

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIOGRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Análise de uma célula flexível de manufatura

por

Andreas Eberhart

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Dezembro de 2012



Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Mecânica

Análise de uma célula flexível de manufatura

por

Andreas Eberhart

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Arnaldo Ruben Gonzalez  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Projeto e Fabricação

Orientador: Prof. Heraldo J. Amorim Dr. Eng.

Comissão de Avaliação:

Prof. Cintia C. Petry Mazzaferro, Dr. Eng.

Prof. Fabiano Disconzi Wildner, Dr. Eng.

Prof. Flavio J. Lorini, Dr. Eng.

Porto Alegre, 07 de dezembro de 2012.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul por fornecer um ensino público e gratuito de qualidade.

Ao engenheiro Sandro Dias Vieira por disponibilizar as informações necessárias para viabilizar a realização deste trabalho.

Aos professores Mario Roland Sobczyk Sobrinho e Fabiano Disconzi Wildner pela colaboração e conselhos.

Ao professor Heraldo José de Amorim pela orientação e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

EBERHART, A., **Análise de uma célula flexível de manufatura**. 2012. 18 páginas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

## **RESUMO**

O planejamento e construção de uma célula flexível de manufatura é uma tarefa complexa e difícil. Portanto, modelos computacionais podem ser muito úteis para antecipar problemas que podem surgir ao longo do desenvolvimento da célula. Neste trabalho, foi criado um modelo em software de eventos discretos para simular a operação de uma célula flexível de manufatura já existente. As diferentes tarefas executadas tanto pelo operador da célula quanto pelas máquinas envolvidas tiveram seus tempos medidos. Uma análise através da tecnologia de grupo foi realizada para identificar grupos de máquinas, a partir dos quais um layout alternativo foi proposto para a célula de manufatura. A produtividade e a taxa de ocupação das máquinas da célula original e da alternativa proposta foram comparadas visando avaliar a solução apresentada, sendo observados aumento de produtividade e nas taxas de ocupação de máquina.

**PALAVRAS-CHAVE:** Acabamento superficial de instrumentos cirúrgicos, célula flexível de manufatura, modelagem de sistemas de manufatura.

EBERHART, A., **A flexible manufacturing cell analysis**. 2012. 18 pages. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

## **ABSTRACT**

Planning and building a flexible manufacturing cell is a complex and hard task. Therefore, computer models can be very useful to anticipate problems that can rise along the cell development. In this work, a model was created on discrete events software to simulate the operation of an existing flexible manufacturing cell. All the different tasks executed by the cell's operator and machines had their time measured. A group technology analysis of the cell was done in order to evaluate machine groups, which were used to create an alternative manufacturing cell layout suggestion. The productivity and machine occupation rate of the original cell machines and the alternative suggestion were compared in order to evaluate the presented solution, in which were observed a productivity and machine occupation rate increase.

**KEYWORDS:** Surgical instruments, surface finishing, flexible manufacturing cell, manufacturing systems modeling.

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	1
2.1	Objetivos gerais .....	1
2.2	Objetivos específicos .....	1
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1	Sistemas de manufatura .....	2
3.2	Sistemas flexíveis de manufatura.....	2
3.3	Tecnologia de grupo .....	3
3.4	Modelagem de sistema de manufatura .....	3
4.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	4
4.1	Processo de acabamento superficial de pinças cirúrgicas.....	4
4.2	Abordagem do problema.....	6
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
5.1	Cronoanálise, simulação e tecnologia de grupo .....	9
5.2	Proposta de alteração do funcionamento da célula e resultados.....	11
6.	CONCLUSÕES.....	13
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14
	Apêndice .....	15
	Anexo.....	18

## 1. INTRODUÇÃO

O acabamento superficial de uma peça é um parâmetro comumente especificado em projetos de componentes mecânicos. Herança dos processos de fabricação utilizados, exerce influência em propriedades como resistência à fadiga, mecânica e à corrosão. A redução de ranhuras e pequenas trincas através de processos de acabamento contribuem para maior durabilidade e qualidade destes componentes.

Instrumentos cirúrgicos são ferramentas que auxiliam e permitem aos médicos a realização de diferentes procedimentos ao longo de uma cirurgia. No estudo realizado por Lima, 2009, o autor observou que o resultado de uma cirurgia está diretamente ligado a qualidade dos instrumentos utilizados, que ficam expostos a meio corrosivos que atacam diretamente a superfície do material. Uma eventual falha destes instrumentos pode comprometer o andamento de um procedimento cirúrgico. Por possuir propriedades de maior resistência à corrosão, o aço inoxidável é um material bastante utilizado na fabricação destes instrumentos. Filho, 1997, afirma que essa resistência dos aços inoxidáveis é proveniente de uma película superficial resultante da reação entre o cromo presente na composição do material e o oxigênio atmosférico, cuja homogeneidade é diretamente relacionada à qualidade do acabamento superficial. O autor ainda comenta que, para aplicações cirúrgicas, um bom acabamento superficial do material evita que microrganismos se alojem em ranhuras e cavidades.

Segundo Lima, 2009, a etapa de polimento dos instrumentos cirúrgicos exige uma inspeção de qualidade rigorosa e, neste contexto, a automatização do processo de acabamento representa um grande benefício no controle e padronização dos resultados obtidos. Outro ponto em que a automatização do processo de manufatura oferece benefícios é na redução de custos com controle de qualidade e na redução de retrabalho e refugo, uma vez que a repetitividade do processo tende a aumentar.

Neste trabalho foi analisada a alteração de uma célula de manufatura proposta por Vieira, 2011, para a execução de operações de acabamento de pinças cirúrgicas fabricadas em aço inoxidável, onde o autor desenvolveu e implementou uma célula flexível de manufatura robotizada em substituição a um processo de fabricação artesanal, observando aumento substancial na taxa de produção, aliado a redução de custos. No presente trabalho, o funcionamento da célula foi avaliado e posteriormente modelado em um *software* de simulação a eventos discretos e seu comportamento foi analisado do ponto de vista da taxa de produção de peças e da taxa de ocupação dos equipamentos envolvidos. Com base nos resultados obtidos, e utilizando métodos relacionados à tecnologia de grupo, foi proposta uma alteração de *layout* na célula, que foi simulada nos mesmos moldes do modelo utilizado para a situação atual da célula e comparada com o projeto atual.

## 2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo analisar o funcionamento de uma célula flexível de manufatura robotizada, proposta por Vieira, 2011, e avaliar possibilidades de melhoria no processo. Sugestões de alteração serão avaliadas através de simulação de eventos discretos.

O objetivo geral do trabalho será atingido através dos seguintes objetivos específicos:

- Cronoanálise do funcionamento da célula flexível de manufatura proposta por Vieira, 2011;
- Desenvolvimento de um modelo em *software* de simulação por eventos discretos, que represente as características produtivas da célula de manufatura;
- Elaboração de propostas de alteração de *layout* da célula de manufatura;
- Simulação das propostas elaboradas;
- Comparação dos resultados obtidos através de simulação para a célula em operação e a proposta de alteração de *layout*.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Sistemas de manufatura

A organização através de sistemas é algo natural do homem, sendo aplicada desde a Antiguidade. A produção de itens e artefatos anteriores à Revolução Industrial já consistia em um sistema de produção, porém de baixíssima complexidade e eficiência. Com a Revolução Industrial ocorre uma reorganização da forma de trabalho, com produtos deixando de ser fabricados inteiramente por apenas um indivíduo para serem fabricados em etapas e por diferentes pessoas. Surgem assim sistemas de manufatura (ou sistemas de produção) mais complexos e também mais produtivos.

