



Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.
ISBN 85-7515-371-4

CONCEPÇÃO DE UMA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE ENGENHARIA

Jeferson L. Curzel – jeferson.curzel@sociesc.com.br

Sociedade Educacional Santa Catarina – Instituto Superior Tupy

Rua Albano Schmidt, 3333 – Bairro Boa Vista

89227-700 - Joinville – SC

Fabiano T. da Silva – dee6fts@joinville.udesc.br

André B. Leal – leal@joinville.udesc.br

Silas do Amaral – dee2sa@joinville.udesc.br

Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Elétrica

Campus Universitário Prof. Avelino Marcante s/n - Bairro Bom Retiro

89223-100 – Joinville – SC

Resumo: *Este artigo apresenta a implementação de uma célula flexível de manufatura desenvolvida para fins de ensino e pesquisa em engenharia. A célula foi concebida com equipamentos existentes no laboratório de robótica da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, e através dela, pode-se realizar experimentos práticos que, em escala reduzida, reproduzem células de manufatura existentes nas indústrias. O controle da célula é feito por intermédio de um Controlador Lógico Programável. A disposição dos equipamentos da célula pode ser facilmente modificada, de forma que novos problemas podem ser propostos tanto pelo professor quanto pelos alunos.*

Palavras-chave: *Célula flexível de manufatura, Controlador lógico programável, Controle supervisorio, Ensino de engenharia.*

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a crescente busca por melhorias na metodologia de avaliação da aprendizagem, é cada vez maior o desenvolvimento de técnicas que vão ao encontro deste objetivo. Uma das maneiras de maior sucesso, neste sentido, é a de conciliar a teoria vista em sala de aula com a prática realizada em laboratório, não deixando a avaliação dos conteúdos aprendidos pelos alunos somente a cargo das avaliações costumeiras como provas, por exemplo.

Além disto, atividades laboratoriais práticas estimulam os alunos ao trabalho em equipe, a ter responsabilidades como elaborar relatórios, cumprir cronogramas, e podem ainda proporcionar aos estudantes a solução de problemas mais fiéis à realidade encontrada nas indústrias.

Com esta idéia em mente, o curso de Engenharia Elétrica da UDESC vem tentando desenvolver veículos que levem este tipo de conhecimento aos alunos, estimulando atividades que trabalhem aspectos técnicos, profissionais e sociais na formação do engenheiro.

Neste trabalho, será utilizada uma célula flexível de manufatura didática e aplicar-se-á a Teoria de Controle Supervisório de forma a encontrar um supervisor minimamente restritivo, que satisfaça as especificações de controle impostas ao sistema. O supervisor obtido é implementado em um controlador lógico programável (CLP) utilizando-se a linguagem LADDER, por ser esta uma linguagem mais difundida, de fácil visualização e entendimento, possibilitando que alterações e localização de falhas sejam feitas rapidamente.

Um trabalho semelhante foi realizado por BOUZON et al. (2004), no qual é utilizada uma célula de envasilhamento de bebidas (CEBE) em escala reduzida, desenvolvida combinando-se peças de kit de blocos de montagem (Lego), um controlador lógico programável (CLP) e placas eletrônicas microprocessadas.

2. CONCEPÇÃO DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA DIDÁTICA

A célula flexível de manufatura apresentada neste trabalho é composta pelos seguintes equipamentos (ver Figura 1):

- 2 Robôs Eshed Robotech Scorbot ER4pc
- 1 Mesa giratória Intelitek (*Rotary Table*)
- 1 Esteira Intelitek (*Conveyor ASSV*)
- 1 Mesa de experimentos Intelitek (*Experiment Table*)
- 1 Estação de teste (Sensor fotoelétrico Sense tipo *Dark on / Dark light*)

