

DESENVOLVIMENTO DE UM SUPERVISÓRIO MODULAR PARA UMA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

João Carlos Espíndola Ferreira, jcarlos@emc.ufsc.br¹
Hugo Gaspar Santos, dashahgs@gmail.com²
Marcelo Teixeira dos Santos, mteixeira@brasilmatics.com.br³
Léo Schirmer, engleo@gmail.com³

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC,

² Petrobrás, Rua Felipe Musse, 803, Bairro Ubatuba, CEP 89240-000, São Francisco do Sul, SC,

³ Brasilmatics Automação e Tecnologia Ltda., Rua Arno Waldemar Döhler, 957, Zona Industrial Norte, CEP 89219-510, Joinville, SC

Resumo: Este trabalho tem o objetivo de propor e implementar um conjunto de instruções e procedimentos para integrar, de forma física e lógica, um grupo de máquinas CNC, um robô industrial e um sistema de armazenamento automático (Automated Storage and Retrieval System - AS/RS), para a formação de uma Célula Flexível de Manufatura (Flexible Manufacturing Cell - FMC). Em primeiro lugar foi feita a modelagem da célula, com base na definição prévia de um conjunto de interfaces mínimas para cada equipamento e com o auxílio do mecanismo formal de descrição das Redes de Petri. A partir da modelagem da célula, foi proposto e implementado um modelo de integração, baseado em módulos gerenciadores desenvolvidos a partir de um software de supervisão e controle (Elipse SCADA). Cada módulo foi concebido com interfaces suficientes para permitir a integração de equipamentos de diferentes fabricantes, o que confere flexibilidade na configuração da célula. A comunicação entre os diversos módulos é realizada utilizando a tecnologia OPC (OLE for Process Control), que possibilita a troca de dados entre gerenciadores em tempo real e de forma aberta. A integração entre os gerenciadores e seus respectivos equipamentos é feita por meio de CLPs (Controladores Lógicos Programáveis). O sistema permite simular a fabricação de uma família de peças, sem a interferência de operadores. Interfaces Homem-Máquina (IHM) foram desenvolvidas para permitir que usuários locais e remotos (fisicamente distantes) possam inserir e monitorar seus pedidos de fabricação na célula.

Palavras-chave: Célula Flexível de Manufatura, Sistema Flexível de Manufatura, Modelagem de sistemas de manufatura, Sistemas de supervisão e controle

1. INTRODUÇÃO

A manufatura vem sendo afetada por profundas mudanças nas últimas décadas. A competição globalizada, somada à crescente demanda da sociedade por novidades, produtos personalizados, qualidade elevada e preços menores, obriga as empresas a modernizarem seus métodos produtivos. Estas mudanças não se processam mais como um diferencial de uma empresa em relação à outra, mas sim como fator de sobrevivência num mercado acirrado e competitivo. O diferencial tecnológico que algumas corporações detinham no passado, e que lhes permitia produzir determinados produtos com características únicas, é cada vez mais raro nos dias atuais. No passado o consumidor se adaptava aos produtos oferecidos pelas empresas. Atualmente são as empresas que necessitam entender e adaptar-se às exigências dos consumidores.

Sistemas produtivos que priorizam o volume de produção, com custo baixo e pequena variedade, estão enfrentando o desafio de flexibilizar sua produção e diversificar seus produtos, sem originar um acréscimo significativo nos custos. Para pequenos e médios lotes de produção, os Células Flexíveis de Manufatura (FMC) e Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS) são uma alternativa viável de resposta aos desafios de flexibilidade, diversidade e custo acessível.

O conceito de FMS envolve um alto nível de automação, onde a fabricação é realizada por centros de usinagem automatizados e a transferência entre as máquinas é feita por veículos auto-guiados, ou esteiras automatizadas. O posicionamento e movimentação das peças são realizados por robôs manipuladores. Os produtos acabados e a matéria-prima são estocados em um armazém automático. Os recursos produtivos estão ligados a um sistema computacional que coordena todas as ações, capacitando o sistema a produzir diferentes tipos de peças, utilizando os mesmos

equipamentos e o mesmo sistema de controle. A complexidade técnica e os altos custos de aquisição e implantação dos FMSs dificultam sobremaneira o uso destes sistemas em empresas e instituições de ensino e pesquisa no país.

Considera-se que atualmente há duas soluções possíveis para quem deseja instalar uma FMC ou um FMS. A primeira delas é adquirir uma solução pronta de empresas fornecedoras, como a Yamazaki Mazak (<http://www.mazak.jp>), Kearney & Trecker Company (<http://www.equipmentmls.com>), Heller (<http://www.hellermachinetools.com>), entre outras. Neste caso, geralmente não ocorre a transferência de tecnologia para o usuário, pois os sistemas são proprietários e fechados. A segunda opção é construir uma FMC ou FMS a partir da integração física e lógica de um conjunto de máquinas de processamento, manuseio e transporte (robôs e esteiras automatizadas) e armazenamento (armazém automático). Para este segundo caso é necessário definir um conjunto de interfaces para os equipamentos, modelar o sistema de manufatura, estabelecer um padrão de integração para os equipamentos heterogêneos, um padrão de comunicação, um sistema de controle e um sistema computacional que gerencie todo o sistema e cumpra a função de interface com o usuário. Este trabalho descreve a integração de máquinas em um FMC nos moldes abordados pelo segundo caso, aplicando-se uma filosofia modular, aberta e expansível, de tal forma que a FMC possa fabricar diferentes peças de forma autônoma.

Nos últimos anos, muitos trabalhos foram publicados a respeito de flexibilidade e integração da manufatura, sobre modelagem, simulação e controle de FMSs, e sobre os aspectos da flexibilidade (de produto, seqüenciamento, processo, etc). Em contrapartida, raras são as publicações que descrevem como integrar os diversos recursos produtivos para a formação de uma Célula, ou Sistema Flexível de Manufatura. Um desses trabalhos é aquele realizado por Teixeira (2006), que efetuou a modelagem e integração entre um robô, um centro de torneamento CNC e um micrômetro laser, para a formação de uma FMC (TEIXEIRA, 2006).

