

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

Utilização das Redes de Petri na Modelagem das Atividades de Operações da Manufatura da norma ANSI/ISA S95

Diego Nogueira Guirro, diegoguirro@hotmail.com¹

Osvaldo Luís Asato, asato@ifsp.edu.br¹

Givanildo Alves dos Santos, ginavildo@ifsp.edu.br¹

Francisco Yastami Nakamoto, nakamoto@ifsp.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus São Paulo – Departamento de Mecânica

Resumo: A dinâmica da interação dos diversos níveis do sistema produtivo é objeto de estudo de muitos grupos de pesquisas que buscam um melhor entendimento da natureza complexa de tais sistemas para propor soluções eficazes, que atendam a necessidade de agilidade dos processos, e eficientes do ponto de vista da viabilidade, ou seja, do uso racional dos recursos disponíveis e insumos necessários. A demanda de produtos cada vez mais customizados por um mercado dinâmico e competitivo tem reduzido consideravelmente o ciclo de vida de tais produtos e a questão da flexibilidade dos processos produtivos tornou-se fundamental para as empresas. A flexibilidade é alicerçada pelas inovações tecnológicas na mecânica, eletrônica, controle, informática e comunicação que geram soluções na área de materiais e processos de fabricação. Entretanto, a flexibilidade não é único atributo, mas sim por um conjunto de atributos que tornam o sistema produtivo flexível e, muitas vezes, a interação entre os sub-sistemas flexíveis são fontes de desperdícios e retrabalhos, gerando altos custos no processo produtivo. Neste sentido, o conceito de Lean Manufacturing tem promovido uma reestruturação de alguns processos do sistema MES (Manufacturing Execution Systems), responsável por gerenciar as atividades da produção, integrar os dados do sistema ERP (Enterprise Resource Planning) e sincronizar as tarefas de produção com o fluxo de materiais, tornando-os orientados à demanda. Outro aspecto importante no contexto industrial é a nova visão de futuro promovida pelo paradigma de Indústria 4.0 em que é vislumbrada uma completa descentralização do controle do sistema produtivo, mediante dispositivos autônomos e inteligentes, interconectados por um sistema de comunicação, que colaboram para o objetivo fim do empreendimento. A Indústria 4.0 propõe a integração das novas tecnologias de informação com as tecnologias em integração e automação industrial, para a construção de um sistema de manufatura altamente flexível. Porém, a exequibilidade de tal paradigma depende do estabelecimento de padrões técnicos que eliminem os padrões proprietários vigentes, além da definição de um modelo conceitual que permita a troca eficaz e eficiente das informações entre os diversos níveis do processo produtivo. A norma ANSI/ISA S95 (IEC 62264) apresenta um modelo conceitual que pode viabilizar o paradigma da Indústria 4.0. Desta forma, o objetivo do presente trabalho é apresentar uma proposta de modelagem dos objetos no nível 3 da norma S95 utilizando as redes de Petri.

Palavras-chave: MES (Sistema de Execução da Manufatura), Redes de Petri, ANSI/ISA S95 e Indústria 4.0

1. INTRODUÇÃO

A evolução dos sistemas de produção (SP) está associada ao desenvolvimento de novas tecnologias de automação e de informação. A aplicação destas novas tecnologias pode ser determinante no desempenho das empresas para o atendimento às demandas de um mercado dinâmico e competitivo por produtos com ciclos de vida reduzidos e cada vez mais customizados (Nakamoto, 2008). O desenvolvimento de novos produtos mediante o uso racional de recursos e insumos requer que conceitos como flexibilidade e agilidade sejam intrínsecos em todas as atividades desenvolvidas pela empresa. Neste sentido, a integração com os recursos computacionais tornou-se nas últimas décadas consolidada e irreversível. Como grande apoio na busca da eficácia e da eficiência na produção, tem-se o sistema *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) que desenvolve atividades relacionadas para o projeto, planejamento, programação e controle da produção, permitindo a integração dos sistemas de produção, tanto no nível operacional como no nível estratégico das organizações (Groover, 2014).

O modelo de negócio de uma empresa industrial possui pelo menos três níveis: planejamento, execução e controle. No nível de planejamento é onde se realiza o sequenciamento das ordens de produção. O nível de execução deve

receber as ordens de produção e enviar informações sobre o andamento dos trabalhos (Vanderlei et al, 2009). O nível de controle ou Sistema de Execução da Manufatura (*Manufacturing Execution Systems* - MES), responsável por gerenciar as atividades da produção, integrar os dados do sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) e sincronizar as tarefas de produção com o fluxo de materiais, tornando-os orientados à demanda. Uma das instâncias alimentadas pelo MES é o sistema de planejamento que tem como função programar a produção considerando o que foi efetivamente produzido e como foi produzido, comparando os resultados com as informações do que foi planejado e, para o caso de não coincidência, permitir a definição de ações corretivas a serem executadas com a produção. Outra instância é garantir que o plano definido pelo MRP (Planejamento das Necessidades de Materiais) seja cumprido para que seja possível identificar exatamente a capacidade do chão de fábrica dentro de um determinado horizonte de planejamento (Meyer, et al., 2009).