Chiavenato, 1983, descreve um sistema como um grupo de elementos que se relacionam de forma dinâmica em busca de atingir um objetivo. Para isto, estes elementos operam sobre entradas (informação, energia ou matéria) e fornecem saídas (informação, energia ou matéria) processadas. Conforme afirmado por Groover, 2008, um sistema de produção também envolve, além do processo de fabricação, o arranjo físico de equipamentos e pessoas concebido para produzir determinada linha de produtos.

Lorini, 1993, afirma que o modelo de sistema de manufatura utilizado pela maior parte da indústria remete a teorias de administração da produção resultantes de um panorama de mercado onde a concorrência era pequena e padrões de qualidade eram de importância secundária frente à necessidade de produção em massa. O autor observa que o panorama atual sofreu significativas mudanças como o aumento da competitividade no mercado, o surgimento e rápido desenvolvimento de novas tecnologias, a necessidade de uma utilização mais racional de recursos e o aumento dos padrões de qualidade, de modo que os sistemas produtivos caminham em direção à automatização total dos processos de manufatura para atender às novas demandas.

#### 3.2. Sistemas flexíveis de manufatura

Segundo Dallery, 1986, um sistema flexível de manufatura é um sistema em que tanto a operação de máquinas quanto o fluxo de materiais são totalmente automatizados. Além disso, o sistema possui capacidade para realizar a manufatura de diferentes tipos de peças sem interferência de um operador.

Esta definição é complementada por Park, 2001, que divide um sistema flexível de manufatura em três subsistemas: máquinas de controle numérico (CNC), um sistema de manuseio de materiais e um sistema de controle que integre os dois primeiros.

Um sistema flexível de manufatura é o estado da arte em sistemas produtivos. Ele é um sistema automatizado do início ao fim do processo, necessitando de pouca interferência humana. A entrada de matéria-prima, circulação de peças no chão de fábrica e armazenamento de produtos acabados são todos controlados por um sistema de gerenciamento de materiais. Este sistema de gerenciamento e as máquinas de controle numérico (CNC) são administrados por um sistema computadorizado que integra as informações de disponibilidade de matéria-prima, demanda e circulação de produtos intermediários com as informações de produtividade e tempos produtivos provenientes dos equipamentos.

Analisado do ponto de vista de processos, um sistema flexível de manufatura é composto por grupos menores responsáveis por operações intermediárias. Estes grupos são chamados de células flexíveis de manufatura.

Para Huang et al., 1992, e Teixeira, 2006, um sistema flexível de manufatura é composto por uma combinação de duas ou mais células flexíveis de manufatura. Estas células incorporam elementos de um sistema flexível de manufatura, tais como máquinas CNC e a capacidade de realizar a manufatura de diferentes peças sem necessidade de reconfiguração. O transporte de materiais entre máquinas é realizado por um sistema automatizado de movimentação e reposicionamento de materiais, que é responsável por sincronizar os tempos produtivos com o fluxo de materiais de forma a reduzir os tempos de máquina parada. Devido



às suas características funcionais, podem ser utilizados robôs, constituindo células flexíveis de manufatura robotizadas.

Segundo Teixeira, 2006, a utilização de robôs em células flexíveis de manufatura é muito comum devido à flexibilidade que os mesmos oferecem. Por serem facilmente programados, os robôs geram uma maior estabilidade na qualidade dos processos (menores variações dimensionais) e também resultam em uma melhor sincronia entre os tempos produtivos e deslocamentos de materiais, o que acaba reduzindo os tempos de máquina parada.

### 3.3. Tecnologia de grupo

Segundo Groover, 2008, tecnologia de grupo é uma filosofia de manufatura que busca identificar semelhanças no projeto e fabricação de itens, criar famílias de peças em função destas similaridades e obter vantagens produtivas. Lorini, 1993, esclarece que com a definição das famílias de peças, os itens do grupo não devem ser separados em pequenos lotes distintos no planejamento da produção. A manufatura destes itens deve ser tratada como uma produção em série de todos os itens do grupo. Deste modo, a família de peças deve ser interpretada como uma única peça que contém todas as características dos itens a compõem. O autor ressalta que o objetivo disto é obter as vantagens da produção em massa para itens fabricados em pequenos lotes. Entre os benefícios do uso da tecnologia de grupo estão: maior padronização de ferramentas e sistemas de fixação, simplificação do planejamento de processos, redução dos tempos de setup e maior produtividade dos equipamentos.

Com a definição de famílias de peças, as máquinas responsáveis por processar estes itens devem ser organizadas de modo a facilitar o fluxo de trabalho. Para a escolha de um *layout* produtivo após a aplicação da tecnologia de grupos é necessária a realização de um estudo que busque maximizar a eficiência produtiva da célula. Neste contexto, a utilização de modelos computacionais pode trazer grandes benefícios.

### 3.4. Modelagem de sistemas de manufatura

Segundo Yücel, 2005, construir uma célula flexível de manufatura exige um alto investimento e planejamento. O autor observa que na definição do *layout* da célula é necessário um intenso trabalho para que o resultado seja um sistema eficiente, indicando ainda a utilização de modelos com uma das melhores formas de solucionar os problemas que aparecem nas fases de criação e construção da célula. Neste contexto, modelos de sistema de manufatura são uma ferramenta eficiente para auxiliar na estruturação destes, reduzindo custos de desenvolvimento e auxiliando na obtenção de resultados mais eficientes.

Entre os métodos utilizados para simular o comportamento de sistemas de manufatura está a modelagem por eventos discretos. Em seu estudo sobre simulações a eventos discretos, Holtz, 2001, define um sistema discreto como um sistema em que as variáveis de estado variam em pontos discretos no tempo e não continuamente. Ele afirma que a utilização ou não de modelos a eventos discretos para simular sistemas de manufatura depende do comportamento que se procura observar. Para casos em que o objeto de estudo é o comportamento do sistema antes e após a ocorrência de um evento, a modelagem a eventos discretos se justifica.

Ainda, conforme observado por Yücel, 2005, a simulação por eventos discretos é amplamente utilizada na indústria desde os anos 70. Desde então, impactos de variações no comportamento de sistema de manufatura são previstos através de modelos computacionais.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Processo de acabamento superficial de pinças cirúrgicas

Este trabalho tomou como base o estudo realizado por Vieira, 2011, no qual foi proposta uma solução para um problema encontrado em uma indústria fabricante de instrumentos cirúrgicos. Na época, foi identificado que o processo de acabamento utilizado em uma ampla gama de instrumentos fabricados pela empresa poderia ser melhorado. Anteriormente à solução proposta por Vieira, o processo era realizado de forma artesanal conforme descrito a seguir.

O acabamento de uma série de itens produzidos era realizado em uma linha de produção manual composta por sete etapas, consistindo em:

1. Corte com lixa granulação 80
2. Modelagem com lixa granulação 150
3. Polimento vibratório com partículas cerâmicas em solução ácida
4. Eletropolimento em tanque com solução ácida
5. Jateamento com microesferas de vidro
6. Polimento com roda de sisal
7. Polimento com roda de manta sintética

As etapas três e quatro eram executadas por um único operador. As demais etapas eram realizadas cada uma por um operador.

Com o objetivo de aumentar a produtividade do processo, foi proposta a criação de uma célula flexível de manufatura automatizada, substituindo as etapas de três a sete do processo artesanal. A Figura 4.1 demonstra o *layout* escolhido pelo autor como solução para o problema.

