definir o conjunto de atributos que deve ser associado a cada grafo E-MFG.
- IV. Detalhar as atividades dos processos através de modelos E-MFG.
- V. Mapeamento dos sinais de controle indicando os eventos gerados pelo controlador a partir de arcos de sinal de saída e os eventos ocorridos na planta a partir das portas externas.

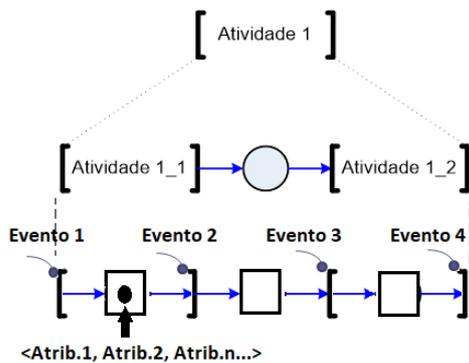


Figura 6. Metodologia PFS/E-MFG.

3 Proposta de Sistemática para Individualização da Marca do E-MFG.

A proposta de sistemática desenvolvida visa complementar a metodologia PFS/E-MFG para sistematizar a elaboração da estrutura de dados baseado na metodologia de projeto proposto por Miyagi (1996) nas atividades *iv* e *v*.

A atividade *iv* está relacionada com a abstração e análise das funções de controle, dos modos de operação e monitoramento das instalações e equipamentos, ou seja, um estudo sobre os objetos de controle, equipamentos e instalações.

A atividade *v* está relacionada com a definição das funções de controle, dos fluxos das funções de controle, das interfaces e das funções a estas associadas, da alocação dos sinais de entrada e saída e da estrutura do programa de controle.

Para ilustrar a proposta para geração do fluxo de controle através da metodologia PFS/E-MFG, considerando a estrutura de dados da marca individual utilizando a ferramenta orientada a objetos UML, será apresentado um exemplo retirado de Miyagi (1996). O exemplo ilustra o processo de fabricação de um produto através da mistura de dois ingredientes líquidos (Líquido A e Líquido B) e adição de uma quantidade de material sólido, que serão misturados e despejados.

Para ilustrar os benefícios da ferramenta E-MFG as seguintes mudanças no exemplo apresentado em Miyagi (1996), serão adicionadas:

- O processo será capaz de produzir uma gama de produtos alterando as quantidades e tipos de líquidos e produtos sólidos.
- O processo de mistura possui diferentes tempos de operação.

Segundo a metodologia para modelagem de sistema de controle proposta por Miyagi (1996), o primeiro passo é definição dos objetos de controle.

3.1 Objeto de Controle

O objeto de controle é um conjunto formado por diferentes elementos. Portanto para compreender o objeto de controle, é necessário estudar as caracterís-

ticas de cada elemento e identificar as inter-relações entre estes elementos (Miyagi, 1996).

Para cada um dos elementos do objeto de controle existem funções que devem ser pré-definidas, existem ações e operações que ativam a realização de funções e, como resultados desses comandos se têm transições de um estado para o outro, com isso, sensores devem ser instalados para identificar estes estados.

Para esta atividade, os seguintes documentos devem ser elaborados.

- Diagrama estrutural (esquemático) do objeto de controle: Diagrama contendo os elementos do objeto de controle, seus elementos de atuação, detectores e os inter-relacionamentos entre eles (Figura 7).
- Lista preliminar dos atuadores: São listas de motores, válvulas eletromagnéticas, etc. com a descrição do inter-relacionamento com o sistema mecânico como velocidade, direção de operação, etc.
- Lista preliminar dos detectores com descrição do tipo, estado de operação, posicionamento de operação, etc.

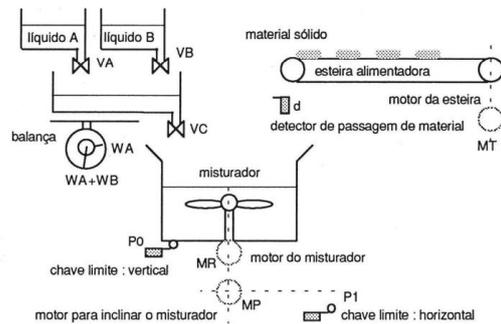


Figura 7. Diagrama estrutural (Miyagi, 1996)

O diagrama estrutural do objeto de controle ilustra o processo para fabricação do produto final e o inter-relacionamento entre os atuadores e sensores.