As doze principais funcionalidades do sistema MES são: planejamento detalhado, gerenciamento de recursos, registro e visibilidade dos recursos, gerenciamento de documentos, gerenciamento de materiais, análise de desempenho, gerenciamento de mão de obra direta, gerenciamento de manutenção, gerenciamento do processo, gerenciamento da qualidade, coleta de dados e registros e, por fim, rastreabilidade e genealogia do produto (Vanderlei et al, 2009). Por outro lado, em um ambiente real de produção, cada empresa implanta um software de gestão que mais se adapta as suas necessidades operacionais. Entretanto, quando existe a necessidade de integrações entre diferentes softwares de gestão, ou entre diferentes aplicações, aparecem as dificuldades de interação (Pessoa, 2015).

Neste sentido, o conceito de *Lean Manufacturing* tem promovido uma reestruturação de alguns processos do sistema MES. Outro aspecto importante no contexto industrial é a nova visão de futuro promovida pelo paradigma de Indústria 4.0 em que é vislumbrada uma completa descentralização do controle do sistema produtivo, mediante dispositivos autônomos e inteligentes, interconectados por um sistema de comunicação, que colaboram para o objetivo fim do empreendimento. A Indústria 4.0 propõe a integração das novas tecnologias de informação com as tecnologias em integração e automação industrial, para a construção de um sistema de manufatura altamente flexível. Porém, a exequibilidade de tal paradigma depende do estabelecimento de padrões técnicos que eliminem os padrões proprietários vigentes, além da definição de um modelo conceitual que permita a troca eficaz e eficiente das informações entre os diversos níveis do processo produtivo. A norma ANSI/ISA S95 (ISA, 2010) apresenta um modelo conceitual que pode viabilizar o paradigma da Indústria 4.0 (da Silva, 2015; 216). Desta forma, o objetivo do presente trabalho é apresentar uma proposta de modelagem dos objetos no nível 3 da norma ANSI/ISA S95 (ISA, 2013) utilizando as redes de Petri (Peterson, 1981; Reisig, 1985; Murata, 1989).

2. SISTEMAS PRODUTIVOS FLEXÍVEIS

Os alicerces da evolução dos processos produtivos são as novas tecnologias de automação integradas por sistemas de informação, sendo que a aplicação destas novas tecnologias é determinante no desempenho produtivo das empresas para o desenvolvimento de novos produtos no atendimento às demandas de um mercado dinâmico e competitivo (Nakamoto, 2008). Resgatando-se um breve histórico, a partir dos trabalhos desenvolvidos pelo Engenheiro *Taiichi Ohno* na empresa *Toyota Motors* na década de 70, foi criado o Sistema Toyota de Produção, lançando um novo paradigma de produção na área industrial denominado de produção enxuta. O paradigma é norteado por ações pró-ativas (i) para o melhoramento contínuo dos processos produtivo, (ii) para a produção racional orientada pela qualidade em todos os processos organizacionais e (iii) para a redução dos custos operacionais de produção, mediante identificação e eliminação de todos os tipos de desperdícios (Womack et al., 2007). Ao mesmo tempo, a indústria automobilística inicia a incorporação irreversível dos recursos computacionais em hardware e software, representado pelos Computadores Lógicos Programáveis (CLP), criando novas demandas para o desenvolvimento de tecnologias para a automatização dos sistemas produtivos. A proliferação do emprego dos recursos computacionais em todos os níveis do processo produtivo delineou a manufatura digital, sendo que a integração dos sistemas digitais tornou-se inevitável, consolidando-se o conceito de *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) (Groover, 2014). As atividades desenvolvidas pelo CIM envolvem projeto, planejamento e programação da produção, ou seja, todas as informações e ações que possibilitem e auxiliem a produção, sendo muito utilizada para questões de controle da produção dentro da organização (Junior et al, 2012). A partir da década de 90 o paradigma de produção evoluiu para um conceito mais amplo denominado de *Lean Manufacturing*, proposta inicialmente por James P. Womack em 1990 (Womack et al., 2007). Concomitantemente, a importância da gestão nos processos industriais para a integração dos sistemas consolidou a visão da empresa como um organismo único e complexo, iniciando-se diversos estudos que resultaram na padronização de hardware e software industriais e o no desenvolvimento dos modelos de negócios.