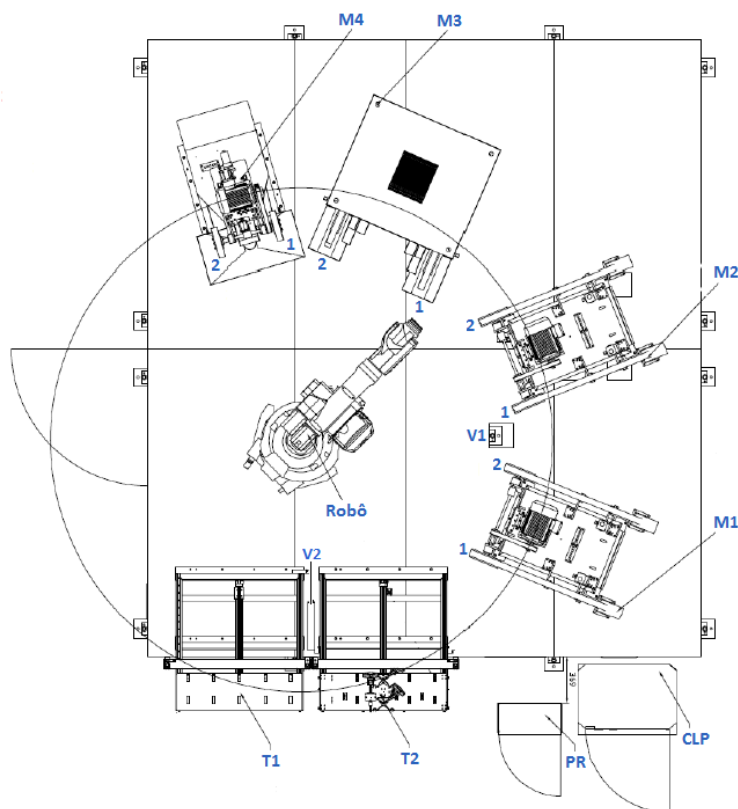


Figura 4.1 – *Layout* da célula flexível de manufatura estudada (adaptada de Vieira, 2011).

As máquinas indicadas por M1 e M2 são lixadeiras de vão livre com regulação de tensão. Possuem capacidade para duas lixas, uma na direita e outra na esquerda conforme indicado pelos números 1 e 2, respectivamente.

A máquina M3 é uma lixadeira de contato também com capacidade para duas lixas nos locais indicados por 1 e 2.

A máquina M4 é formada por um conjunto de duas poltrizes com roda de contato, compensação de força e sensor de calibração de desgaste. Cada poltriz possui duas rodas de contato indicadas por 1 e 2. Elas estão localizadas uma sobre a outra na estrutura que compõe esta máquina.

Dentro da célula existe um suporte de fixação com imã indicado por V1. Este suporte é utilizado pelo robô para alterar a posição que o mesmo utiliza para agarrar o dispositivo durante o processo. Esta mudança ocorre para o robô trabalhar os dois lados das pinças.

As peças a serem trabalhadas são inseridas na célula através de dois alimentadores, denominados por Vieira de magazines. Os dois magazines são iguais, possuindo capacidade máxima de doze itens. A Figura 4.2 ilustra uma imagem de um dos magazines.

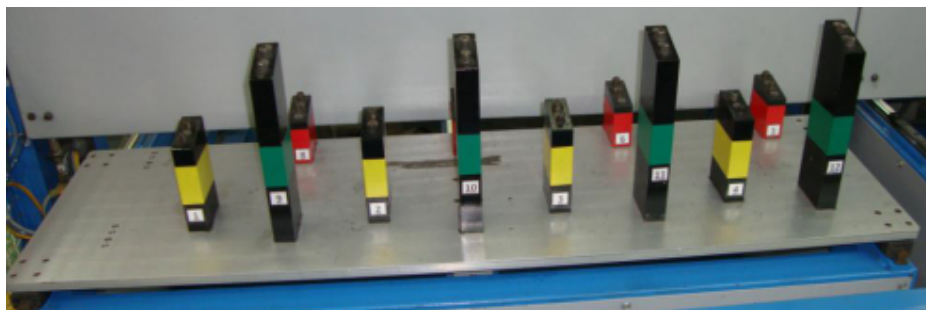


Figura 4.2 – Magazine utilizado para alimentar a célula. Fonte: Vieira, 2011.

Os doze itens são divididos em três grupos diferentes, identificados pelas cores verde, amarelo e vermelho. Cada cor representa uma etapa diferente que será realizado pelo robô. Existe uma ordem cronológica para o processamento dos doze itens: primeiro são processados os itens da etapa amarela, após os itens da etapa vermelha e por último os da etapa verde. Além disto, dentro de cada grupo o processamento dos itens também seguem um ordenamento, que vai da peça um /etapa amarela até a peça doze / etapa verde.

Em cada uma das doze posições é inserido um dispositivo desenvolvido para que o robô possa manipular as peças ao longo do processo. Os dispositivos utilizados em cada etapa são diferentes. A Figura 4.3 mostra um exemplo de uma pinça fixada no mesmo e o modo como é utilizado pelo robô.

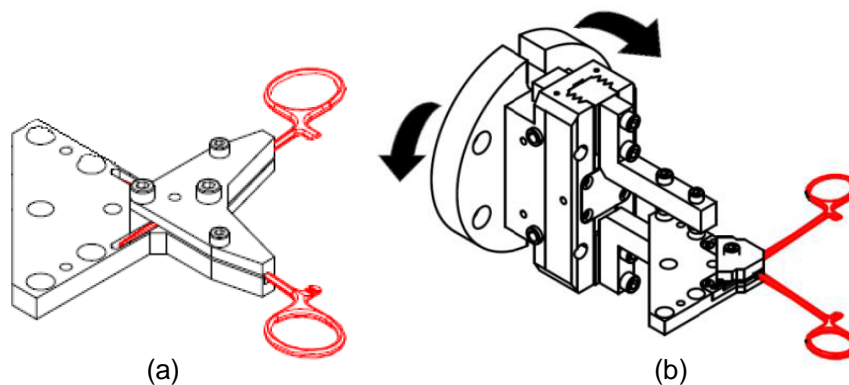


Figura 4.3 – (a) Dispositivo para manipulação de pinças pelo robô; (b) Robô manipulando dispositivo. Fonte: Vieira, 2011.

O robô é programado para processar todas as doze posições existentes nos magazines. Porém, os magazines podem não estar completos. Para evitar que o robô opere sem pinças nos dispositivos existe um sensor de presença na célula. O mesmo está indicado como V2.

Indicados por PR e CLP estão, respectivamente, o painel de interface homem-máquina da célula (IHM) e o controlador lógico-programável de todas as máquinas.

## 4.2. Abordagem do problema

### 4.2.1. Processo padrão

A célula de acabamento desenvolvida por Vieira, 2011, realiza o acabamento de uma ampla gama de produtos da empresa na qual foi realizado o estudo. Neste trabalho foi utilizado como padrão para simulações o processo feito em uma pinça cirúrgica do tipo *Halsted* Mosquito Reto 12 centímetros. Este instrumento foi escolhido como padrão por possuir grande representatividade dentro do volume de vendas da empresa (representa 3,25 % da produção total) e sua sequência de etapas dentro da célula é similar à maior parte dos outros instrumentos que tem representatividade dentro do volume de itens vendidos pelo fabricante.

O acabamento de uma pinça *Halsted* Mosquito Reto 12 centímetros é dividido em três etapas: ponta, olhais, canelas. Na Figura 4.5 estão indicadas as partes que compõem a pinça.

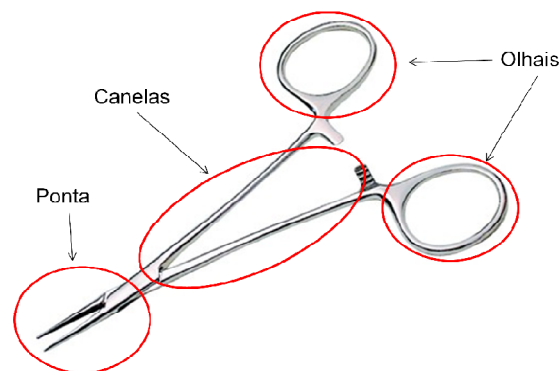


Figura 4.5 – Conjunto que compõem uma pinça *Halsted* Mosquito Reto 12 cm.