Neste trabalho apresenta-se a integração física e lógica dos equipamentos existentes no laboratório da SOCIESC (Sociedade Educacional de Santa Catarina), para a construção de uma Célula Flexível de Manufatura (FMC). São desenvolvidos módulos gerenciadores, um para cada equipamento (armazém automático, robô e CNCs) e um para a célula (FMC). Os módulos são construídos como aplicativos do software supervisorio Elipse SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition* – <http://www.elipse.com.br>) e trocam dados entre si em tempo real através de uma rede Ethernet, utilizando o padrão de comunicação industrial OPC (*OLE for Process Control*). A comunicação dos gerenciadores com os equipamentos de produção, movimentação e fornecimento de material, utilizam CLPs (Controladores Lógicos Programáveis).

2. EQUIPAMENTOS NA FMC E ARQUITETURA DE INTEGRAÇÃO

O laboratório utilizado para o desenvolvimento desta dissertação se encontra nas dependências da SOCIESC em Joinville, SC. A fig. 1 apresenta uma vista parcial dos equipamentos sendo integrados. Os recursos computacionais do laboratório são compostos por dois CLPs e seis computadores, todos interligados por meio de uma rede *Ethernet*. Deve-se mencionar que antes da presente proposta não havia nenhum tipo de integração que permitisse movimentar a matéria-prima e produzir peças nas máquinas CNC de forma autônoma.



Figura 1. Vista parcial dos equipamentos sendo integrados na FMC

Um dos maiores problemas para a formação de uma FMC consiste na integração entre diferentes equipamentos, fabricados por diferentes fornecedores. Individualmente estas máquinas apresentam poucos recursos de comunicação com o meio externo. O robô, as máquinas CNC e o armazém automático possuem *hardwares* diferentes e nenhuma padronização de comunicação.

O presente trabalho propõe a implementação de um sistema aberto, em que os diferentes recursos produtivos sejam representados por módulos, com um conjunto mínimo de interfaces. Gerenciadores serão construídos para comandar as ações dos módulos, e trocarão dados entre si por meio de um padrão de comunicação industrial aberto e que não exija o uso de protocolos proprietários.

Para a construção dos gerenciadores, um para cada equipamento presente na célula, será utilizado o *software* de supervisão e controle Elipse SCADA. CLPs farão a ligação entre os gerenciadores e os CNCs, que possuem somente

uma porta serial para aquisição de programas de usinagem. O robô, que está equipado com um cartão de comunicação padrão Profibus, utilizará este recurso para a comunicação com um CLP, que por sua vez, estará conectado ao gerenciador. O armazém automático já possui uma interface com o usuário (IHM), que será modificada para cumprir o papel de gerenciador. A fig. 2 apresenta a arquitetura proposta para integração da célula.

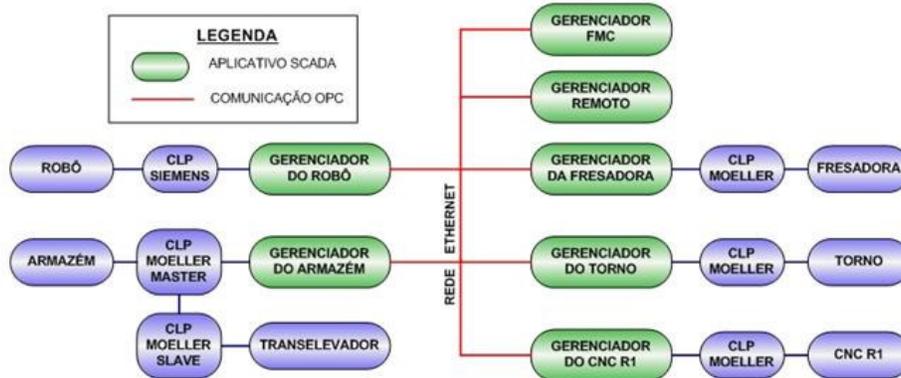


Figura 2. Arquitetura da proposta de integração da célula

Além dos gerenciadores que correspondem aos equipamentos presentes na célula, propõe-se o desenvolvimento de outros dois gerenciadores, com o objetivo de efetuar a interface com os usuários. O primeiro deles (gerenciador FMC) deve fornecer ao usuário todas as informações sobre os estados dos equipamentos, dos pedidos efetuados, emitir relatórios, alarmes e permitir que o usuário insira seus pedidos de fabricação na FMC. O segundo, chamado de gerenciador remoto, tem a função de permitir que um usuário que se encontre fisicamente distante da célula possa também inserir seus pedidos de fabricação.

3. INTERFACES

Para realizar a integração da FMC é necessário inicialmente que os diferentes equipamentos troquem dados entre si. Para Vieira (1996), o maior problema na integração de sistemas de manufatura reside na necessidade de interconectar dispositivos heterogêneos, com padrões diversos e produzidos por fabricantes diferentes. Esta afirmação é completamente pertinente para a célula em questão. O torno e a fresadora não possuem nenhum meio de comunicação que permita alguma interatividade com o meio externo. Ambos CNCs possuem apenas uma porta serial RS232 que é utilizada somente para efetuar o carregamento de programas de usinagem. O controlador do robô possui um cartão Profibus e uma porta serial RS232 para comunicação com dispositivos externos, mas não possui os protocolos necessários para implementação de aplicativos que interajam com o meio externo. Os protocolos são proprietários, gerados somente pelo fabricante do equipamento, e apresentam custos elevados. O armazém automático é o dispositivo melhor preparado para a integração, pois possui uma IHM (Interface Homem-Máquina) desenvolvida a partir de um supervisor SCADA.