O presente trabalho se insere no contexto de Sistemas Produtivos Flexíveis (SPF). Os SPFs são sistemas que executam múltiplos processos simultaneamente com intenso compartilhamento de um mesmo conjunto finito de recursos. Sendo que o maior desafio no planejamento e controle de SPF é a garantia dos fluxos dos processos que resultem nos níveis de produção estabelecidos pelo planejamento da produção (Santos Filho, 2000). Outro aspecto fundamental é quanto à produtividade dos SPFs, neste caso está relacionado com o uso eficiente dos recursos disponíveis (Nakamoto et al., 2009). Segundo Nakamoto (2008), a imposição de um comportamento dinâmico desejado ao sistema requer, do ponto de vista de controle o único processo, a garantia da execução sequencial de todas as atividades do processo controlado, sendo este suficiente. Entretanto, quando visto pela perspectiva do processo global do sistema, ou seja, quando há múltiplos processos em execução, perde-se o sequenciamento das atividades dos processos, uma vez que há um forte compartilhamento de recursos e/ou de informações de processos. Neste contexto, a

execução simultânea e paralela dos processos gera um alto grau de dificuldade na modelagem do comportamento SPs, característica de um sistema complexo. A complexidade é um atributo do sistema em que a representação do comportamento global é impossível de ser formulado de modo puramente sequencial, mesmo sabendo o comportamento individual das partes ou componentes do sistema (Santos Filho, 2000; Nakamoto, 2008).

2.1. Indústria 4.0 – A quarta revolução industrial

A quarta revolução industrial, denominada de Indústria 4.0, é considerada o novo paradigma da produção. As novas tecnologias devem ser empregadas para integrar máquinas e humanos em cadeias de valor compondo uma rede de entidades localizadas em posições geograficamente distribuídas para atender a um demanda por produtos de elevado nível de customização (da Silva, 2015). A Indústria 4.0 envolve o uso de sensores e atuadores inteligentes no chão de fábrica, criando-se entidades autônomas com certo grau de liberdade para a tomada de decisões. Tais dispositivos devem fornecer serviços e produtos de forma autônoma (Jay *et al.*, 2014). Entretanto, para usar o potencial das novas tecnologias desta forma integrada, é necessária uma ruptura nos métodos tradicionais de concepção e análise de sistemas de controle e desenvolver novas metodologias de projeto de sistemas (da Silva 2016). Uma maior integração entre os processos permitem a aquisição de informações precisas que promovem uma melhor comunicação entre clientes e fornecedores. Outro requisito da Indústria 4.0 é a necessidade que os sistemas de controle suportem reconfiguração *plug-and-play* dos seus componentes. Esta reconfiguração pode ser necessária para adição, modificação e remoção de recurso ou para modificação de alguma parte de um *workflow* do processo produtivo (da Silva, 2015).

2.2. Sistema de gestão empresarial

Os desafios da implantação de sistemas ERP e MES requerem um esforço de todos os agentes dos diversos níveis do SP para se adaptarem a nova realidade, ou seja, as empresas são obrigadas a rever os seus processos e procedimentos que muitas vezes são impedidas pela limitação e/ou obsolescência das tecnologias instaladas, além da própria cultura regional dos colaboradores. Outro aspecto importante a ser destacado é quanto a não garantia da obtenção de vantagens competitivas das empresas com a implantação dos softwares de gestão, uma vez que envolve a integração de diversos aspectos internos e externos à empresa. Uma questão a ser considerada nesta implantação dos sistemas de gestão está relacionada com os modelos praticados pelas empresas. As empresas que possuem bons processos de negócios podem não ser beneficiadas pela implantação mas, as que possuem processos ultrapassados e/ou com mau funcionamento poderão ter benefícios, caso esta adaptação seja feita com critério (Grilo Júnior *et al.*, 2008).

Carvalho *et al.* (2005) afirma que integrar as informações do chão de fábrica com os sistemas de tomada de decisão não é uma tarefa fácil e instantânea. Isto é devido a dois fatores fundamentais (Nakamoto, 2008): (i) o volume de informações que são adquiridas, armazenadas, processadas e distribuídas; (ii) e a distinção semântica nos diversos níveis do sistema produtivo. Consequentemente, há a necessidade de uma equipe multidisciplinar para auxiliar na sistematização dos processos e posterior integração com o sistema de gestão. A Figura 1 apresenta os componentes da pirâmide de automação com a introdução dos sistemas de gestão empresarial.

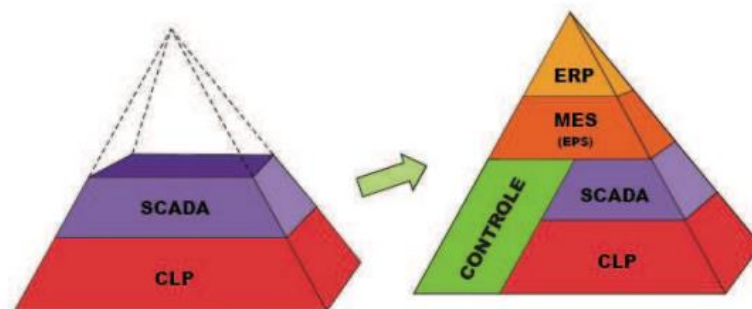


Figura 1. Pirâmide da automação antes e depois dos sistemas ERP e MES
(Adaptado de SEIXAS FILHO, 1998)

2.3. Padronização dos sistemas de gestão – ANSI/ISA S95

A complexa integração entre os sistemas ERP, MES e sistema de negócios é um problema desafiador. Neste sentido, o comitê da *The International Society of Automation* (ISA) propôs a norma ANSI/ISA S95 para auxiliar na elaboração dos modelos de gestão da informação (Figura 2). Composta atualmente de 5 partes, identifica as principais entidades do processo produtivo e normaliza o fluxo de troca de informações entre o nível de gestão e o chão de fábrica de forma estruturada e sistemática (ISA, 2010).