Na primeira etapa, identificada pela cor amarela, é realizado o polimento da ponta das pinças. Esta etapa segue o seguinte fluxo de acontecimentos:

1. O robô retira dispositivo com pinça do magazine.
2. Robô verifica a existência de pinça no dispositivo através de sensor V2.
3. Robô se desloca até a lixa 1 da máquina M1.
4. Ponta da pinça é lixada pela máquina.
5. Robô se desloca até a lixa 2 da máquina M1.
6. Ponta da pinça é polida pela máquina.
7. Robô se desloca até o magazine e deposita o dispositivo com pinça.

A descrição dos eventos da demais etapas (vermelho / olhais e verde / canelas) e do fluxo percorrido por uma pinça através da célula é apresentado no Anexo I.

### 4.2.2. Cronoanálise

Após o entendimento da lógica de processo utilizada pelo robô e, conseqüentemente, do funcionamento da célula, realizou-se uma medição dos tempos envolvidos em um ciclo produtivo. O ciclo de produção foi dividido em etapas conforme descrito na seção 4.2.1, que são basicamente compostas por deslocamentos do robô e execução de operações pelas máquinas.

Também foram medidos tempos que precedem as etapas amarela, vermelha e verde, mas que compõem o tempo de ciclo produtivo da célula. Estes tempos são compostos pelo deslocamento de entrada e saída dos magazines, que alimentam a célula com os itens a receber acabamento. Além disto, foram medidos tempos de processos que ocorrem simultaneamente a um ciclo de produção da célula. É o caso do intervalo que um operador leva para fixar as pinças em um magazine. Este processo é simultâneo a um ciclo produtivo, pois enquanto a célula trabalha com o magazine um, o operador realiza a fixação das peças no magazine 2 e vice-versa.

Com o entendimento do funcionamento da célula e os tempos de processos já mensurados, foi iniciada a criação de um modelo para simular o comportamento do sistema.

#### 4.2.3. Simulação

Com o objetivo de analisar o comportamento do processo e a viabilidade de soluções alternativas à proposta por Vieira, 2011, criou-se um modelo da célula de manufatura em um *software* de simulação por eventos discretos.

O modelo, que tem formato de fluxograma, foi construído baseado na sequência de eventos que ocorrem durante o ciclo produtivo. Este fluxograma é separado em duas partes, sendo uma parte responsável por simular o comportamento do operador da célula e outra por simular o comportamento da célula propriamente dita (robô mais máquinas operatrizes).

No *software* utilizado, os elementos “móveis” que compõem o sistema (operador, robô, pinças) são chamados de entidades. Somente as entidades percorrem o fluxograma.

O fluxograma que simula o comportamento do operador inicia com um bloco de criação de uma entidade descaracterizada. Essa entidade é criada no tempo zero da simulação. Em seguida, ela passa por um bloco responsável por caracterizá-la como operador e definir um atributo que irá ser utilizado para alternar o carregamento entre os magazines um e dois. O início do fluxograma do operador é mostrado na Figura 4.6.

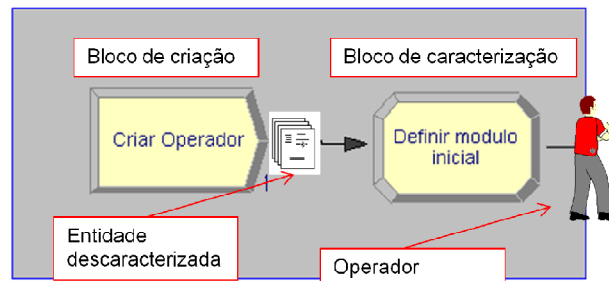


Figura 4.6 – Início do fluxograma do operador.

Na sequência, a entidade operador passa por um bloco de decisão. Neste bloco é determinado qual magazine o operador irá carregar em função do atributo definido previamente. Esse evento está representado na Figura 4.7.

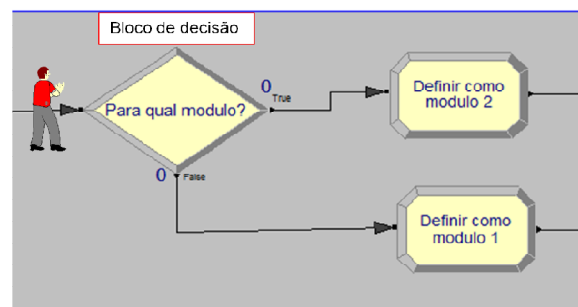


Figura 4.7 – Operador decide qual magazine irá carregar.

Em seguida, a entidade operador inicia o processo de carregamento do magazine. Este processo foi dividido em três etapas, referentes às etapas que uma pinça passa dentro da célula. As três etapas do processo de carregamento foram construídas de maneira idêntica. A única diferença existente entre elas é o tipo de pinça que o operador busca. Na primeira, o operador procura por pinças que estão iniciando o processo, que são as pinças que irão passar pelo processo de acabamento da ponta (etapa amarela). Na sequência, ele busca por pinças que já tiveram a ponta polida e agora aguardam para passar pelo processo de polimento dos olhais (etapa vermelha). Por fim, o operador busca as pinças que precisam passar pela etapa verde (polimento das canelas).

O fluxograma para essas operações inicia com um bloco de definição de atributo. É atribuído à entidade operador um atributo com o número máximo de pinças que ele irá carregar no módulo. Na situação inicial da célula, o número máximo de pinças para cada etapa é igual a quatro. No próximo passo, o operador passa por um bloco de decisão, que verifica o valor atual do atributo. Se ele for maior que zero, o operador avança no fluxograma em direção a um bloco de procura. O bloco de procura verifica a existência de pinças da etapa desejada no sistema. Caso não exista o tipo de pinça procurado, a entidade operador é direcionada para a próxima etapa do fluxograma. Se for encontrado o tipo de peça desejado, o operador é direcionado a um bloco de coleta. Nesse bloco o operador pega uma peça. Logo após esse bloco, o atributo com o número máximo de peças é reduzido em uma unidade. Após retirar quatro itens, o operador é direcionado para a próxima etapa do fluxograma. Essa parte do fluxograma é apresentada na Figura 4.8.

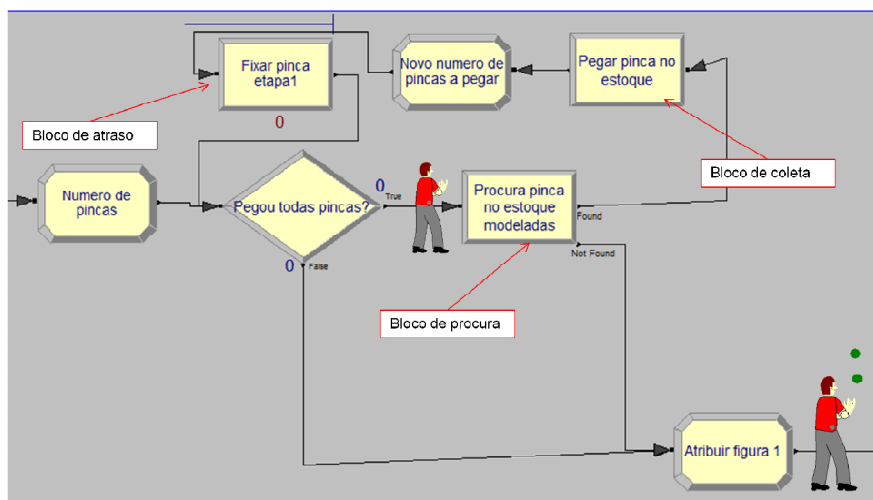


Figura 4.8 – Operador coletando pinças para fixar no magazine.