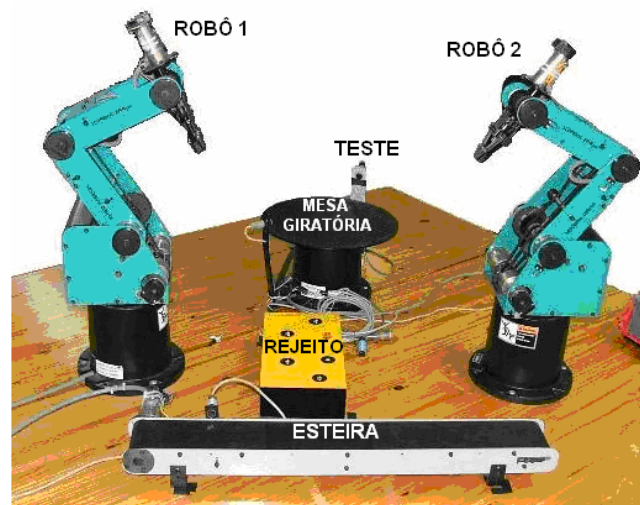


Figura 1. Equipamentos que compõem a célula flexível de manufatura.

A seguir apresenta-se uma breve descrição dos dispositivos utilizados e das adaptações feitas para a sua integração na célula a ser controlada através de um CLP.

Os Robôs Scorbot ER4pc são robôs didáticos de 5 graus de liberdade. O controle de cada robô é feito por um controlador dedicado e sua programação é feita utilizando-se instruções padronizadas na linguagem de programação do equipamento. Cada controlador Scorbot ER4pc possui 8 entradas digitais e 4 entradas analógicas de 8 bits com voltagem 0~10V. O controlador possui também 8 saídas digitais, sendo 4 saídas a relés, 4 saídas transistorizadas e mais duas saídas analógicas de 8 bits com voltagem 0~10 V.

A mesa giratória Intelitek tem a capacidade de girar nos sentidos horário e anti-horário e o motor que provoca seu giro tem alimentação de 24 VDC. Assim, a velocidade do giro é controlada pelo valor da tensão aplicada ao motor e o sentido de giro pela polaridade da tensão aplicada. Muito embora originalmente o ângulo de giro da mesa fosse controlado por intermédio do controlador do robô com auxílio de um *encoder*, optou-se por fazer o seu controle através do CLP. Assim, no intuito de definir um ângulo de giro para a mesa, fixaram-se marcadores de metal (arruelas) sob a sua base de forma a indicar as posições nas quais a mesa deve parar o giro. Um sensor indutivo (alcance de 5mm) conectado a uma entrada do CLP é usado para detectar (sem contato direto) a passagem dos marcadores.

De forma semelhante, a velocidade e o sentido de giro da esteira Intelitek (alimentação de 10~30 VDC) pode ser modificada de acordo com o valor e a polaridade da tensão aplicada ao motor responsável pelo seu funcionamento.

A mesa de experimentos Intelitek possui 5 posições nas quais existem chaves tipo fim de curso que indicam a presença de peças. Assim, esta mesa pode ser usada como um armazém de peças, por exemplo.

A estação de teste consiste em um sensor fotoelétrico tipo *Dark on / Dark light*, que pode identificar a presença (ou ausência) de luz. Este sensor é utilizado para simular o teste de qualidade das peças, conforme explicado mais adiante.

Como elemento de controle da célula é utilizado um CLP Siemens da família S7-300, CPU modelo 312 IFM, cujas características são: memória de trabalho de 6kB, 10 entradas digitais e 6 saídas digitais integradas, e comunicação com o computador via conversor RS232/RS485 padrão MPI (protocolo de comunicação Siemens).

Além dos equipamentos descritos anteriormente, os seguintes dispositivos foram utilizados na célula: uma interface para adequação dos sinais, 6 relés (24Vcc / contato reversível de 1A) uma fonte CC 12V@2A, 2 PC's Pentium II 32MB RAM que são usados para realizar a execução do software de programação dos controladores dos robôs, além do *software Step 7* para a programação do CLP.