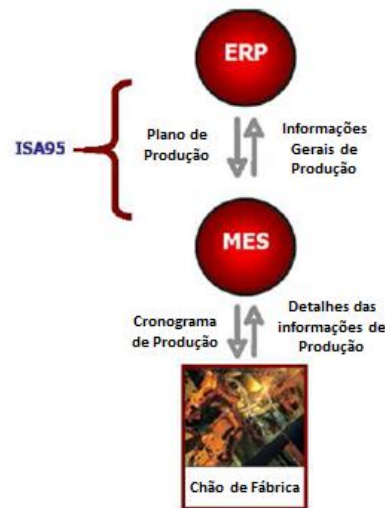


Figura 2. Arquitetura ERP-MES
(Adaptado de Khedhed, *et al.*, 2011)

A norma ANSI/ISA S95 é um modelo abrangente do sistema produtivo que extrapola os limites do controle de processo e inclui a gestão operacional e integração aos outros sistemas de gestão, define um modelo hierárquico funcional de atividades que se aplica sobre a gestão operacional da manufatura e contém vários níveis especializados com tempos de respostas característicos (ISA, 2013).

- Nível 0: Define o processo físico real, representado pelo chão de fábrica;
- Nível 1: Define as atividades de coleta de sinais e manipulação dos processos físicos. Trabalham dentro da “janela de tempo” em segundos ou menos;
- Nível 2: Define as atividades de monitoração e controle local dos processos físicos. Trabalham dentro da “janela de tempo” em minutos ou segundos. Este nível tipicamente trata de equipamentos dentro de um centro de trabalho, por exemplo;
- Nível 3: Define as atividades que realizam a progressão dos processos para gerar os produtos finais, incluindo as atividades de manutenção de registros e coordenação dos processos. Este nível trabalha dentro da “janela de tempo” de dias, turnos, horas, minutos e segundos;
- Nível 4: Define as atividades do negócio necessárias para manter o sistema de manufatura. Entre as atividades relacionadas com a manufatura estão os estabelecimentos da agenda principal da planta, determinação de níveis de inventário e garantia de que os materiais serão liberados em tempo e no lugar certo para realizar a produção.

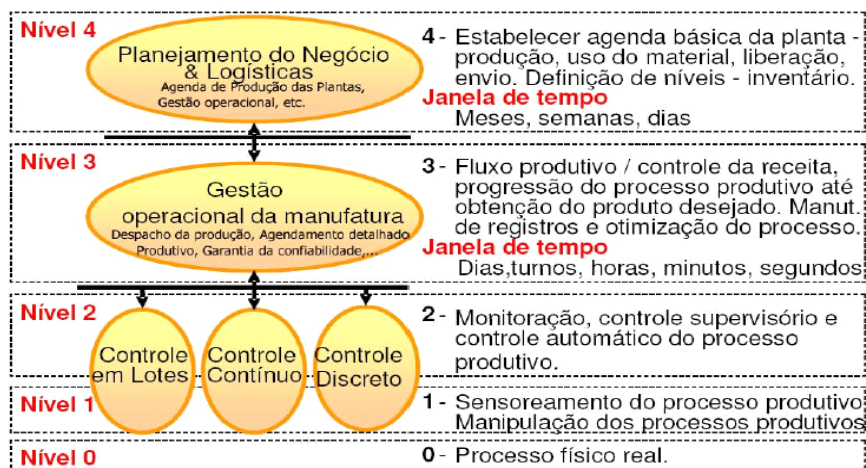


Figura 3. Norma ISA S95
(Adaptado de ISA (2013))

No modelo de controle da produção proposta pela norma ANSI/ISA S95, representado na Figura 4, que apresenta as funções e as comunicações entre os blocos. O limite entre os sistemas MES e o ERP é representado pela linha pontilhada. Entretanto, podem ocorrer variações em razão na natureza do produto e processo realizado pela empresa. Um fato importante a ser observado é que a programação da produção esta exatamente nesta fronteira e é dependente

das outras funções típicas do sistema MES. Apesar de a norma definir tais funções, não especificam como o processo deve ser implementado na indústria, deixando um grande número de questões práticas para a integração das informações (Harjunkoski *et al.*, 2009).