Na última etapa do fluxograma, o operador deposita as pinças que carregou em um dos dois magazines. As peças ficam em um bloco de estoque, que simula o magazine, esperando o robô iniciar o processo.

O operador passa então por uma parte do fluxograma que simula o tempo de deslocamento do magazine. Ele aguarda o robô chegar em sua posição inicial. Quando o mesmo chega ao ponto correspondente em seu fluxograma, o operador entra em um bloco de atraso. Nesse bloco, o operador aguarda o tempo correspondente ao deslocamento do magazine. Somente após este tempo, o operador passa por um bloco sinalizador, que envia um sinal ao robô liberando o início do ciclo de produção. Por fim, o operador retorna ao início de seu fluxograma para carregar o outro magazine.

Explicações sobre o restante do fluxograma e, principalmente, sobre o processo do robô, estão presentes no Apêndice I.

#### 4.2.4. Tecnologia de grupo

Com o intuito de propor uma melhoria no funcionamento do sistema, fez-se uma análise do mesmo utilizando como base a tecnologia de grupos. Foi realizada uma análise do fluxo de produção com o objetivo de obter possíveis agrupamentos de máquinas. Nessa análise é criada uma matriz de incidência peça-máquina, em que são relacionadas peças e máquinas onde as mesmas são processadas. No caso do processo estudado, as peças processadas são as mesmas (pinças cirúrgicas). Porém, cada etapa do processo (amarela, vermelha e verde) é independente da outra e podem ser considerados itens independentes para montagem da matriz. Após a montagem da matriz peça-máquina foi realizada uma análise de agrupamento, em que foram obtidas possíveis famílias de máquinas. Com os resultados obtidos foi proposta uma alteração de *layout* da célula.

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1. Cronoanálise, simulação e tecnologia de grupo

##### 5.1.1 Resultados obtidos com a cronoanálise

Os tempos médios encontrados para os eventos que constituem as diferentes etapas do ciclo de produção são apresentados nas tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4

Tabela 5.1 – Tempos médios: etapa amarela.

<b>Eventos etapa amarela (polimento da ponta)</b>	<b>Tempo médio (s)</b>
1. O robô retira dispositivo com pinça do magazine.	6
2. Robô verifica a existência de pinça no dispositivo através de sensor V2.	3
3. Robô se desloca até a lixa 1 da máquina M1.	2
4. Ponta da pinça é lixada pela máquina.	5
5. Robô se desloca até a lixa 2 da máquina M1.	3
6. Ponta da pinça é polida pela máquina.	7
7. Robô se desloca até o magazine e deposita o dispositivo com pinça.	6

Tabela 5.2 – Tempos médios: etapa vermelha.

<b>Eventos etapa vermelha (polimento dos olhais)</b>	<b>Tempo médio (s)</b>
1. Robô retira dispositivo com pinça do magazine.	6
2. Verifica a existência de pinça no dispositivo.	3
3. Robô se desloca até a máquina M1.	3
4. Parte interna do olhal é polido.	4
5. Robô se desloca até lixa 1 equipamento M2.	3
6. Parte externa do olhal é lixada.	13
7. Movimento do robô até lixa 2 da máquina M2.	4
8. Parte externa do olhal é polida.	5
9. Robô se direciona até máquina M4.	7
10. Olhal é polido pela máquina.	10
11. Robô se move até suporte V1 e troca posição com que agarra o dispositivo com pinça.	14
12. As etapas de 3 a 11 são repetidas para o outro olhal.	-
13. Robô avança até o magazine e libera o dispositivo.	6

Tabela 5.3 – Tempos médios: etapa verde.

<b>Eventos etapa verde (polimento das canelas)</b>	<b>Tempo médio (s)</b>
1. Robô retira o dispositivo com pinça do magazine.	6
2. É verificada a existência de pinça no dispositivo com o sensor V2.	3
3. Robô se desloca até a lixa 2 da máquina M1.	3
4. Canela é lixada pelo equipamento.	15
5. Robô se direciona ao suporte V1 e altera posição com que agarra o dispositivo.	14
6. Robô repete as etapas 3, 4 e 5.	-
7. O dispositivo com a pinça é liberado no magazine.	6

Tabela 5.4 – Tempo médio evento simultâneos.

<b>Eventos simultâneos ao tempo de ciclo</b>	<b>Tempo médio (s)</b>
1. Entrada/Saida do magazine na célula	7
2. Operador fixando uma peça no magazine	15

Com o resultado obtido para os eventos de cada etapa, observa-se, por simples soma dos tempos de cada evento que o tempo médio para execução de cada etapa em uma pinça é de 32 segundos para a etapa amarela, 141 segundos para a etapa vermelha e 79 segundos para a etapa verde.

#### 5.1.2. Resultados obtidos com a simulação e validação do modelo

Ao final das simulações com o modelo da célula, foi obtido um tempo total de ciclo de 1003 segundos. Considerando que célula produz quatro peças prontas por ciclo, a taxa de produção da célula obtida através da simulação foi de 251 segundos para cada peça. Em seu estudo, Vieira, 2011, obteve como tempo de ciclo 1032 segundos (equivalente a 258 segundos por peça). A diferença entre estes dois tempos de ciclo é de 2,81%. Essa diferença ocorre em função dos dados utilizados, provenientes de uma medição independente da realizada por Vieira, 2011. Assim, por se tratar de uma diferença pequena, a mesma faz parte do processo de simulação de um sistema e não impede que o modelo seja considerado adequado para representar a célula e aceite como base para comparações de resultados.

Além do tempo total de ciclo, o modelo proposto obteve resultados para a taxa de ocupação dos equipamentos M1, M2 e M4 utilizados. O conceito de taxa de ocupação utilizado pelo software é o quociente entre o tempo produtivo de máquina e o tempo de máquina disponível, que neste caso é equivalente ao tempo de ciclo de produção. Os resultados obtidos através de simulação para a taxa de ocupação por máquina são apresentados na Figura 5.1, cuja análise apresenta valores muito abaixo do observado em ambientes de produção convencionais, até mesmo considerando-se uma célula em que os movimentos associados ao processo de fabricação são executados por um único manipulador. Este efeito está diretamente associado ao número de deslocamentos realizados pelo robô, o tempo para realização destes deslocamentos e, principalmente, pelo fato de as peças não serem processadas simultaneamente.



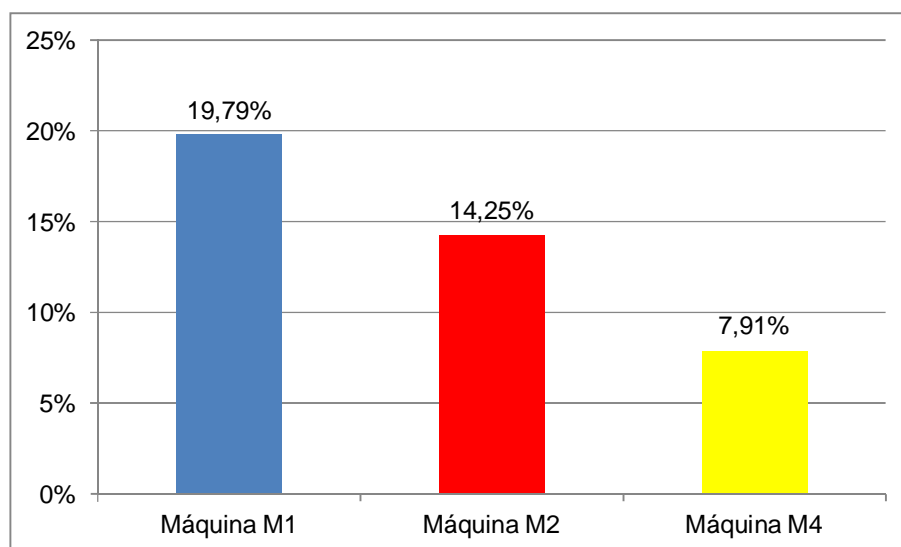


Figura 5.1 – Taxa de ocupação dos equipamentos da célula estudada.