A estratégia utilizada para interconectar os diversos equipamentos foi a construção de um gerenciador para cada equipamento, utilizando o *software* supervisor Eclipse SCADA. Os diferentes gerenciadores trocam mensagens entre si utilizando uma rede de comunicação *Ethernet*. Cada gerenciador troca informações com seu respectivo equipamento através de CLPs.

Para iniciar a modelagem da célula é necessário definir o conjunto de eventos possíveis, a hierarquia do sistema de controle e o número mínimo de mensagens necessárias para estabelecer o sincronismo das ações na FMC.

A definição das mensagens necessárias para a modelagem da célula está alicerçada na fusão de dois tópicos principais. O primeiro deles se refere à escolha da arquitetura de controle que busca descentralizar o processo de decisão, aumentando a autonomia do sistema. Todos os gerenciadores construídos para a integração da célula atuam no mesmo nível e de forma cooperativa. O segundo ponto se refere ao uso do controle modular de Sistemas a Eventos Discretos (SEDs), que permite que problemas complexos possam ser decompostos em módulos mais simples, para depois voltar a montar as soluções numa estrutura modular. Torrico e Cury (2004) propõem um aprofundamento deste modelo em um controle supervisor hierárquico modular por agregação de estados, onde a hierarquia é dividida em dois níveis, um nível associado ao operador e um outro nível associado ao gerente. A aplicação desta arquitetura permite um comportamento consistente e não bloqueante, entre os níveis de hierarquia e a ação conjunta dos diversos gerenciadores no nível inferior.

O nível associado ao gerente está representado pelo gerenciador do equipamento e o conjunto de condições e regras que compõem o processo decisório. O segundo nível, associado ao operador, são compostos pelos elementos de execução, que são responsáveis pela efetiva integração dos gerenciadores com os equipamentos, realizada através de CLPs.

3.1. Interfaces dos Equipamentos CNC

Considerando-se os equipamentos presentes no laboratório da SOCIESC, o robô é o responsável pelo carregamento e descarregamento de peças no torno CNC, fresadora CNC e no CNC R1. O gerenciador da célula é quem deve informar cada equipamento CNC qual programa de usinagem (código G) deve ser carregado. Não há troca de informações entre o armazém e os equipamentos CNC.

Após decompor horizontalmente todas as ações possíveis dos equipamentos CNC dentro da célula, e levando em consideração que cada módulo gerenciador deverá ter a maior autonomia possível, determinaram-se as interfaces mostradas na fig. 3.

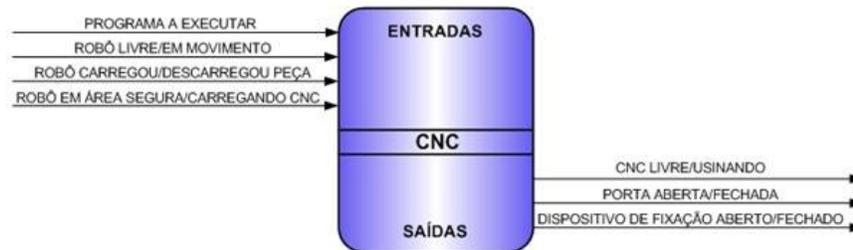


Figura 3. Interfaces dos equipamentos CNC

Os CNCs devem receber as informações a respeito de qual programa deve ser executado, proveniente do gerenciador da célula. As informações sobre os estados do robô são fornecidas diretamente pelo gerenciador do robô, e indicam se o robô está livre ou em algum procedimento de carga ou descarga, se colocou ou retirou alguma peça no dispositivo de fixação das máquinas CNC, e se o robô se encontra dentro de uma área considerada segura para operação das máquinas CNC, evitando risco de colisão.

As informações que os CNCs devem fornecer ao gerenciador da célula e ao gerenciador do robô se resumem a indicar se a máquina CNC está livre ou executando um processo de usinagem, se a porta está aberta ou fechada e se o dispositivo de fixação (castanha, morsa, pinça, etc.) está aberto ou fechado.

Com estas interfaces definidas e padronizadas, pode-se incluir diferentes equipamentos CNC na FMC, desde que estas se encontrem fisicamente dentro da área de trabalho do robô.

3.2. Interfaces do Robô

Utilizando ainda a filosofia de decompor horizontalmente as ações do robô dentro da FMC, e considerando que o robô movimenta as peças entre o armazém automático e os equipamentos CNC para usinagem, e realiza o caminho inverso ao fim do processamento, pode-se definir o conjunto de interfaces conforme apresentado pela fig. 4.

Todos os equipamentos CNC (torno, fresadora e CNC R1) devem fornecer ao robô indicações sobre se estão livres ou usinando, a condição de suas portas e seus dispositivos de fixação. O armazém automático informa ao robô sobre a presença de peças a serem usinadas na mesa1 ou na mesa2 dos berços de usinagem. O gerenciador da FMC deve indicar qual programa o robô deve executar.

O robô precisa informar sua condição de livre ou em movimentação de carregamento, a posição para carregamento ou descarregamento nos dispositivos de fixação das máquinas CNC, a retirada ou devolução de peças no *pallet* na mesa1 ou mesa2 dos berços de usinagem, a presença dentro dos limites considerados como área segura de operação e a condição de anormalidade operacional ou emergência.

Com estas interfaces, o robô está apto a fornecer e receber as informações necessárias para carregar os programas apropriados e sincronizar todos os eventos de manipulação de material na FMC.

3.3. Interfaces do Armazém Automático

O armazém automático é o responsável inicialmente por fornecer a matéria-prima a ser processada. Após a usinagem, o armazém pode estocar o produto pronto ou encaminhá-lo à esteira de saída, para posterior transporte e entrega ao cliente final. As ações possíveis no armazém são mostradas na fig. 5.