3.2 Definição da função de controle

Para a realização das operações referentes ao processo de manufatura, devem ser definidos os procedimentos que ativam as várias funções de controle, ou seja, a definição do fluxo das funções de controle. Esse fluxo define a sequência de produção de cada produto conforme definido previamente. A ferramenta gráfica PFS (Figura 8) permite representar os passos em blocos funcionais (atividades) de diferentes níveis conceituais admitindo sem dificuldades uma representação estruturada em diferentes níveis de abstração, do nível mais alto até o nível mais baixo, chamado nível de chão de fábrica (Miyagi, 1996).

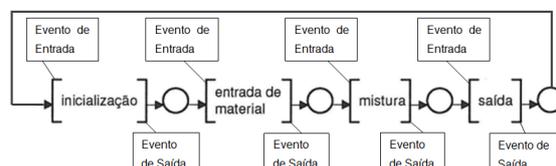


Figura 8. Modelo PFS inicial (Adaptado de Miyagi, 1996)

As funções de controle analisadas através do diagrama estrutural de inter-relacionamento definem os elementos do sistema de controle considerando as características dos SDED, ou seja, as relações entre os eventos e os estados a partir dos dispositivos de atuação, dispositivos de sensoriamento, dispositivos de comando e dispositivos de monitoração.

3.4 Definição dos atributos da marca E-MFG

A marca recebe o nome de individual pelo fato de possuir um vetor de atributos vinculados a ela (Figura 9), podendo conter informações do produto, do processo ou do controle (Santos Filho, 2000). O trabalho propõe a definição dos atributos da marcação individual da rede E-MFG, baseados na norma ANSI/ISA S95 (ISA, 2013).

De acordo com a norma ANSI/ISA S95, o modelo de objetos busca, por meio de categorias de informação, identificar objetos que são comuns aos vários fluxos de dados relacionados ao controle da produção, o que simplifica e otimiza a modelagem dos sistemas e sua implementação no ambiente industrial.

Os quatro grupos de informações relacionados ao gerenciamento da produção que se identificam por categorias são:

- **Informação para definição do produto:** Dados dos recursos necessários e da segmentação da produção, de forma a delinear a forma de fabricar determinado produto;
- **Informação da capacidade de produção:** Indicações de quais recursos existem e estão disponíveis, capacidade de materiais, pessoas e equipamentos, tanto ao curto quanto em médio prazo;
- **Informação de planejamento da produção:** Define a sequência, os prazos, o que deve ser feito e utilizado para produzir determinado produto;
- **Resposta de produção:** Define o que realmente foi produzido, o que foi utilizado e os resultados obtidos.

● < Id.Mistura, Lote, Líquido A, Líquido B, Material Sólido, Tempo de Mistura >

Figura 9: Atributos da marca individual E-MFG

Dentre os itens listados a informação de capacidade de produção não faz parte do escopo da marcação individual, pois esta etapa deve ser gerenciada no nível de planejamento da produção. A figura 10 apresenta a modelagem da estrutura de dados da marca baseado no diagrama de objetos do UML, que é um diagrama que mostra um conjunto de objetos e seus relacionamentos em um ponto no tempo.

Os diagramas de objetos são utilizados para visualização, especificação, construção e documentação da existência de certas instâncias encontradas no sistema, juntamente com os relacionamentos entre

essas instâncias. (Booch, Tumbaugh e Jacobson, 2005).

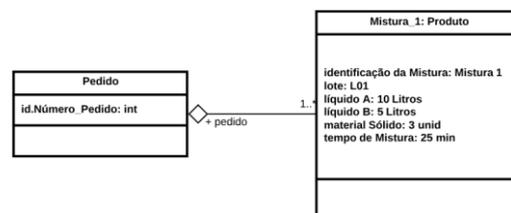


Figura 10. Diagrama de objetos UML.

De posse do modelo inicial do PFS, das informações de atuadores e sensores e dos atributos da marcação individual, continua-se o refinamento sucessivo até o passo E-MFG (Figura 11). O Box controlador indicado na figura 11 altera os atributos da marca de acordo com a seleção do produto. Desta forma, verifica-se que a rede em questão poderia realizar o processo de mistura de uma família de produtos, bastando apenas a alteração dos parâmetros de dosagem e tempo de mistura.