### 5.1.3. Resultados da análise por tecnologia de grupo

Foi aplicada uma análise do fluxo de produção da célula estudada com o objetivo de encontrar possíveis agrupamentos de máquinas dentro do processo. A Tabela 5.5 e a Tabela 5.6 mostram, respectivamente, a matriz peça-máquina do processo atual e a matriz peça-máquina após análise de agrupamento, na qual foi utilizada a técnica de agrupamento por ordem de classificação, também conhecida como ROC (*Rank Order Clustering*).

Tabela 5.5 – Matriz peça-máquina do processo. Tabela 5.6 – Matriz peça-máquina agrupada.

Máquina	Etapa		
	1	2	3
M1	1	1	1
M2	0	1	0
M3	0	0	0
M4	0	1	0

Máquina	Etapa		
	1	3	2
M1	1	1	1
M3	0	0	0
M2	0	0	1
M4	0	0	1

A análise de agrupamento resultou em uma divisão entre os processos realizados pelas máquinas M1 e as máquinas M2 e M4, com exceção do processo executado pela máquina M1 na etapa dois, conforme pode ser observado na Tabela 5.6.

O resultado obtido corrobora com a elaboração de uma proposta de *layout* alternativo ao atual.

## 5.2. Proposta de alteração do funcionamento da célula e resultados

### 5.2.1. Alternativa de *layout* produtivo

A análise realizada através dos princípios da tecnologia de grupo permitiu a observação de uma divisão entre os processos realizados pela máquina M1 e as máquinas M2 e M4. A existência desta divisão implica a possibilidade de execução simultânea de etapas, visto que os processos realizados em cada máquina são totalmente independentes uns dos outros. Desta forma, as etapas foram divididas em dois grupos. As etapas de polimento da ponta (amarela) e polimentos das canelas (verde) foram agrupadas. A etapa vermelha foi dividida em duas: polimento da parte interna dos olhais (realizado na máquina M1) e polimento

da parte externa (realizado nas máquinas M2 e M4). O polimento interno dos olhais foi agrupado com as etapas amarela e verde, enquanto o polimento externo dos olhais formou outro grupo.

Foi desenvolvido um modelo para simulação da alternativa proposta. Este modelo foi criado com os mesmos parâmetros utilizados para a realização da simulação do processo atual, que foi considerado uma representação adequada com base nos dados de Vieira, 2011. No novo modelo, o processo foi dividido em duas células. Uma célula é composta por um robô, dois magazines com capacidade para doze peças e a máquina M1. Nesta célula são realizados o polimento da ponta, das canelas e da parte interna do olhal, o que justifica a utilização de dois magazines com doze posições (4 peças para cada etapa). A outra célula é composta pelo robô, dois magazines com capacidade para 4 peças e as máquinas M2 e M4.

Através dos dados obtidos na simulação anterior, foi observado que o processo realizado pela máquina M1 é mais longo do que o realizado pelas máquinas M2 e M4. Assim, foi determinado que as pinças devem ser processadas primeiro pela célula com as máquinas M2 e M4 e depois pela célula da máquina M1.

Para efeitos comparativos, os tempos de máquina e deslocamentos utilizados nesta simulação foram exatamente os mesmos utilizados para simular o comportamento atual da célula.

É importante ressaltar que a máquina M3 não compõe o processo da pinça *Halsted* Mosquito Reta 12 centímetros e seu posicionamento dentro das células não foi contemplado neste estudo, visto que o volume de peças que utilizam esta máquina no processo tem pouca representatividade frente ao volume de peças produzidas que seguem um processo similar ao da pinça padrão.

#### 5.2.2. Resultados obtidos para a alternativa proposta

A simulação realizada resultou em um tempo de ciclo de 574 segundos para a célula um (máquinas M2 e M4) e 631 segundos para a célula 2 (máquina M1). Como os dois ciclos ocorrem simultaneamente, o tempo de ciclo total do sistema de manufatura é equivalente ao tempo de ciclo da célula 2. Considerando que a cada ciclo são produzidas quatro pinças finalizadas, a taxa de produção é de 158 segundos por pinça. Comparado ao tempo de ciclo da situação atual, o novo é 37,10 % menor.

Também foi analisada a taxa de ocupação de máquina para cada equipamento no *layout* proposto. A figura 5.2 demonstra os valores obtidos na simulação.

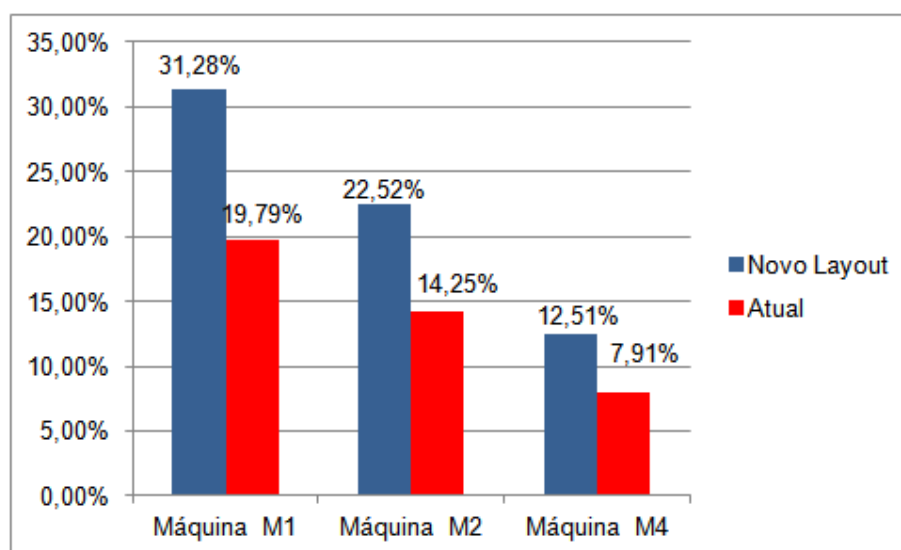


Figura 5.2 – Comparação das taxas de ocupação dos equipamentos nos diferentes *layouts*.

Quando comparadas as taxas de ocupação de máquina da célula original com a alternativa proposta, é observado um aumento de 11,50 %, 8,27 % e 4,60 % para as máquinas M1, M2 e M4, respectivamente. Como os tempos de máquina permanecem os mesmos para os dois casos, o responsável principal pelo aumento da taxa é a redução dos tempos de ciclo de produção, que correspondem aos tempos de disponibilidade de máquina. No entanto, o menor tempo de ciclo da célula 2 impede maior aumento das taxas de ocupação das máquinas M2 e M4. Este efeito pode ser reduzido através do desvio, para esta célula, de etapas realizadas na linha de produção artesanal, que ainda é utilizada uma vez que a produção da célula flexível em operação não atende à demanda pelo produto.

Os resultados provenientes da simulação realizada demonstram que a alternativa proposta resulta, comparativamente, em uma redução do tempo de ciclo de produção e, conseqüentemente, um aumento na taxa de ocupação dos equipamentos envolvidos. Também foi identificado durante o trabalho que o robô utilizado na célula em operação é superdimensionado para a aplicação proposta. Desse modo, a aquisição de um robô para a alteração proposta pode ser realizada com um equipamento de menor dimensão, rigidez e, conseqüentemente, menor custo. Além disso, a maior agilidade decorrente da redução de distâncias entre máquinas permitirá menores tempos de deslocamento, possibilitando resultados ainda melhores do que os obtidos através da simulação realizada.