O armazém automático recebe informações do gerenciador FMC e do robô. As informações a respeito de quais peças foram selecionadas para usinagem, a quantidade e o destino do produto já processado, assim como a estratégia de movimentação do transelevador, são recebidos do gerenciador FMC. O retorno das peças, provenientes dos equipamentos CNC, para a mesa1 ou para a mesa2, é sinalizado pelo robô.

As informações que o armazém automático precisa disponibilizar ao sistema resumem-se à chegada do *pallet*, com peças a serem processadas, na mesa1 ou mesa2 dos berços de usinagem, e às mensagens dos estados internos do armazém e do transelevador.

Além das interfaces descritas até o momento, existem outras associadas ao armazém como, por exemplo, a entrada e a estocagem de matéria-prima. Estas interfaces não são analisadas à luz das ações possíveis do armazém, porque elas

não são essenciais para o sincronismo e integração da célula. Essas interfaces são responsáveis pela troca de dados entre o gerenciador do armazém e seu banco de dados, ou seja, são informações tratadas de forma autônoma pelo gerenciador do armazém, diminuindo sensivelmente o tráfego de mensagens entre os diferentes gerenciadores da célula.

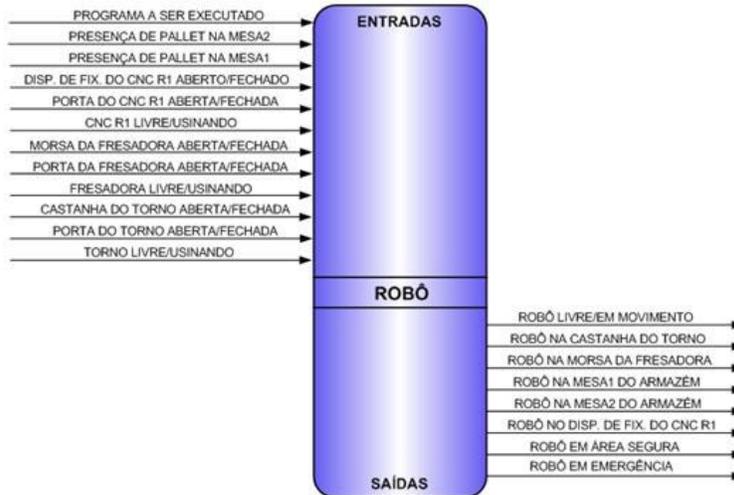


Figura 4. Interfaces do robô



Figura 5. Interfaces do armazém automático

3.4. Interfaces do Gerenciador FMC

O gerenciador FMC tem a função primária de servir de interface com o operador local e remoto, permitindo que os mesmos insiram pedidos de fabricação de peças, indiquem a estratégia de movimentação, prioridade, quantidade, etc. Secundariamente o gerenciador deve monitorar os principais eventos associados aos equipamentos da célula, determinar e comunicar a escolha dos programas de usinagem e de movimentação do robô. Hierarquicamente o gerenciador FMC se encontra no mesmo nível que os outros gerenciadores da célula. As ações para o gerenciador FMC é o resumo dos eventos mais importantes dos demais gerenciadores, e podem ser vistas na fig. 6.



Figura 6. Interfaces do gerenciador FMC

4. MODELAGEM A EVENTOS DISCRETOS POR REDES DE PETRI

Para modelar uma FMC, diversas ferramentas podem ser utilizadas, entre elas os Autômatos Finitos e as Redes de Petri (Maler, 1999). Segundo Mušič e Matko (1998), um dos maiores problemas no uso de Autômatos para o desenvolvimento da estrutura dos sistemas de supervisão e controle em processos industriais reais, é o problema da

explosão de estados. Neste sentido as Redes de Petri (RdP) se destacam, especialmente no que se refere à possibilidade de modelagem de aspectos referentes à sincronização e ao não-determinismo da execução, ou paralelismo, e por apresentar uma estrutura adicional de informações que reduz o problema da explosão de estados (Cardoso e Valette, 1997).

Neste trabalho, a ferramenta utilizada para a modelagem da FMC foi as RdP. Um dos motivos para esta escolha é que as RdP descrevem em detalhes as características das condições necessárias para o disparo de cada transição, e a execução das ações necessárias para o funcionamento do sistema. Esta descrição de condições e ações é transposta de forma quase literal para a geração dos códigos de controle supervísório no *software* Elipse SCADA, facilitando sobremaneira a construção dos gerenciadores.

A fig. 7 apresenta a estrutura da RdPI que modela e interpreta a movimentação da matéria-prima da mesa1 do berço de usinagem até o torno na FMC. Os lugares representam os estados dos recursos; as transições modelam a seqüência de ações (eventos) que modificam os estados dos recursos; os arcs direcionados representam o fluxo do processo; as fichas indicam que o predicado associado ao lugar é verdadeiro. A volta da peça já processada pelo torno para o *pallet* presente na mesa1 do berço de usinagem é descrita por outra RdPI. Essa RdPI é composta por 12 lugares, 9 transições e 16 variáveis.