Os sinais dos sensores e atuadores dos equipamentos da célula são interligados, respectivamente, ao módulo de entradas e saídas digitais do CLP, por meio do qual é feito o controle da seqüência de operação de cada dispositivo. Entretanto, as rotinas de execução das tarefas dos robôs são executadas em controladores individuais, dedicados para cada robô. Assim, para que os robôs sejam efetivamente integrados à célula de manufatura, é desejável que se possa comandá-los através do elemento de controle da célula, ou seja, através do CLP. Desta forma, através do CLP é possível comandar (disparar) a execução de tarefas pré-programadas dos robôs, mas o controle efetivo de cada junta do robô fica a cargo do controlador dedicado.

Uma vez que os controladores dos robôs trabalham com lógica negativa (NPN) e o CLP trabalha com lógica positiva (PNP), para realizar a conexão dos controladores dos robôs com o CLP foi necessário desenvolver uma interface. A Figura 2 mostra o diagrama de blocos ilustrando o uso da interface entre o CLP e os controladores dos robôs.

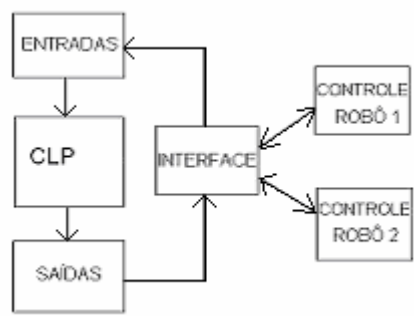


Figura 2. Interface CLP – Entradas e Saídas da Célula

Conforme ilustrado na Figura 3, três sinais de saída do CLP (24V) são interligados a relés da interface de sinais. O contato normalmente aberto desses relés realimenta a referência de sinal (0V) dos controladores dos robôs, ativando assim a rotina correspondente na programação de cada robô.

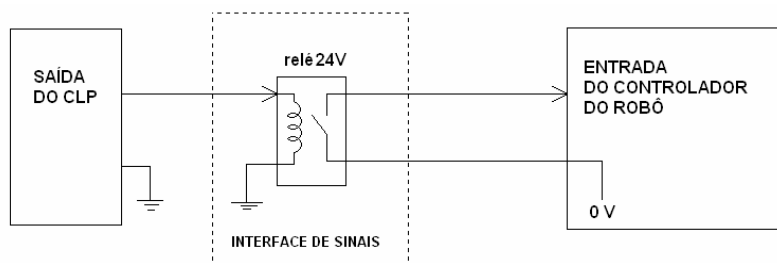


Figura 3. Acionamento do controlador do robô pelo CLP

Uma vez que a saída do CLP tem uma capacidade de corrente de apenas 500mA, e que com esta corrente não é possível fazer o acionamento das cargas diretamente, utilizou-se uma fonte auxiliar de 12V (cuja corrente de saída é de 2A) para realizar o acionamento dos motores da esteira e da mesa giratória. Desta forma, conforme mostrado na Figura 4, o sinal de saída do CLP (24V) responsável pela ativação do motor da esteira é interligado ao relé na interface de sinais, cujo contato normalmente aberto alimenta o motor da esteira com a tensão da fonte auxiliar (12V@2A).

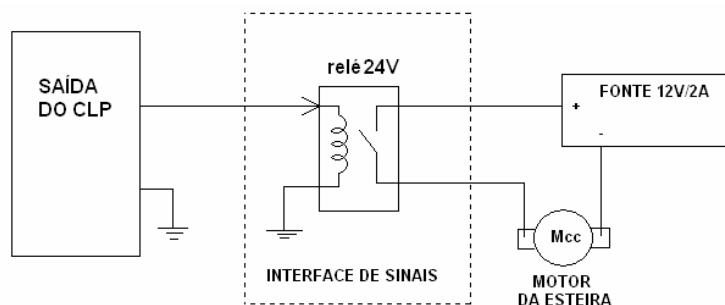


Figura 4. Acionamento do motor da esteira pelo CLP

No intuito de possibilitar que o CLP receba a sinalização de final de operação dos robôs, foi necessário ainda interligar os sinais de saída dos controladores dos robôs ao CLP. Para

isso, a alimentação do CLP (24V) foi ligada diretamente ao contato do relé de saída do controlador do robô, conforme a Figura 5.