## 6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada a análise de uma célula flexível de manufatura, na qual são realizados procedimentos de acabamento de instrumentos cirúrgicos, com o objetivo de propor uma melhoria de *layout* e, conseqüentemente, produtividade da mesma. Para isso, foram realizadas medições dos tempos produtivos da célula e, com base nestes, um modelo da mesma foi criada em um software de simulação por eventos discretos. A análise teve continuidade com a utilização de um método de agrupamento de máquinas proveniente da filosofia da tecnologia de grupo, que resultou na proposta de divisão da célula em dois grupos de máquinas. Essa nova proposta foi simulada utilizando os mesmos parâmetros de construção do modelo inicial, e uma comparação entre as simulações demonstrou que, com a divisão da célula em dois grupos de máquinas independentes, a taxa de produção passou de 258 para 158 segundos por peça, o que equivale a uma redução de 37,1 %. Também foram analisadas as taxas de ocupação dos equipamentos M1, M2 e M4, que obtiveram um aumento de 11,50 %, 8,27 % e 4,60 % respectivamente.

Desse modo, sob o ponto de vista produtivo, a alteração de *layout* proposta se mostra superior ao estado atual do processo. No entanto, a efetiva alteração de *layout* exige a realização de uma análise que envolva os custos referentes à aquisição de um novo sistema robótico, o que não fez parte do estudo realizado.

Por fim, sugere-se a realização de dois estudos como seqüência do trabalho desenvolvido. O primeiro está relacionado ao posicionamento da máquina M3 nas novas células, assunto que não foi abordado devido a falta de representatividade da máquina no processo. O segundo diz respeito ao custo de implementação de uma nova célula, que é necessário para garantir o retorno do investimento necessário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chiavenato, I., **“Introdução à teoria da administração”**, 3 ed. São Paulo: Mc Graw-Hill, 1983.

Dallery, Y. **“Large Scale Systems”**, 11ª edição, 1986.

DuPont, C., Gatelmand, R., **“A survey of flexible manufacturing systems”**, Manufacturing Systems, Vol. 1, 1982.

Filho, V. L. F., **“Acabamentos dos aços inoxidáveis”**, Acesita S.A,1997.

Groover, M. P., **“Automação industrial e sistemas de manufatura”**, 3ª Edição, 2008.

Holst, L., **“Integrating Discrete-Event Simulation into the Manufacturing System Development Process: a Methodological Framework”**, Tese de Doutorado, Lund University, 2001.

Huang, H., Chang, P., **“Specifications, modelling and control of a flexible manufacturing cell”**, International Journal of Production Research, 1992, p. 2515 a 2543.

Lima, L. L., **“Análise de falhas em instrumentais cirúrgicos metálicos”**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

Lorini, F. J., **“Tecnologia de grupo e organização da manufatura”**, Editora da UFSC, 1993.

Park, T. H., Lee, H. C., Lee, H.S. **“FMS design model with multiple objective using compromise programming”**, International Journal of Production Research, 2001, p. 3513 a 3528.

Teixeira, E. L. S., **“Desenvolvimento da unidade de gerenciamento de uma célula flexível de manufatura integrada a um sistema CAD/CAPP/CAM”**, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2006.

Vieira, S. D., **“Projeto conceitual de uma célula flexível de manufatura para acabamento de instrumentos cirúrgicos”**, Dissertação de Mestrado, UFRGS, 2011.

Yücel, N. D., **“Simulation of a flexible manufacturing system: a pilot implementation”**, Dissertação de Mestrado, Middle East Technology University, 2005.

## APÊNDICE

### A.1. Fluxograma do robô

O fluxograma que simula o comportamento do robô possui um início similar ao fluxograma do operador. Inicialmente, é criada uma entidade descaracterizada que em seguida passa por um bloco responsável por caracterizá-la como robô e definir quatro atributos: o atributo responsável por alternar o magazine no qual o robô irá trabalhar e três atributos que serão utilizados posteriormente para definir o número de vezes que o robô realizará o ciclo de cada etapa. Na situação atual da célula, o robô executa quatro vezes cada etapa (ponta, olhais, canelas).

A próxima etapa no fluxograma do robô corresponde a uma troca de informações com o operador. Ele aguarda o operador sinalizar que carregou um magazine, envia um sinal afirmando que está em sua posição inicial e em seguida aguarda a entrada do magazine na célula. Este processo aparece na Figura A.1.

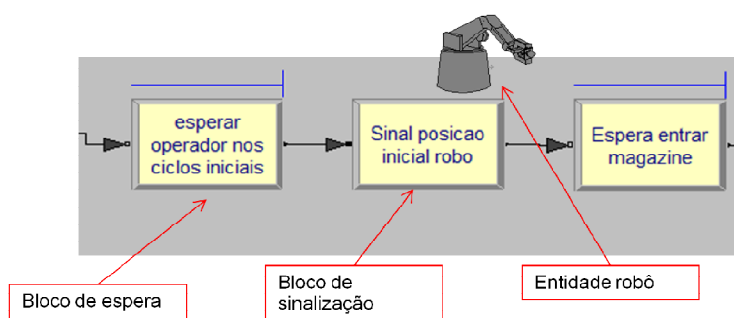


Figura A.1 – Robô troca informações com operador.

Em seguida o robô passa por um bloco de decisão (Figura A.2), que o direciona para iniciar o ciclo de produção em um dos magazines. Essa etapa de decisão foi sincronizada com a etapa de decisão do operador, de modo que o operador carregue sempre o magazine com o qual o robô irá trabalhar no seu próximo ciclo. Essa sincronia é importante para garantir o funcionamento da simulação.

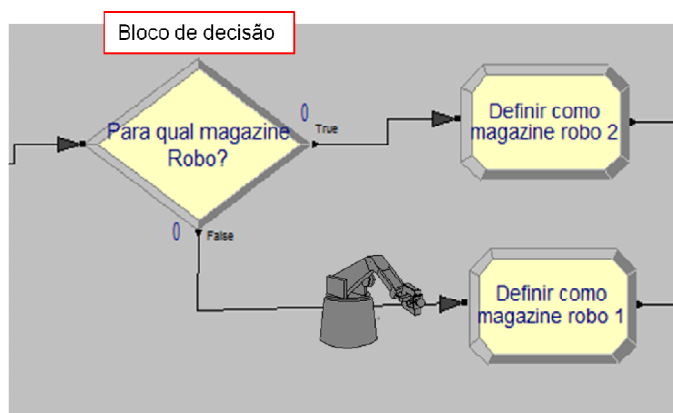


Figura A.2 – Robô verifica com qual magazine trabalhar.

Com a definição de qual magazine o robô irá trabalhar, inicia-se o ciclo de produção efetivamente. As três etapas de acabamento (ponta, olhais e canelas) seguem um fluxograma semelhante. Será utilizado como exemplo o fluxograma do processo de acabamento da ponta de uma pinça.

Na primeira parte do fluxograma correspondente ao ciclo de produção, apresentado na Figura A.3, o robô passa por um bloco de procura, em que é verificada a existência de uma pinça da etapa desejada (acabamento da ponta) no magazine. Nesse momento aparece uma bifurcação no fluxograma. O que irá definir qual caminho será seguido é o fato de o robô encontrar no magazine ou não a pinça procurada.