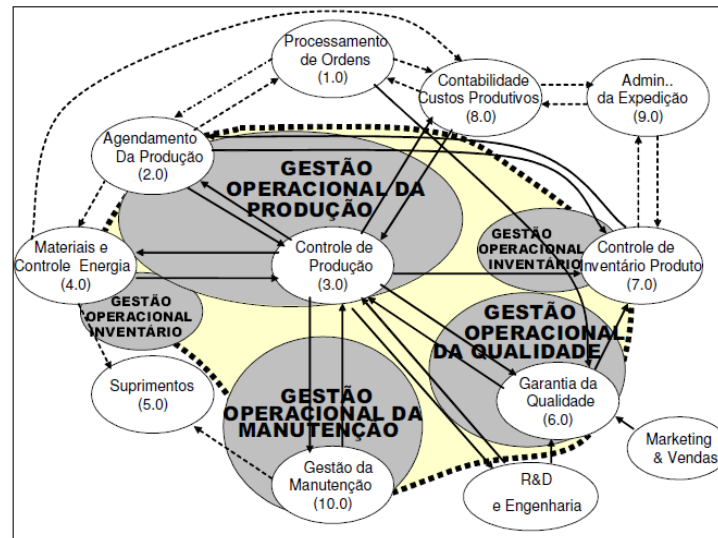


Figura 4. Modelo de controle da produção da ISA S95
(Adaptado de ISA, 2013)

O presente trabalho abordará o nível 3 da norma S95 que define o modelo genérico funcional aplicável na gestão operacional da manufatura (Figura 8), sendo este o foco do presente trabalho, representado na figura 5 pela linha pontilhada os blocos considerados no modelo.

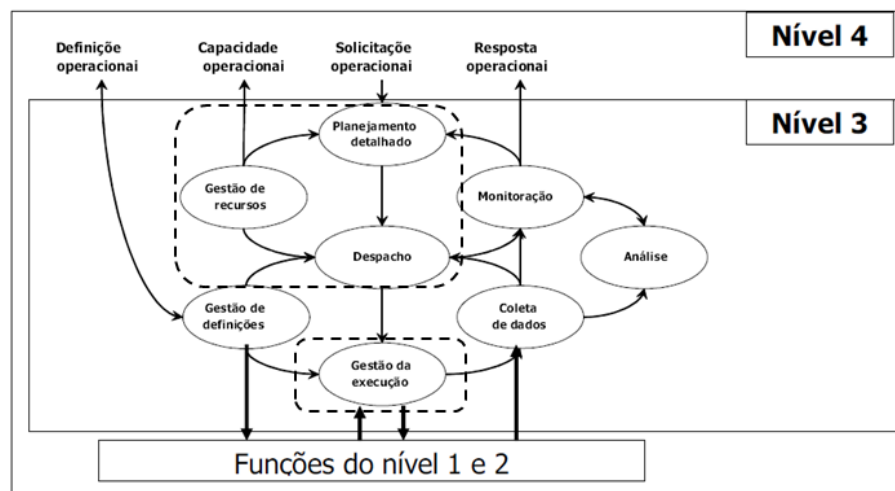


Figura 5. Modelo de controle da produção da ISA S95
(Adaptado de ISA, 2013)

3. FERRAMENTAS DE MODELAGEM

As seguintes ferramentas de modelagem são adotadas neste trabalho: (i) Redes de Petri - RdP (Peterson, 1981; Reisig, 1985; Murata, 1989); (ii) *Enhanced Mark Flow Graph* – E-MFG (Santos Filho, 2000; Miyagi, 1996; Nakamoto, 2008) e (iii) *Production Flow Schema* – PFS (Miyagi, 1996). A justificativa para a adoção de tais ferramentas é pelo fato do comportamento do sistema MES pertencerem à classe de Sistemas Dinâmicos a Eventos Discretos (Cassandras e Lafortune, 2007), ou seja, a evolução dos estados nesta classe de sistema ocorre de forma assíncrona a partir da ocorrência de eventos que causam uma transição instantânea de estados. A outra razão é pelo fato de que normas definidas pela *International Electrotechnical Commission* (Fonseca *et al.*, 2008) apresentaram normas relacionadas aos CLPs, como a IEC 61163, que normaliza hardware e software, e a norma IEC 61499, que normaliza os blocos funcionais com enfoque em controle distribuído discreto (Nakamoto, 2008).

3.1. Redes de Petri

A rede de Petri (RdP) é um modelo matemático foi proposto por Carl Petri para a modelagem de sistemas de comunicação. A RdP é representado por um grafo direcionado, bi-partido e ponderados com uma marcação inicial, composto de nós e transições, interligado por arcos orientados. Os arcos podem possuir um peso k que representa k arcos paralelos e as marcações são atribuídos nos nós (Peterson, 1981; Reisig, 1985; Murata, 1989). Uma RdP é uma quádrupla $RdP = \{P, T, A_r, K, W, M_0\}$, sendo que (Nakamoto, 2008):

- $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_m\}$ é um conjunto finito de lugares;
- $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$ é um conjunto finito de transições;
- $A_r \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ é um conjunto finito de arcos;
- $K : P \rightarrow N \cup \{\infty\}$ é a função de capacidade;
- $W : A_r \rightarrow N^+$ é a função de ponderação;
- $M_0 : P \rightarrow N$ é a função de marcação inicial que satisfaz $\forall p \in P: M_0(p) \leq K(p)$