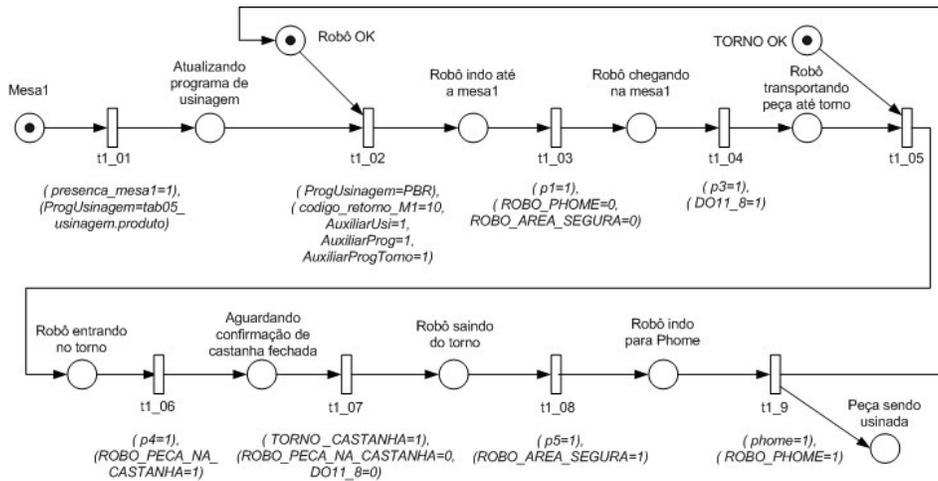


Figura 7. RdPI simplificada para movimentação de peças da mesa1 até o torno

5. CONVERSÃO DAS RdPI PARA CÓDIGOS DE CONTROLE SUPERVISÓRIO

A partir da modelagem da célula utilizando as RdPI, pode-se traduzir as condições de disparo de cada transição, e as ações decorrentes do disparo, diretamente para os *scripts* de programação do *software* Elipse SCADA. As variáveis utilizadas na modelagem para indicar as condições e as ações associadas a cada transição já estão no formato de *tags*.

O supervísório Elipse SCADA é um *software* orientado a eventos, o que significa que a execução de qualquer *script* de programação depende diretamente da ocorrência de um fenômeno discreto. Esta característica é utilizada como condição de disparo de cada transição definida na modelagem da célula. O *script* de programação, sempre associado a um evento, contém os códigos que representam as ações a serem executadas pelo sistema. O controle da evolução dos estados no supervísório está centralizado nos eventos que acionam os disparos das transições. A fig. 8 apresenta um exemplo da conversão da modelagem em RdPI para geração dos controles supervísórios, e representam a atualização dos programas de usinagem da célula, disparada pela chegada de um *pallet* na mesa1 dos berços de usinagem do armazém (evento *OnValueChanged* – dispara sempre que houver mudança de valor da variável).

6. GERENCIADOR DO ARMAZÉM E GERENCIADOR FMC

A implementação dos diferentes gerenciadores propostos neste trabalho foram feitos de maneira equivalente, e portanto neste artigo é apresentada a implementação dos gerenciadores do armazém AS/RS e da FMC. Maiores detalhes de todos os gerenciadores podem ser encontrados em Santos (2007).

Propõe-se neste trabalho construir os gerenciadores do armazém AS/RS e do FMC dentro de um único aplicativo, unificando as interfaces de entrada e saída. Inicialmente é efetuada a conversão para *tags*, que é o primeiro passo para a construção do aplicativo.

O gerenciador do AS/RS deve comandar as ações de entrada de *pallet* contendo matéria-prima ou peças, armazenamento dos *pallets*, condução de peças para os berços de usinagem, retorno das peças dos berços de usinagem e retirada de *pallets*. A necessidade da intervenção de um operador se resume ao abastecimento de material nos *pallets* e a colocação dos mesmos na esteira de entrada. Esta tarefa também pode ser realizada por um AGV (Veículo Auto-Guiado), inclusive o aplicativo do armazém prevê esta condição, porém ele não será utilizado porque o laboratório não

conta com este recurso. Ao realizar a entrada de uma matéria-prima no armazém, o operador necessita informar um código, referente ao tipo de material a ser armazenado. Estes códigos são previamente cadastrados no banco de dados do gerenciador, assim como o código de usinagem, que precisa de uma matéria-prima correspondente e uma mesa de usinagem pré-determinada. O banco de dados utilizado é o Microsoft Access.