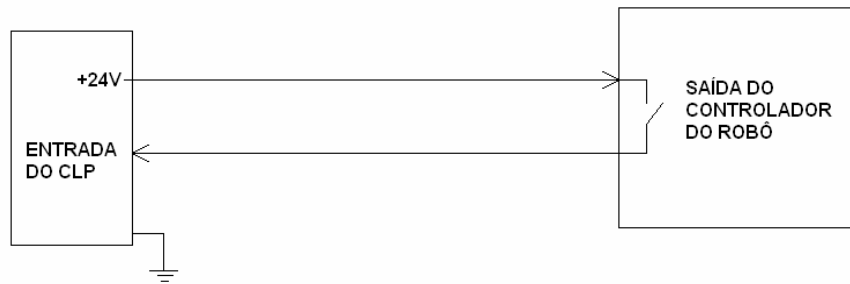


Figura 5. Ligação da saída do controlador do robô com o CLP

No total foram utilizados seis relés na interface de sinais, dois para os acionamentos do motor da esteira e da mesa giratória, e quatro para a conexão dos sinais de saída do CLP às entradas dos controladores. Na Figura 6 mostra-se a interface completa e todas as conexões.

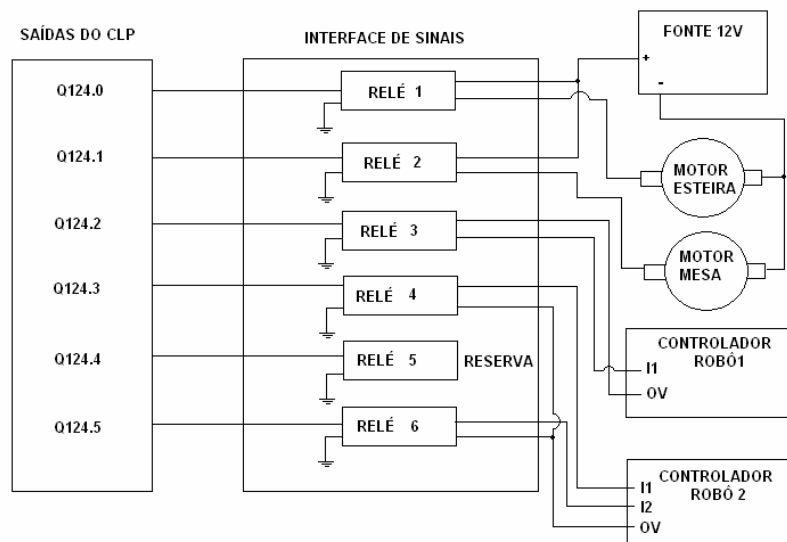


Figura 6. Esquema de ligações da interface de sinais

A Figura 7 mostra o CLP utilizado para controlar a célula (CLP S7 300) e a interface para sinais de entrada e saída.

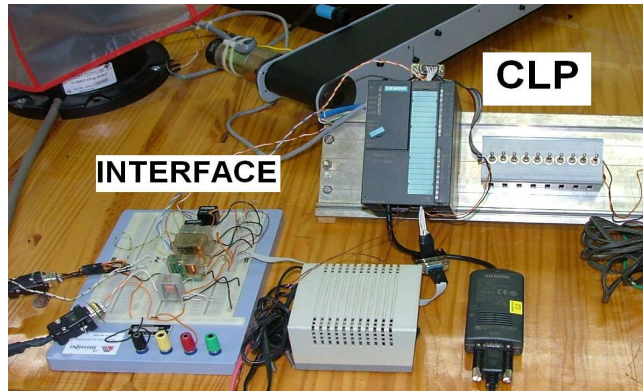


Figura 7. O CLP utilizado e a interface de sinais.