3.2. Enhanced Mark Flow Graph com Comunicadores

O Mark Flow Graph (MFG) é uma rede interpretada derivada de RdP desenvolvida para a modelagem e controle de sistemas (Hasegawa *et al.*, 1984; Miyagi, 1996). No processo de modelagem de um SP, os boxes representam as condições, operações ou tarefas associadas aos dispositivos e as transições representam o início e término de um processo. O comportamento dinâmico do sistema é indicado pela evolução das marcas no grafo de acordo com uma regra pré-definida de disparo das transições, que correspondem ao fluxo de itens, materiais e/ou informações no sistema real. O Enhanced Mark Flow Graph (E-MFG) é uma evolução do MFG que permite a manipulação de marcas individuais com atributos, sendo capaz de modelar e controlar alterações de fluxo das marcas e seleção de tarefas associadas aos boxes (Santos Filho, 2000), sendo que a estrutura básica do grafo MFG e de seus principais elementos é mantida. Em uma nova progressão, face à necessidade de modelagem que viabilizasse a colaboração entre sistemas, a incorporação de elementos comunicadores ao E-MFG foi proposta por Matsuzaki (2004), permitindo-se a comunicação entre as redes E-MFG mediante utilizando uma rede industrial.

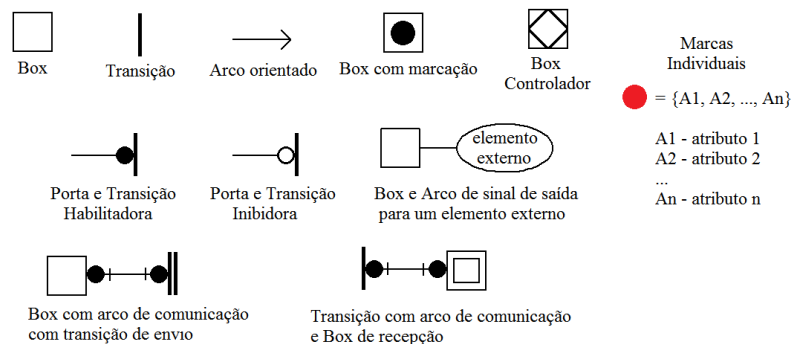


Figura 6. Elementos do E-MFG com Comunicadores
(Adaptado de Nakamoto, 2008)

3.3. Production Flow Schema

A ferramenta *Production Flow Schema* (PFS) é utilizada para descrever, graficamente e conceitualmente, os processos relacionados com a produção de itens sob a forma sequencial de atividades e de distribuição de um processo industrial. O PFS consiste de nós de elementos-atividade, nós de elementos distribuidores e arcos de fluxo, que conectam sequencialmente um tipo de nó ao outro. Um dos diferenciais do PFS é a elaboração sistemática de um modelo mediante utilização da abordagem *top-down* com refinamento sucessivo.

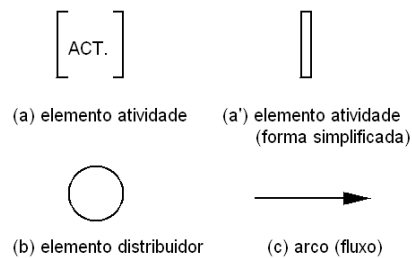


Figura 7. Elementos do PFS.
(Adaptado de Miyagi, 1996)

4. PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA A GESTÃO OPERACIONAL DA MANUFATURA

Com base nos métodos apresentados neste artigo foi proposto um modelo PFS genérico para a gestão operacional da manufatura conforme o padrão ANSI/ISA S95 parte 3.

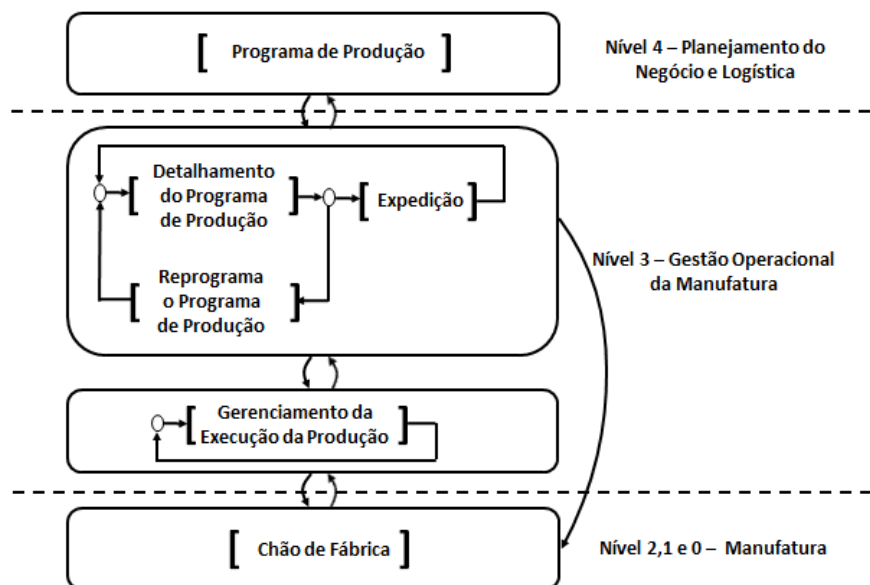


Figura 8. Arquitetura do modelo genérico de gestão operacional da manufatura.