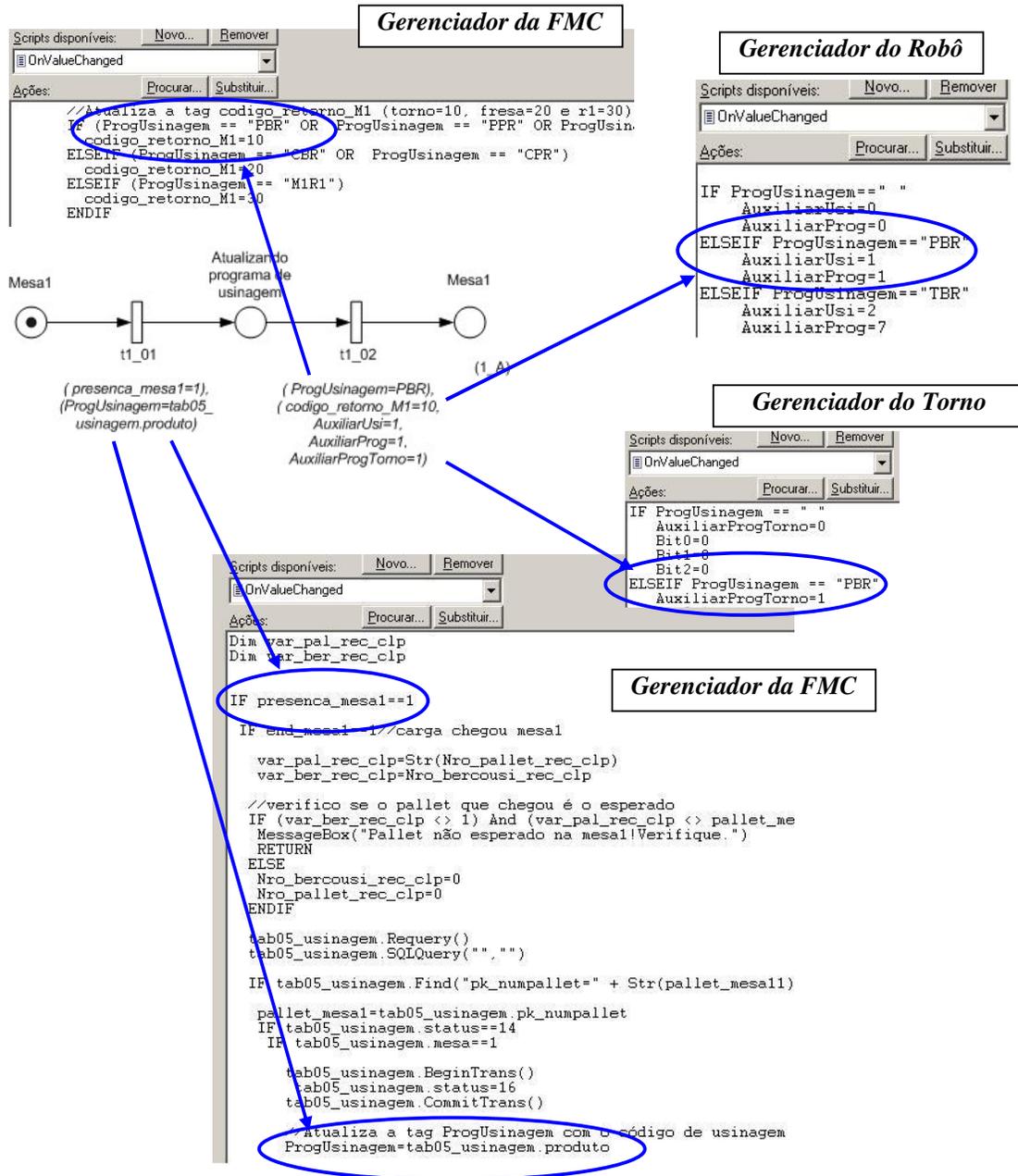


Figura 8. Exemplo de conversão da RdPI para o código de controle

Para solicitar a fabricação de uma peça, o usuário da célula deve inserir o código da peça pronta, indicar quantas unidades da peça serão produzidas, para onde será conduzida a peça após o retorno da usinagem e a prioridade da operação (normal ou urgente).

A tag *MovPeca*, do gerenciador do armazém, está associada a um objeto tipo *Setpoint*, onde o usuário digita o código da peça a ser usinada. No momento em que o usuário aperta a tecla "Confirmar", o conteúdo da tag *MovPeca* é copiado para várias tabelas do banco de dados. Quando a tarefa for executada, e o *pallet* chegar a uma das mesas dos berços de usinagem, a tag *ProgUsinagem* é carregada com o valor da tag *MovPeca*, através de uma leitura do BD. A caixa "Saída" indica que o *pallet* será conduzido ao berço de saída, e não às prateleiras de armazenagem, ao fim do processo de usinagem. A fig. 9 mostra o script associado à tag *presença_mesal* (acionada pelo evento da chegada do *pallet* na mesa1), associada ao evento *OnValueChanged*. Este script atualiza a tag *ProgUsinagem* que será lida por todos os equipamentos da célula via padrão de comunicação OPC. Decorrente da leitura desta tag, o gerenciador do

robô carregará o programa de movimentação m1f1 (da mesa1 para a fresadora1) e a fresadora também carregará o programa correspondente de usinagem.

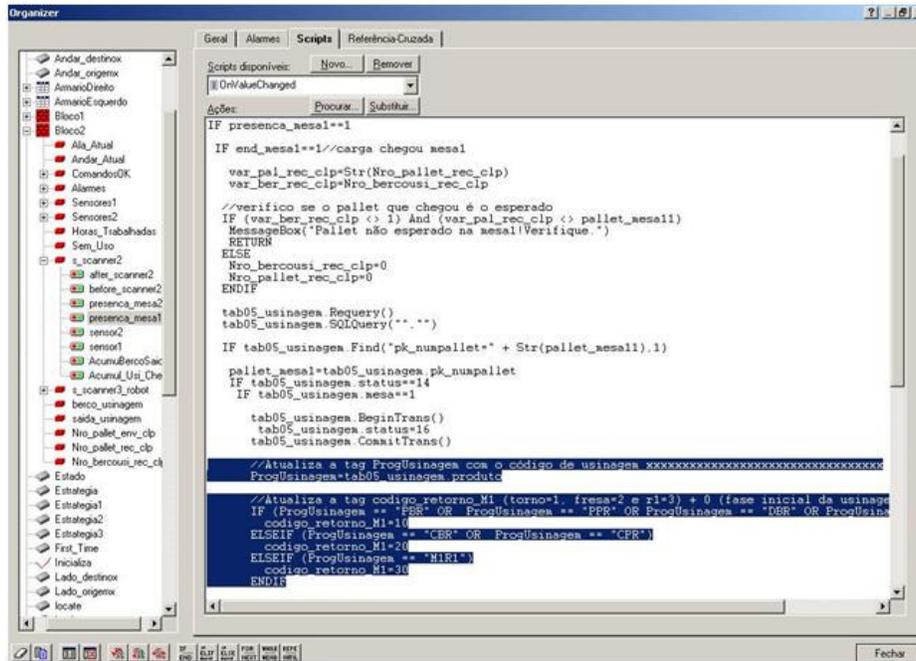


Figura 9. Script associado à tag presença_mesa1

A instrução do script “ProgUsinagem=tab05_usinagem.produto” é a responsável por atualizar a tag ProgUsinagem a partir da tab05_usinagem, coluna “produto” do BD. A tabela usinagem do BD é utilizada pelo gerenciador do armazém para seqüenciar a lista de tarefas de usinagem. O usuário do sistema pode solicitar vários pedidos de usinagem ao mesmo tempo, e cada solicitação será inserida na lista de tarefas da tabela. O artifício de atualizar a tag ProgUsinagem, a partir da tabela de usinagem, permite sincronizar a movimentação do robô e a carga do programa nos CNCs com a chegada do pallet contendo a matéria-prima nas mesas de usinagem. A tag código_retorno_M1 recebe um valor numérico que indica de qual equipamento CNC a peça retornará para a mesa1 e em que fase do processo a peça se encontra. O primeiro dígito indica o CNC que está processando o pedido (torno=1, fresadora=2 e CNC R1=3). Se o segundo dígito for igual a zero, significa que a peça está sendo carregada no CNC.