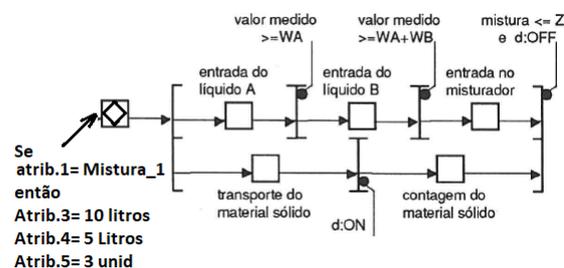


Figura 11. Detalhamento da atividade entrada de material (Adaptado de Miyagi, 1996)

A rede E-MFG resultante da metodologia PFS/E-MFG com a modelagem da estrutura de dados pelo diagrama de objetos, pode ser implementada para a execução no Controlador Lógico Programável (CLP) de maneira sistemática com bases na norma IEC 61131 – parte 3 (Fonseca et al., 2008). A modelagem da estrutura de dados é realizada a partir dos atributos definidos pelo diagrama de objetos, mediante utilização da linguagem Texto Estruturado (*Structured Text*), conforme apresentado na figura 12.

```
VAR
BOTAO_MISTURA_1: BOOL;
LIQUIDO_A: INT;
LIQUIDO_B: INT;
MATERIAL_SOLIDO: INT;
TEMPO_MISTURA_1: TIME;
END_VAR;
```

Figura 12: Estrutura de dados em texto estruturado ST

O programa em linguagem *Sequential Function Chart* (SFC) é gerado a partir do mapeamento direto

da rede E-MFG, conforme apresentado nas figuras 13 e 14.

Destaca-se que, de acordo com a necessidade e o grau de abstração necessária, é possível a implementação do algoritmo executado no Box controlador utilizando as outras linguagens definidas pela norma IEC-61131-3.

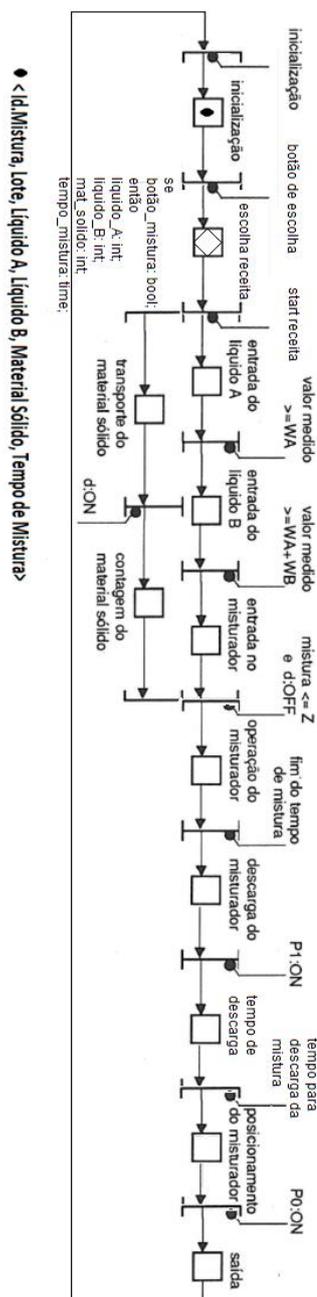


Figura 13. Rede E-MFG (Adaptado de Miyagi, 1996)

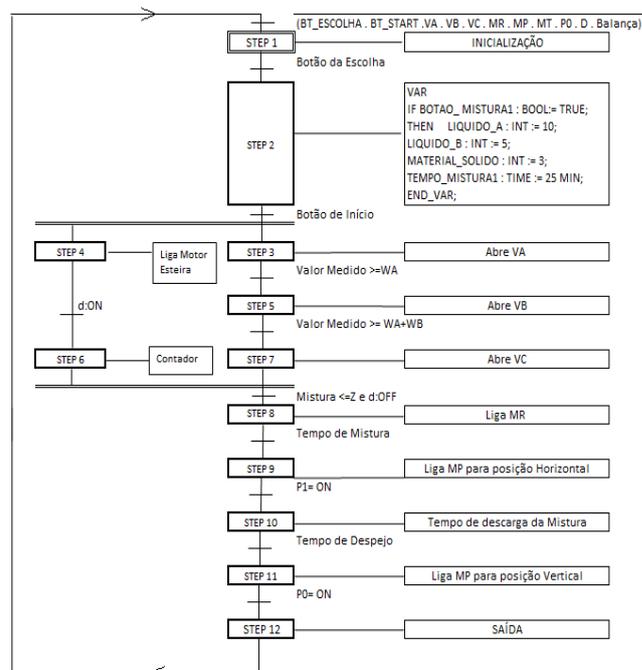


Figura 14: SFC da rede E-MFG

4 Conclusão

Neste trabalho foi apresentada uma proposta de utilização da ferramenta diagrama de objeto UML para auxiliar na modelagem da estrutura de dados e, baseado nos modelos apresentados, apresentar a viabilidade de incorporação à metodologia PFS/E-MFG para a geração da rede E-MFG do sistema de controle para SFM.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, CNPq e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