A arquitetura é definida nos itens abaixo:

- Programa de Produção: é definido pelo planejamento baseado nas vendas e estratégia da empresa.
- Detalhamento do Programa de Produção: detalha a sequência de produção e verifica os recursos disponíveis para atender o programa.
- Reprograma o Programa de Produção: Caso exista uma mudança estratégica ou falta de recurso para atender o programa de produção, o modelo retorna para o detalhamento da produção.
- Expedição: Envia os materiais necessários para atender o programa de produção para o chão de fábrica conforme sequência especificada pelo detalhamento do programa selecionando o movendo as unidades de trabalho (por exemplo, lotes ou sublotos) na sequência correta para produzir fisicamente o produto
- Gerenciamento da execução da Produção: Envia e recebe os comandos operacionais para atender o programa de produção de acordo com a execução da produção.
- Chão de Fábrica: Executa os comandos do gerenciamento da execução da produção de acordo com as funções do nível 1 e 2 da norma.

A grande quantidade de dados gerada pela troca de informações entre os sistemas de gestão e o chão de fábrica é gerenciada através de bancos de dados, um dos vários pontos de atuação de sistemas como o MES que abastece e envia informações do ERP, é designado um banco de dados para fornecimento de informações técnicas dos equipamentos e processos, gestão da definição de produto, e um banco de dados para coleta de dados da produção que recebe as informações específicas dos equipamentos e processos e distribui para os endereços específicos da empresa para análise com relação a performance e capacidade produtiva.

5. CONCLUSÃO

A implantação dos sistemas de gestão e a integração entre eles é um problema complexo que precisa ser modelado conforme necessidade da empresa, o que nem sempre é positivo, pois durante a adaptação as empresas são obrigadas a realizar mudanças estruturais ou redefinir processos para se adequar aos módulos do sistema.

A norma ISA S95 define modelos conceituais de integração entre os sistemas de gestão e o chão de fábrica que contribui para a viabilização de um projeto estruturado do sistema MES que integra os diversos processos de decisões estratégicas e operacionais da empresa. O modelo do sistema MES proposto, ainda em desenvolvimento, permitirá evoluir para a implementação de um módulo que poderá ser integrado ao sistema na proposta da Indústria 4.0, apresentando-se os seguintes aspectos:

- Modelos funcionais em E-MFG que são algoritmos de controle;
- Comunicação com os módulos de controle para CLP no chão de fábrica desenvolvidos nos trabalhos de Nakamoto (2008) e Asato (2015);
- Novas frentes de pesquisa considerando-se a norma IEC 61499 para controle distribuído.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio para o desenvolvimento do presente trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- Asato, O.L., Pessoa, M.A.O., Junqueira, F., Santos Filho, D.J., Okamoto Jr., J., Miyagi, P.E., 2015, “*Using the enhanced-mark flow graph for dynamic resource allocation in distributed manufacturing*”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing (Print), Vol.29, p.1-14.
- Cassandras, C.G.; Lafortune, S., 2007, “*Introduction to Event Discrete System*”, Second Edition, New York: Springer Verlag, 776p.
- Carvalho, F.B., Torres, B.S., Fonseca, M.O., Seixas Filho, C., 2005, “Sistema PIMS - Conceituação, usos e benefícios”, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, vol.1, nº4, p.1-5.
- da Silva, R.M., Santos Filho, D.J., Miyagi, P.E., 2015, “Modelagem de Sistema de Controle da Indústria 4.0 Baseada em Holon, Agente, Rede de Petri e Arquitetura Orientada a Serviços”, XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI), Natal/RN.
- da Silva, R.M., Junqueira, F., Santos Filho, D.J., Miyagi, P.E., 2016, “Control Architecture and Design Method of Reconfigurable Manufacturing Systems”, Control Engineering Practice, Vol.49, p.87-100.
- Fonseca, M.O., Seixas Filho, C., Bottura Filho, J.A., 2008, “Aplicando a Norma IEC 61131 na Automação de Processos”, ISA Distrito 4, 568p.
- Grilo Júnior, T.F., Pereira, A.P.T., Villar, A.M., 2008, “Automação Industrial com uso da Manufatura Integrada por Computador (CIM)”, 5º Congresso Internacional de Gestão da Tecnologia e Sistema de Informação, São Paulo/SP.
- Groover, M. P., 2014, “*Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*”, 4rd Edition, Pearson, 816p.
- Harjunkski, I., Nyström, R., Horch, A., 2009, “*Integration of scheduling and control—Theory or practice?*”, Computers & Chemical Engineering, FOCAPO 2008 – Selected Papers from the Fifth International Conference on Foundations of Computer-Aided Process Operations, Vol.33, Issue 12, pp.1909-1918.
- Hasegawa, K., Takahashi, K., Masuda, R., Ohno, H., 1984, “Proposal of Mark Flow Graph for Discrete System Control”, Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol.20, nº2, p122-129.
- ISA - The International Society of Automation. ANSI/ISA-95.00.02-2010 Enterprise-Control System Integration - Part 2: Object Model Attributes, 2010.
- 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.
- Jay Lee, J., Kao, H.A., Yang, S., 2014 “Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment”, 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems.
- Junior, Luiz A. C.; Motta, Gabriela A.; Trulha, Luciane C.; Bianchini, Vivian K.; Bortholin, Renato C.. MANUFATURA INTEGRADA POR COMPUTADOR: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA METAL-MECÂNICA. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2012.
- Khedher, A.B., Henry, S., Bouras, A., 2011, “*Integration between MES and Product Lifecycle Management*”, Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2011 IEEE 16th Conference on, pp.1-8.
- Matsuzaki, 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, 154p.
- Meyer, H., Fuchs, F. Thiel, K., 2009, “Manufacturing Execution Systems (MES): Optimal Design, Planning, and Deployment”, 1st Edition, McGraw-Hill Education, New York, p.274.
- Miyagi, P.E., 1996, “Controle Programável - Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos”, Editora Edgard Blucher Ltda., 194p.