3. LAY-OUT DA CÉLULA DE MANUFATURA

Os equipamentos que compõem a célula de manufatura em questão podem ser dispostos em diferentes configurações; desta forma, novos problemas podem ser facilmente criados. Assim, a cada semestre, pode-se apresentar um *lay-out* diferente para que os alunos proponham e solucionem novos problemas. A seguir, apresenta-se um possível *lay-out* para a célula.

3.1 *Lay-out* sugerido

A célula de manufatura considerada é composta por dois robôs, uma mesa giratória, um sensor *dark on/ dark light*, que irá simular uma estação de teste, uma esteira transportadora, uma mesa (armazém) que servirá de depósito para peças rejeitadas e uma área de depósito de peças prontas. Na Figura 8, apresenta-se um diagrama esquemático da Célula de Manufatura em questão.

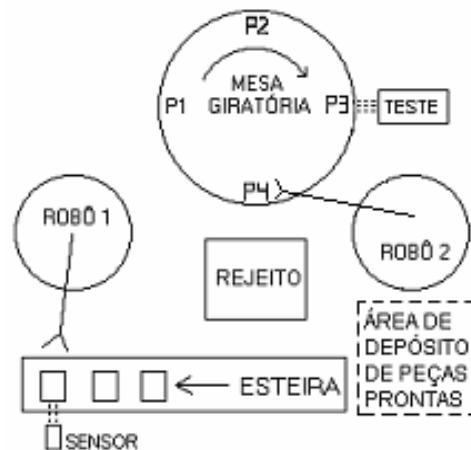


Figura 8. Diagrama Esquemático da Célula de Manufatura

3.2 Seqüência de funcionamento

Inicialmente a esteira deve ser ligada de forma a transportar peças até o robô 1. Assim, quando uma peça é detectada pelo sensor fotoelétrico posicionado no final da esteira, esta deve ser desligada e o robô 1 deve levar a peça até a mesa giratória. O robô 1 coloca a peça na mesa giratória (posição P1) e volta à sua posição inicial, gerando então um sinal para o CLP informando o final de sua operação. A mesa dá um giro de 90°, levando a peça até a posição P2, onde a mesma sofrerá um processo de manufatura (simulado). A indicação de que a mesa sofreu um giro de 90° é feita pelo sensor indutivo posicionado para detectar os marcadores de metal sob a mesa, conforme explicado anteriormente. Ao final da operação de manufatura a mesa gira novamente até a posição P3 onde a peça passa por um teste que indica se a mesma é boa ou ruim. Atualmente, a indicação de peça boa ou ruim é feita através de uma tarja preta fixada na peça e o elemento de teste é o sensor fotoelétrico tipo *dark on / dark light*. As peças com tarja preta são consideradas com defeito e as demais são consideradas peças boas. Ao final do teste a mesa dá mais um giro de 90°, levando a peça até a posição P4, onde o robô 2 fará o transporte para o local adequado, de acordo com o tipo de peça: peças boas devem ser transportadas para a área de depósito de peças prontas e peças ruins devem ser transportadas para a mesa de rejeito, tomando-se o cuidado de colocar somente uma peça em cada uma das 5 posições disponíveis nesta mesa. A indicação de presença de peça na mesa de rejeito é feita por intermédio de chaves de fim de curso existentes em cada uma das posições da mesa. Deseja-se que as peças com defeito passem novamente pelo processo de manufatura e de teste, de forma a corrigir o defeito. Assim, o robô 1 deve transportar tais peças da mesa de rejeito para a posição P1 da mesa giratória.

Na descrição da seqüência de funcionamento feita acima considerou-se que apenas uma peça é produzida a cada vez. Entretanto, no funcionamento geral desta planta é possível que várias peças sejam produzidas simultaneamente. Neste caso, haverá a atuação simultânea de equipamentos.