Após a atualização da tag ProgUsinagem, ocasionada pela chegada do pallet na mesa1, o robô executa o programa m1f1 e conduz a matéria-prima até a fresadora. Quando a usinagem da peça for iniciada, a tag ProgUsinagem deve imediatamente ser atualizada, sob risco do programa de movimentação do robô repetir a solicitação inicial. Para cumprir esta função, utiliza-se o fechamento da porta da fresadora (que inicia o ciclo de usinagem) para atualizar a tag ProgUsinagem. Desta forma, quando o robô retornar para Phome, ele estará apto a executar uma nova solicitação de movimentação.

O gerenciador do armazém, assim como o gerenciador FMC, necessitam de diversas informações dos demais gerenciadores, conforme definido pelas interfaces. A fig. 10 mostra a estrutura dos servidores OPC no organizer do aplicativo e uma das telas do gerenciador FMC.

A tela “Gerenciador” tem a função de oferecer ao usuário do sistema um resumo dos estados dos recursos da célula. As informações dos equipamentos CNC, do robô e do gerenciador remoto são coletadas dos servidores OPC. Já as do armazém estão diretamente ligadas às tags do gerenciador do AS/RS. As tags OPC são decompostas através de scripts e organizadas em um grupo de tags (Pulgu), que contém os seguintes grupos de tag secundários: Auxiliares, CNCR1, Fresadora, Robô e Torno.

7. INTEGRAÇÃO GERAL DA FMC

A união dos gerenciadores dos recursos produtivos da célula com o gerenciador FMC e o gerenciador remoto permite a formação de uma FMC. Todos os gerenciadores estão conectados por meio de uma rede de comunicação local Ethernet, e cada gerenciador desempenha o papel de servidor e cliente OPC ao mesmo tempo. Quando um aplicativo fornece informações para outros gerenciadores, ele é um servidor OPC, já quando ele recebe dados de outro gerenciador, comporta-se como cliente OPC.

Diversas versões do sistema operacional Windows foram utilizadas nos gerenciadores (NT, 2000, XP-HOME e XP-SP2), que executavam em diversos computadores, com processadores Pentium 200 MMX até Pentium 4 2.8 MHz. Todos os computadores contam com placas de rede padrão Ethernet, e aqueles que se comunicam com CLPs com pelo menos uma porta serial RS232, exceção feita ao gerenciador FMC/armazém que possui duas portas seriais (uma

utilizada para comunicação com o CLP Moeller *master* e outra com os *scanners* de leitura do código de barra dos *pallets*). O controlador do robô possui um cartão de rede Profibus, modelo DSQC 352, utilizado para comunicar com o CLP Siemens.

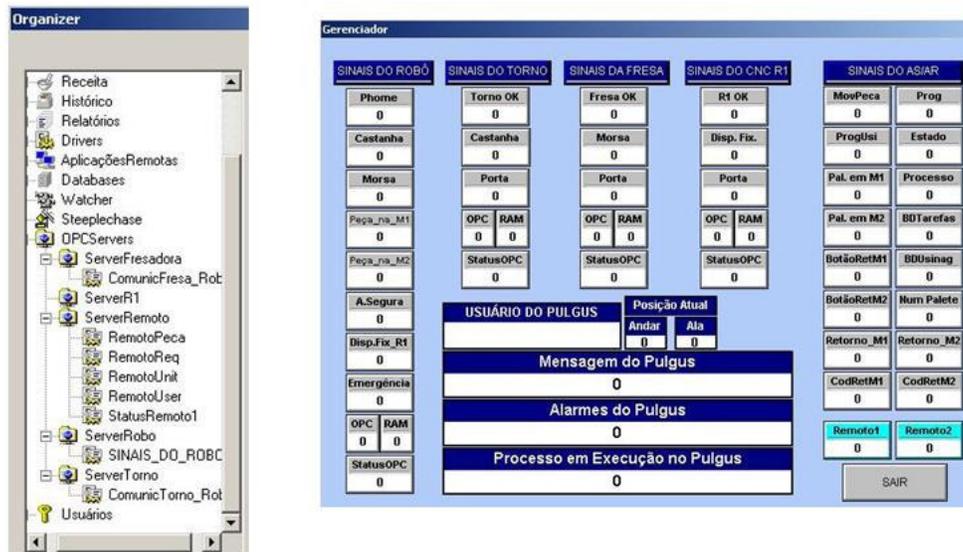


Figura 10. Estruturas dos servidores OPC e uma tela do gerenciador FMC

Após a integração dos gerenciadores, a FMC está apta a produzir as peças previamente cadastradas no banco de dados do gerenciador FMC/armazém. Para iniciar o funcionamento do sistema é necessário que todos os gerenciadores estejam em funcionamento, a rede de comunicação ativa e todos os equipamentos e CLPs da célula com seus programas carregados e ativos.

A interface do usuário com a FMC é o gerenciador do armazém/FMC. Nesta IHM o usuário cadastra as peças e processos, efetua a entrada e saída de matéria-prima no AS/RS e solicita a fabricação das peças previamente cadastradas no sistema. O acesso do usuário ao gerenciador é realizado por meio de senha, por razões de segurança. O gerenciador FMC/armazém também permite monitorar os principais eventos e estados dos recursos produtivos da célula, emitir relatórios sobre peças produzidas e estocadas e localizar matéria-prima e peças já processadas em estoque no armazém.

A integração geral dos diversos equipamentos da célula funcionou de maneira correta e conforme previsto na modelagem da célula baseada em RdPI. Para validar a proposta, simulou-se a fabricação de todas as peças cadastradas no BD do gerenciador, o que ocorreu com sucesso.