- Murata, T., 1989, "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", Proceeding of the IEEE, vol. 77 n° 4, pp.541-580.
- Nakamoto, F.Y., 2008, "Projeto de Sistemas Modulares de Controle para Sistemas Produtivos", Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 158p.
- Nakamoto, F.Y., Miyagi, P.E., Santos Filho, D.J., 2009, "Automatic Generation of Control Solution for Resource Allocation Using Petri Net Model", Produção (São Paulo. Impresso), vol.19, p8-26.
- Pessoa, M.A.O., 2015, "Arquitetura de Sistemas de Planejamento da Produção no Contexto de Empresa Virtual", Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 171p.
- Peterson, J.L., 1981, "Petri Net Theory and the Modeling of Systems", Englewood cliffs, Prentice-Hall. 290p.
- Reisig, W., 1985, "Petri Nets: An Introduction", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 161p.
- Santos Filho, D.J., 2000, "Aspectos do Projeto de Sistemas Produtivos", Tese (Livre docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Seixas Filho, C., 2000, "A Automação nos anos 2000 – Uma análise das novas fronteiras da automação", ATAN Sistemas de Automação. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaII/Download/DownloadFiles/Conai2000Automacao.PDF>>. Acesso em: 01/02/2016.
- Vanderlei, M.L., Muniz Jr, J., Marins, F.A.S., Miranda, G.W.A., 2009, "Implantação de Controle Baseado no Sistema de Execução da Manufatura (MES): Análise em Empresa de Usinagem no Setor Aeronáutico", Revista Produção On Line, vol 9, n° 4, p.727-746.
- Womack, J.P., Jones, D.T., Roos, D., 2007, "The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production - Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry", Free Press, New York, 352p.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

Use of Petri Nets in Modeling Activities of Manufacturing Operations of the standard ANSI / ISA S95

Diego Nogueira Guirro, diegoguirro@hotmail.com¹
 Osvaldo Luís Asato, asato@ifsp.edu.br¹
 Givanildo Alves dos Santos, ginavildo@ifsp.edu.br¹
 Francisco Yastami Nakamoto, nakamoto@ifsp.edu.br¹

¹Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo – Campus São Paulo – Mechanical Department

Abstract. *The dynamics of the interaction between different levels in production system is the study of many research groups to seek a better understanding of the complex nature of such systems to propose an effective solutions that meet the need to speed up procedures, and efficiency performance from the point of view of the viability, and the rational use of available resources and required inputs. Demand for products increasingly customized by a dynamic and competitive market has reduced considerably the life cycle of such products. Consequently, the flexibility of production processes has become essential for companies. Flexibility is supported by technological innovations in mechanics, electronics, control, computer and communication that generate solutions in the area of materials and manufacturing processes. However, the flexibility is not only one attribute, but by a set of attributes that make flexible production system and more important, the interaction between the flexible sub-systems are sources of waste and rework, causing high costs in the production process. In this sense, the concept of Lean Manufacturing has promoted a restructuring of some processes of the MES system (Manufacturing Execution Systems), responsible for managing the activities of production, integrate data from the ERP (Enterprise Resource Planning) and synchronize production tasks the flow of materials, making them oriented by the demand. One other important aspect in the industrial context is the new future vision promoted by Industry 4.0 paradigm that is envisioned a complete decentralization of control of the production system by autonomous and intelligent devices interconnected by a communication system, that contribute to the global goals of the enterprise. The Industry 4.0 paradigm proposes the integration of the emerging technologies in information technology with the technologies integration and industrial automation, to build a highly flexible manufacturing system. However, the viability of such a paradigm depends on the establishment of technical standards to eliminate the existing proprietary standards and the definition of a conceptual model for the effective and efficient exchange of information between the different levels of the production process. The ANSI / ISA S95 (IEC 62264) presents a conceptual model that may contribute to the implementation of the industry 4.0 concept. The objective of this study is to present a proposal for modeling of objects in level 3 of the S95 standard using Petri nets.*

Keywords: MES (Manufacturing Execution Systems), Petri Nets, ANSI/ISA S95 and Industry 4.0