4. A UTILIZAÇÃO DA CÉLULA NO ENSINO

Por se tratar de uma área inerentemente multidisciplinar, a automação da manufatura envolve conceitos e problemas de diversas áreas. Assim, a célula flexível de manufatura pode ser usada como ferramenta de ensino para várias disciplinas de alguns cursos de engenharia. Na engenharia elétrica, a célula pode ser usada no ensino de disciplinas que abordem temas como programação de CLPs, modelagem e controle de sistemas a eventos discretos, automação da manufatura e robótica, entre outros.

Nesta seção, aborda-se o uso da célula como ferramenta de ensino no contexto da disciplina Modelagem e Controle de Sistemas Automatizados, a qual se trata de uma disciplina eletiva (opcional) oferecida para alunos a partir da 9ª fase do curso de graduação em engenharia elétrica da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

3.1 Ensino da Disciplina Modelagem e Controle de Sistemas Automatizados

A disciplina *Modelagem e Controle de Sistemas Automatizados* é fundamentada na teoria de linguagens e autômatos (RAMADGE e WONHAM, 1987). Assim, a modelagem da célula e a resolução de problemas de controle são feitas seguindo a Teoria de Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos proposta por RAMADGE e WONHAM (1989). Nesta abordagem, o controle é feito por um autômato denominado de supervisor, o qual restringe o comportamento do sistema físico (planta), satisfazendo a um conjunto de especificações. Os

eventos que podem ocorrer na planta são divididos em dois tipos: os eventos controláveis, cuja ocorrência pode ser alterada pela ação de controle, como por exemplo, o início de uma atividade ou a parada de uma esteira, que pode ser controlada, por exemplo, por um CLP, e os eventos não controláveis, cuja ocorrência não pode ser desabilitada pela ação de controle, como por exemplo, a ativação de um sensor. Eventos não controláveis são considerados permanentemente habilitados (CASSANDRAS e LAFORTUNE, 1999).

O comportamento da planta e do supervisor é modelado por autômatos de estados finitos (HOPCROFT et al., 2001). Os autômatos são grafos dirigidos, onde os nós representam os estados e os arcos etiquetados representam as transições entre estados. O estado inicial é identificado através de uma seta apontando para ele e os estados finais (marcados) são representados com círculos duplos. Eventos controláveis são designados por arcos cortados por uma pequena linha transversal. A Figura 9 ilustra o autômato que modela o funcionamento da mesa giratória. Neste autômato, o estado inicial (zero) representa “mesa parada”, e o estado 1 representa “mesa girando”. A mesa transita do estado de repouso para o estado “girando” com o evento I_giro e volta ao estado de repouso com o evento F_giro. O círculo duplo no estado “zero” representa a finalização de uma tarefa, ou seja, considera-se que a mesa completou sua tarefa quando ela concluiu o giro.

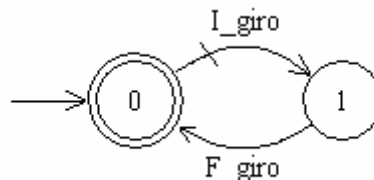


Figura 9. Autômato para a mesa giratória

Os seguintes passos devem ser realizados para a resolução de um problema de controle supervisão segundo a teoria de RAMADGE e WONHAM (1989):

1. Modelar o comportamento da planta sem coordenação (planta livre);
2. Modelar as especificações de controle;
3. Utilizando os modelos obtidos nos passos anteriores, sintetizar o supervisor.

Na modelagem da célula, cada elemento é modelado por um autômato e o comportamento global (comportamento livre) da planta pode ser obtido fazendo-se a composição síncrona (CASSANDRAS e LAFORTUNE, 1999) destes modelos individuais. Conforme proposto por MORAES e LEAL (2006), podem ser modeladas ainda algumas restrições físicas, devido aos modelos individuais não possuírem informações importantes do sistema global. Por exemplo, se a esteira não estiver acionada, não ocorrerá o acionamento do sensor posicionado ao final desta, não havendo dessa forma a geração do evento correspondente. Assim, pode-se modelar uma restrição física para indicar que o sensor da esteira só pode ser ativado quando a esteira está ligada. Os autômatos que modelam estas restrições físicas devem ser sincronizados com o autômato que modela a planta, obtendo-se um modelo que descreva o seu comportamento de forma mais exata.