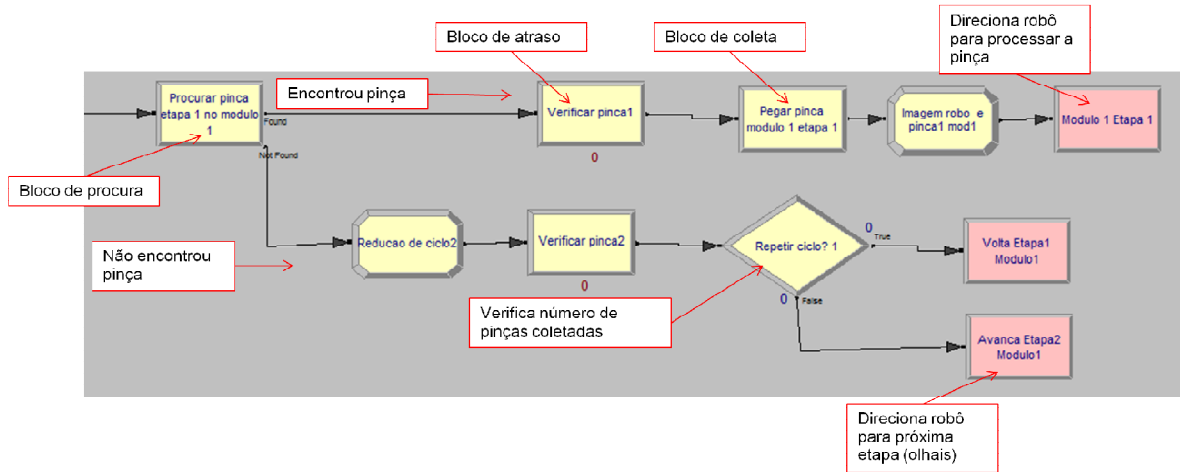


Figura A.3– Início do ciclo de produção do robô.

No caso de o robô não encontrar nenhum item no magazine, ele é direcionado para um caminho onde existe um bloco de atraso responsável por simular o tempo que o robô leva para verificar um dispositivo vazio e retorná-lo ao magazine. Após isto existe um bloco de decisão, que verifica o número de vezes que o ciclo foi realizado. Se menor que quatro, o robô é enviado para o início do ciclo. Se igual a quatro, o robô segue para a próxima fase (acabamento dos olhais).

Se a peça foi encontrada no magazine, o robô avança por um bloco de atraso. Esse bloco corresponde ao tempo necessário para o robô retirar um dispositivo com pinça do magazine e verificar se o mesmo contém uma pinça no sensor de presença V2. Após este atraso, o robô passa por um bloco de coleta, onde ele efetivamente retira a pinça do magazine.

O robô, juntamente com a pinça são então direcionados para a parte do fluxograma responsável pela simulação do processo de acabamento. Nessa fase foram utilizados dois tipos de blocos: atrasos e processos. Os blocos de atraso são responsáveis por simular os tempos de deslocamento do robô. Já os blocos de processo foram utilizados para simular os tempos de operação de máquina. Finalizando os deslocamentos e operações de máquina, o robô passar por um bloco de decisão, em que é verificado o número de vezes que o robô buscou um item no magazine. Se for menor que quatro, o robô volta ao início do processo. Se for igual a quatro, o robô passa para a próxima fase, que são as operações relacionadas ao acabamento dos olhais.

## A.2. Fluxograma das pinças

No modelo proposto para simular o comportamento da célula, as pinças não possuem um fluxograma próprio. Elas são o elo entre os fluxogramas do robô e do operador, fluindo entre os dois.

Assim como o robô e o operador, as pinças surgem no sistema através de um bloco de criação. Em seguida elas passam por um bloco responsável por caracterizá-las como pinças de etapa inicial, ou seja, pinças que não passaram por nenhum ciclo de operação da célula. Antes de entrar no fluxograma do operador, as pinças ficam posicionadas em um bloco de espera. Neste bloco elas aguardam até serem retiradas pelo operador e colocadas em um dos dois magazines. O fluxograma inicial das pinças é apresentado na Figura A.4.

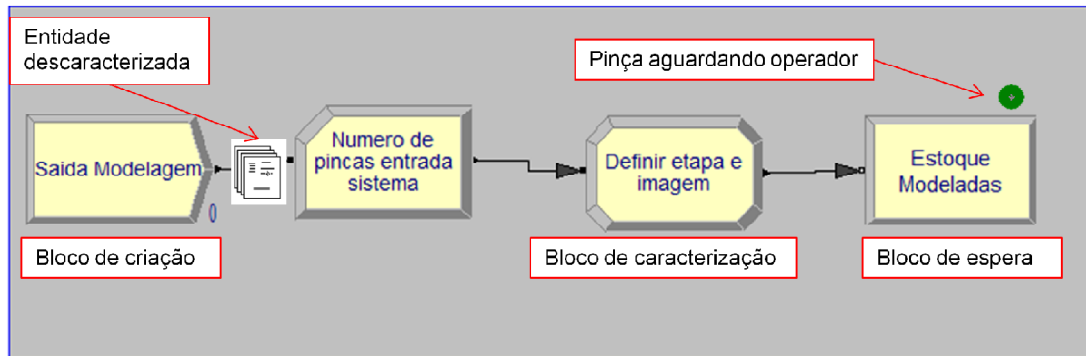


Figura A.4– Fluxograma inicial das pinças

Ao longo do fluxograma, as pinças são posicionadas nos dois magazines. Os magazines são simulados por blocos de espera, onde as pinças aguardam até que sejam retiradas.

Após passar por uma etapa de operação dentro da célula (ponta, olhais ou canelas), as pinças passam por um bloco de caracterização. Nesse bloco é atribuída à entidade que representa a pinça a informação sobre qual a etapa atual de manufatura da mesma.

## ANEXO

### B.1. Sequência de eventos para os processos de acabamento de olhais e canelas

O acabamento dos olhais é realizado na segunda etapa (cor vermelha) e segue o fluxo descrito abaixo:

1. Robô retira dispositivo com pinça do magazine.
2. Verifica a existência de pinça no dispositivo.
3. Robô se desloca até a máquina M1.
4. Parte interna do olhal é polido.
5. Robô se desloca até lixa 1 equipamento M2.
6. Parte externa do olhal é lixada.
7. Movimento do robô até lixa 2 da máquina M2.
8. Parte externa do olhal é polida.
9. Robô se direciona até máquina M4.
10. Olhal é polido pela máquina.
11. Robô se move até suporte V1 e troca posição com que agarra o dispositivo com pinça.
12. As etapas de 3 a 11 são repetidas para o outro olhal.
13. Robô avança até o magazine e libera o dispositivo.

Na última etapa, caracterizada pela cor verde, é realizado o polimento das canelas. Esta segue a seguinte ordem cronológica:

1. Robô retira o dispositivo com pinça do magazine.
2. É verificada a existência de pinça no dispositivo com o sensor V2.
3. Robô se desloca até a lixa 2 da máquina M1.
4. Canela é lixada pelo equipamento.
5. Robô se direciona ao suporte V1 e altera posição com que agarra o dispositivo.
6. Robô repete as etapas 3, 4 e 5.
7. O dispositivo com a pinça é liberado no magazine.

Em um ciclo completo da célula, o robô realiza quatro vezes cada uma das operações descritas acima seguindo a ordem: quatro vezes a etapa amarela, quatro vezes a vermelha e quatro vezes a verde.

### B.2. Sequência de produção para uma pinça

Apesar de as três etapas realizadas dentro da célula serem independentes, existe um ordenamento dos mesmos de modo a facilitar a operação da célula pelos colaboradores e garantir que cada pinça do lote irá passar por todas as etapas. Cada pinça de um lote produtivo deve passar primeiro pela etapa amarela, segundo pela etapa vermelha e, por último, na etapa verde.

O resultado disto é que em alguns ciclos produtivos realizados pela célula, os magazines não estão com sua capacidade máxima. Nos ciclos iniciais, não existem pinças nas etapas vermelha e verde. Nos ciclos finais, não existem pinças nas etapas amarela e vermelha.

É por esta razão que se justifica a existência do sensor de presença V2. Toda vez que o robô verifica um dispositivo no sensor e o mesmo acusa a falta de peça no dispositivo, o robô retorna para o magazine de origem e verifica o próximo dispositivo. Essa medida evita que o robô realize um ciclo de produção em vazio.