O robô ABB, modelo IRB 2400/10, foi dotado de uma garra para manipulação e transporte de materiais entre o armazém e os equipamentos CNC, e vice-versa. Qualquer outro tipo de robô pode ser usado na célula, contanto que seu espaço de trabalho alcance as mesas dos berços de usinagem do armazém e o interior dos equipamentos CNC; que o mesmo esteja dotado de um efetuador (garra) apropriado para manipulação e transporte dos materiais utilizados na célula, e que seu controlador possua capacidade de programação e comunicação com o meio externo.

Os equipamentos CNC utilizados, um torno Feeler FTC10 e uma fresadora Feeler FV-600, exigiram adaptações de *hardware* e *software* para integração na FMC. As alterações necessárias compreendem a automatização das portas e dos dispositivos de fixação (morsa, pinça, castanha, etc.) e da reserva de um conjunto de memórias internas para indicação de carga dos programas de usinagem. Outras marcas e modelos de CNCs podem ser utilizados na FMC.

Para incluir um novo equipamento CNC na célula, não é necessário realizar uma nova modelagem da célula, bastando construir um novo gerenciador semelhante aos gerenciadores do torno, fresadora e CNC R1. Também devem ser gerados os programas de movimentação do robô para o novo CNC e alterados os *scripts* de programação associados às *tags* OPC.

No caso da inclusão de um sistema de medição, que poderia ser um micrômetro laser ou um sistema de medição por visão, seria necessário definir um conjunto de interfaces para a construção do novo gerenciador. Neste caso também não seria necessário modelar novamente a célula. A movimentação do robô seria alterada para levar inicialmente a peça até o sistema de medição. Caso a peça fosse aprovada, o robô completaria o movimento de retorno da peça ao *pallet* da mesa de usinagem. Em caso de rejeição, o robô conduziria a peça até um *buffer* de rejeito ou retrabalho.

8. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou proporcionar uma diretriz para a construção de uma FMC, a partir da integração física e lógica de equipamentos heterogêneos, e acredita-se que os objetivos propostos foram alcançados. A proposta compreende a modelagem do sistema utilizando Redes de Petri Interpretadas, a determinação de um conjunto de interfaces para cada equipamento, a construção de aplicativos gerenciadores baseados em um supervisor SCADA, a integração dos

gerenciadores com os equipamentos CNC e o robô, utilizando CLPs, e a integração dos gerenciadores por meio do padrão de comunicação industrial OPC.

Dentre os possíveis trabalhos futuros, tem-se a necessidade do desenvolvimento de um novo gerenciador FMC, utilizando o supervisório Elipse E3, que fornece a possibilidade de incorporar todos os gerenciadores anteriormente desenvolvidos no Elipse SCADA, além de possibilitar a operação remota da FMC via Internet. O *software* Elipse SCADA possui um módulo de operação através da Internet, porém este não permite interagir com o processo, mas apenas monitorá-lo.

9. REFERÊNCIAS

- Cardoso, J., Valette, R., 1997, "Redes de Petri". Editora da UFSC, Florianópolis, 212 p.
- Maler, O., 1999, "On the programming industrial computers". Artigo publicado em 04/06/1999 e disponível na Internet em <<http://www-verimag.imag.fr/VHS/IP/iec1131.ps>>. Acesso em 20/9/2008.
- Mušič, G., Matko, D., 1998, "Petri net based supervisory control of flexible batch plants". 8th IFAC/IFORS/IMACS/IFIP Symposium on Large Scale System, Greece, Vol.2, pp. 989-994, 1998.
- Santos, H.G., 2007, "Desenvolvimento de um Sistema Supervisório Modular para uma Célula Flexível de Manufatura". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, 168p.
- Teixeira, E.L.S., 2006, "Desenvolvimento da unidade de gerenciamento de uma célula flexível de manufatura integrada a um sistema CAD/CAPP/CAM". Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, 176p.
- Torrico, C.R.C., Cury, J.E.R., 2004, "Controle supervisório hierárquico modular por agregação de estados". In: Controle & Automação, Vol. 15, número 3, pp. 291-300.
- Vieira, G.E., 1996, "Integração, Gerenciamento e Implantação Didática de Células Flexíveis de Manufatura". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, 179p.

10. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

DEVELOPMENT OF A MODULAR SUPERVISION SYSTEM FOR A FLEXIBLE MANUFACTURING CELL

João Carlos Espíndola Ferreira, jcarlos@emc.ufsc.br¹
Hugo Gaspar Santos, dashahgs@gmail.com²
Marcelo Teixeira dos Santos, mteixeira@brasilmatics.com.br³
Léo Schirmer, engleo@gmail.com³

Abstract. *This work seeks to propose and implement a set of instructions and procedures to integrate, in a physical and logical way, a group of CNC machines, an industrial robot, and an automated storage and retrieval system (AS/RS), for the formation of a Flexible Manufacturing Cell (FMC). Initially, the modeling of the cell was carried out, based on the prior definition of a group of minimum interfaces for each equipment, with the aid of the formal description mechanism of Petri Nets. With the cell model, it was proposed and implemented an integration model, based on management modules developed with a supervision and control software (Elipse SCADA). Each module was conceived with enough interfaces to allow the integration of different pieces of manufacturing equipment, which provide flexibility in the configuration of the cell. The communication among the several modules is accomplished using the OPC (OLE for Process Control) technology, which enables the exchange of data among the managers in real time and in an open way. The integration between the managers and their respective pieces of equipment is made through Programmable Logic Controllers (CLPs). The system allows the simulation of the manufacture of a family of parts, without the interference of operators. Man-machine Interfaces (MMI) were developed to allow local and remote users (i.e. physically distant) to input and to monitor their manufacturing orders in the cell.*

Keywords: *Flexible Manufacturing Cell, Flexible Manufacturing System, Modeling of Manufacturing Systems, Supervision and Control Systems*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.