Analogamente, cada especificação de controle é modelada por um autômato e a composição síncrona de todas as especificações gera o autômato que modela a especificação global para o sistema. O produto síncrono do autômato da planta com o autômato da especificação global gera o autômato que representa a linguagem alvo, ou seja, a linguagem desejável para o sistema sob supervisão.

Tendo em vista que a linguagem alvo pode não ser controlável, é necessário encontrar a máxima linguagem controlável (RAMADGE e WONHAM, 1989) que está contida na linguagem alvo. O autômato que reconhece esta linguagem consiste no supervisor não bloqueante e minimamente restritivo que deverá ser implementado de forma a garantir o cumprimento das especificações de controle.

Todos os passos descritos acima podem ser realizados com auxílio de ferramentas computacionais. Em especial, sugere-se a utilização da ferramenta TCT (WONHAM, 2005), disponível em <http://www.control.utoronto.ca/DES/> e da ferramenta GRAIL (RAYMOND e WOOD, 1995), disponível em <http://www.das.ufsc.br/~cury/ensino-5202.html>, ambas distribuídas gratuitamente para fins educacionais.

3.2 Metodologia empregada na disciplina

No início do semestre, os alunos são apresentados à célula de manufatura didática e estimulados a discutirem sobre o funcionamento isolado de cada um dos equipamentos que a compõem. Logo após, a partir das aulas teóricas sobre modelagem de sistemas automatizados, divide-se a turma em equipes e pede-se que os elementos da célula (robô, esteira, mesa giratória, etc.) sejam modelados isoladamente. Esta atividade provoca uma ampla discussão sobre o nível de abstração dos modelos e sobre a dependência existente entre o modelo do elemento e sua inserção/função na célula.

Na seqüência, pede-se que cada grupo defina um problema de controle diferente sobre a célula e que os modelos sejam revistos de acordo com o problema proposto pela equipe. Os grupos apresentam para a turma o problema formulado e os modelos obtidos e faz-se uma discussão sobre as diferenças entre os modelos em função do problema apresentado. Nesta etapa, o professor pode verificar se existem problemas demasiadamente simples (ou complexos) e pode sugerir alterações que equalizem o nível de dificuldade dos trabalhos, caso julgue pertinente.

Na etapa seguinte, pede-se que os grupos apresentem os modelos (autômatos) para as especificações de controle definidas de forma a garantir que a célula sob supervisão se comportará conforme desejado (definido no problema).

Após, os grupos devem realizar o projeto do supervisor e implementá-lo em CLP verificando se o comportamento da planta sob supervisão está de acordo com o especificado. É nesta etapa que se utilizam as ferramentas computacionais citadas anteriormente.

Deve-se ressaltar ainda que a disposição dos equipamentos da célula pode ser alterada de um semestre para outro, o que possibilita a proposição de problemas distintos a cada semestre. Este fato é importante para que os alunos tenham sempre um desafio novo a ser resolvido e não um problema já solucionado no semestre anterior.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A célula flexível de manufatura apresentada neste trabalho pode ser usada como uma importante ferramenta de ensino em diversas áreas das engenharias. Pode-se utilizá-la para discutir desde aspectos técnicos específicos de determinadas áreas, como a programação de robôs, graus de liberdade de um robô e programação de CLPs, até aspectos mais gerais e que envolvam concomitantemente conteúdos de diversas disciplinas.

Além disso, o uso da célula possibilita que as disciplinas sejam desenvolvidas na forma de projetos, nos quais os alunos devem trabalhar em equipe de forma a resolver problemas com os quais possivelmente se defrontarão na sua futura vida profissional. Através desta metodologia, pode-se facilitar o desenvolvimento de habilidades importantes para a formação

de um bom profissional, tais como: capacidade de trabalho em equipe, habilidades em gerenciamento de projetos, e visão crítica.