Referências Bibliográficas

- Araújo Junior, L.O. de. (2004), “Método de Programação de Sistemas de Manufatura do Tipo Job Shop Dinâmico não Determinístico”. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Asato, O. L. (2015), “Regeneração de Sistemas Produtivos Mediante a Realocação Dinâmica de Recursos com Flexibilidade Funcional”. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP.
- Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobson, I. (2005), “The Unified Modeling Language User Guide”, 2nd Edition, Addison-Wesley Professional.
- Cassandras, C. G. and Lafortune (2008), S. Introduction to Discrete Event Systems, second edition, Springer.
- Cardoso, J and Valette (1997), R. Redes de Petri, Editora UFSC.
- Cavalheiro, A. C. M. (2004) “Projeto de Sistemas Modulares e Distribuídos”. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Cavalheiro, A. C. M. (2013), “Sistema de Controle para Diagnóstico e Tratamento de Falhas em Dispositivos de Assistência Ventricular. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- DA SILVA, R.M. Controle de Sistemas Reconfiguráveis de Manufatura. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- Fonseca, M.O., Seixas Filho, C., Bottura Filho, J.A. (2008) Aplicando a Norma IEC 61131 na Automação de Processos, São Paulo: ISA Distrito 4, 568p.
- Groover, M.P. (2011) Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. New Jersey: Ed. Prentice-Hall.
- Guirro, D. N (2017), “Requisitos para Modelagem do Sistema de Execução da Manufatura com Bases na Norma ANSI/ISA S95”. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, SP.
- Hasegawa, K., Takahashi, K., Miyagi, P.E. (1988) Application of Mark Flow Graph to represent discrete event production systems and system control. Society of Instrument and Control Engineers, Tokyo, v.24, n.1, p.69-75.
- ISA - The International Society of Automation. ANSI/ISA-95.00.03-2013 Enterprise-Control System Integration - Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management, 2013.
- Junqueira, F. (2001), “Modelagem de Sistemas Flexíveis de Movimentação de Materiais através de Redes de Petri Interpretadas”, Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP.
- Kubo, R. H (2017), “Proposta de Sistema de Controle para Alocação de Recursos Multifuncionais e Transporte (VGAs) Tolerante a Falha”. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, SP.
- Matsusaki, C.T.M. (2004), “Modelagem de Sistemas de Controle Distribuídos e Colaborativos de Sistemas Produtivos”. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Miyagi, P. E. (1996), Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos. São Paulo: Editora Edgard Bluncher.
- Murata, T. (1989), “Petri Nets: Properties, Analysis and Applications”, Proceeding of the IEEE, vol. 77 n° 4, pp.541-580.
- Nakamoto, F.Y. (2008a), “Projeto de Sistemas Modulares de Controle para Sistemas Produtivos”, Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Nakamoto, F.Y., Asato, O.L., Miyagi, P.E., Santos Filho, D.J., (2008b), “Proposta de Arquitetura do Sistema de Controle para Sistemas Produtivos Flexíveis”. XVII CBA - Congresso Brasileiro de Automática, 14 a 17 de setembro de 2008, Juiz de Fora/MG.
- Nakamoto, F.Y., Asato, O.L., Miyagi, P.E., Santos Filho, D.J., (2008c), “Solução de Deadlock em Sistemas Produtivos Considerando uma Arquitetura Hierárquica Modificada de Controle”. XVII CBA - Congresso Brasileiro de Automática, 14 a 17 de setembro de 2008, Juiz de Fora/MG.
- Nakamoto, F.Y., Miyagi, P.E., Santos Filho, D.J., (2009), “Automatic Generation of Control Solution for Resource Allocation Using Petri Net Model”. Produção, v 19, n°1, jan/abr. pp. 008-026.
- Santos Filho, D.J., Nakamoto, F.Y., Junqueira, F. Miyagi, P.E., (2011), “Task Control of Intelligent Transportation Vehicles in Manufacturing Systems”. Mechatronics Series I: Intelligent Transportation Vehicles, Chapter 8, pp. 146-169.
- Santos Filho, D.J. (2000), “Aspectos do Projeto de Sistemas Produtivos”, Tese (Livre docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- Shrouf, F; Ordieres, J. and Miragliotta, G., (2014), “Smart Factories in Industry 4.0: A Review of the Concept and of Energy Management Approached in Production Based on the Internet of Things Paradigm”. 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, pp. 697-701.
- Zhou, M. and Zurawski (1994) “R. Petri Nets and Industrial Applications: A Tutorial”. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 41, n. 6, pp. 567-583.