Neste artigo, exemplificou-se o uso da célula na disciplina Modelagem e Controle de Sistemas Automatizados, mas em muitas outras disciplinas pode-se fazer uso da célula. O ensino de realidade virtual (HOUNSELL e PIMENTEL, 2003) também pode ser feito com auxílio da célula de manufatura proposta aqui. Além destas, podem ser incluídas também disciplinas de Mecatrônica, Robótica, Informática Industrial, Automação da Manufatura (automação de sistemas ou automação industrial), Sistemas Flexíveis de Manufatura, por exemplo.

No futuro, pretende-se implementar dispositivos de comunicação em rede (Ethernet, Profibus) de forma que a célula possa ser usada para ensino e pesquisa na área de Manufatura Remota (Controle de SFM via Internet), Sistemas Integrados de Manufatura, CAD/CAPP/CAM, viabilizando sua programação e supervisão remotas (ÁLVARES e FERREIRA, 2003), além da possibilidade de implementação de controle distribuído/descentralizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVARES, A.J.; FERREIRA, J.C.E., Metodologia para Implantação de Laboratórios Remotos Via Internet na Área de Automação da Manufatura, **Anais** do 2º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF), Uberlândia, MG, 18 a 21 de maio, 2003.

BOUZON, G.; OLIVEIRA, M. L.; VALLIM, M. B.; LACOMBE, J. P.; FREITAS, G. M.; CURY, J.E.R.; FARINES, J.M.; CEBE: uma plataforma para experimentação real aplicada ao ensino de sistemas a eventos discretos. **Anais** do Congresso Brasileiro de Automática CAB 2004. v. 1. p. 724-729, 2004.

CASSANDRAS, C.G.; LAFORTUNE, S., **Introduction to Discrete Event Systems**, 2nd Ed., Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 1999.

HOPCROFT, J.E.; MOTWANI, R.; ULLMANN, J.D., **Introduction to Automata Theory, Languages and Computation**, 2nd ed., Addison Wesley Publishing Company, 2001.

HOUNSELL, M. S.; PIMENTEL, A. . On The Use of Virtual Reality to Teach Robotics. In: ICECE - Internacional Conference on Engineering and Computer Education, 2003, Santos - SP. Internacional Conference on Engineering and Computer Education (IEEE Education Society), 2003. v. 01. p. 1-5.

MORAES, W.R.; LEAL, A.B. Controle Supervisório do Transportador de Entrada de um Sistema Flexível de Manufatura. PROCEEDINGS OF THE VII INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL APPLICATIONS-INDUSCON, 2006, Recife, Brasil.

RAMADGE, P. J.; WONHAM, W. M. Supervisory Control of a Class of Discrete-Event Processes, **Proc. SIAM J. Control and Optimization**, Vol. 25, n. 1, pp. 206-203, 1987.

RAMADGE, P. J.; WONHAM, W. M. The Control of Discrete Event Systems, **Proceedings of IEEE**, Vol. 77, n. 1, pp. 81-98, 1989.

RAYMOND, D.; WOOD, D., Grail: A C++ library for automata and expressions, in **Journal of Symbolic Computation**, 11, pp. 341-350,1995.

WONHAM, W. M., Supervisory Control of Discrete Event Systems, **Notas de aula**, Systems Control Group, University of Toronto, 2005.

CONCEPTION OF A DIDACTIC FLEXIBLE MANUFACTURING CELL FOR THE ENGINEERING EDUCATION

***Abstract:** This article presents the implementation of a flexible cell of manufacture developed for education purposes and research in engineering. The cell was conceived with existing equipment in the laboratory of robotics of the University of the State of Santa Catarina - UDESC, and through it, can be carried through practical experiments that, in reduced scale, they reproduce existing cells of manufacture in the industries. The control of the cell is made by mean of a Programmable Logical Controller. The disposal of the equipment of the cell can easily be modified, such that new problems can in such a way be considered by the teacher how much for the pupils.*

***Key-words:** Flexible Manufacturing Cell, Programmable Logic Controller, Supervisory Control, Engineering Education.*