

## Arranjos job-shop: estudo comparativo de desempenho e proposta para a concepção de listas de roteiro aos funcionários

Chin Shih<sup>1</sup>, [sychin@sc.usp.br](mailto:sychin@sc.usp.br)

Hilano Carvalho<sup>1</sup>, [hilanocarvalho@yahoo.com.br](mailto:hilanocarvalho@yahoo.com.br)

Eduardo Filho<sup>2</sup>, [evila@sc.usp.br](mailto:evila@sc.usp.br)

Arthur Porto<sup>2</sup>, [ajvporto@sc.usp.br](mailto:ajvporto@sc.usp.br)

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo (USP), Doutorado em Engenharia Mecânica, São Carlos, SP, Brasil

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo (USP), Depto de Engenharia Mecânica, São Carlos, SP, Brasil

\*Recebido: Dezembro, 2008 / Aceito: Janeiro, 2009

### RESUMO

*O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo comparativo de desempenho entre os arranjos job-shop, trabalhando-se com os critérios de seleção de recursos envolvidos na produção da peça (programação da produção). Os resultados são obtidos a partir da modelagem e simulação em Redes de Petri colorida e então os arranjos são comparados entre si. Além disso, este propõe um procedimento para a elaboração de listas de roteiros aos funcionários para que os critérios de seleção de recursos pré-estabelecidos possam ser aplicados numa empresa real.*

**Palavras-Chave:** Análise de Desempenho. Seleção de Recursos. Arranjos Job-Shop. Listas de Roteiro.

### 1. INTRODUÇÃO

Os layouts funcionais são geralmente empregados para atuarem na produção de uma alta variedade e baixa quantidade de peças. Porém, o grande problema deste layout é a alta locomoção de peças entre as máquinas.

Montreuil et al. (1991) espalham as máquinas do layout funcional justamente para resolver o problema de alta locomoção de peças, permitindo assim que diferentes tipos de máquinas estejam mais próximos entre si. O resultado do espalhamento de máquinas também recebe no nome de layout distribuído. A literatura apresenta formulação matemática baseada em QAP (Quadratic Assignment Problem) para este tipo de layout (Benjaafar & Sheikhzadeh, 2000; Kusiak & Heragu, 1987) para a contabilização do fluxo entre máquinas. QAP também pode ser adaptado para realizar estudos sobre realocações de máquinas ao longo do tempo (Lahmar & Benjaafar, 2005 e Kochhar & Heragu, 1999).

QAP trabalha da seguinte forma: Este considera que existe um conjunto de  $m$  facilidades (máquinas) a serem alocadas em  $n$  locais e o desempenho avaliado é uma

função-objetivo de maximização ou de minimização. Geralmente deseja-se avaliar a relação entre o posicionamento das máquinas nos locais que resulte em menor deslocamento e, portanto, a função-objetivo é de minimização. Este fluxo é obtido ao conhecer as operações e os lotes de cada peça. Como existem várias combinações de  $m$  e  $n$ , o menor dos fluxos é a solução.

Recentemente, alguns trabalhos fazem comparações de desempenho entre os layouts distribuídos e funcionais, implementando QAP em códigos de programação. Dentre os trabalhos, pode-se citar Benjaafar & Sheikhzadeh (2000). Estes autores apresentam resultados comparativos para layouts de pequeno porte ( $\approx 40$  máquinas), e verificaram que o parcialmente é o que apresenta melhores resultados em comparação aos layouts funcional e aleatoriamente distribuído, e se aproxima muito do resultado do maximamente distribuído. Júnior & Filho (2007) também apresentam resultados comparativos, agora considerando a questão da flexibilidade de processamento, ou seja, sem obedecer a uma seqüência rígida de processamento. As peças com flexibilidade podem ser obtidas usando códigos de programação. Estes autores verificaram que o maximamente distribuído apresentou melhores resultados em relação aos demais. Todos os trabalhos consideram o desempenho baseado em fluxo entre máquinas. Quanto menor o fluxo, menor o custo operacional relacionado ao deslocamento.

De acordo com Ham et al. (1985), minimizar a distância percorrida entre máquinas não implica necessariamente em minimizar o tempo de consolidação do pedido. O que de fato acontece é que durante o funcionamento de uma empresa, muitos recursos acabam entrando em conflito e dependendo da forma de como são escolhidos, podem acabar incrementando no tempo de produção da peça. A escolha dos recursos muitas vezes é baseada em variáveis que alteram de valor durante o funcionamento de uma empresa, tais como tamanho de fila, o tempo de chamamento dos transportadores para a realização do transporte de peças semi-acabadas, etc... e estes não podem ser estimados usando apenas códigos de programação.

Algumas formulações matemáticas estão apresentadas em Benjaafar (1998) para se estimar variáveis tais como o tamanho de filas, flutuação do WIP (Work-In-Progress) e este autor também avalia os seus impactos no lead-time para um layout flexível genérico. Além disso, avaliou-se o desempenho do layout analisado atuando sob diversas condições de operação, tais como alteração da velocidade de percurso entre máquinas, alteração dos tempos de processamento. Mas o próprio autor reconhece das dificuldades e necessidades de realizar constantes reformulações matemáticas em cada instante de tempo e principalmente de recálculos. Outra alternativa para se estimar essas variáveis é trabalhar com modelos de simulação.

Como toda programação da produção é realizada pelo modelo de simulação (portanto só este conhece a rota a ser percorrida pelas peças), é necessário agora estabelecer uma série de diretrizes na parte operacional, informando aos funcionários onde eles devem dirigir-se para que a execução da peça possa ocorrer conforme o que foi programado. A diretriz abordada neste artigo é gerar listas de roteiros aos funcionários, obtidas a partir do modelo de simulação.

Este artigo, portanto, apresenta resultados do modelo de simulação (em Redes de Petri Colorida), cujo parâmetro medido é o tempo de consolidação dos pedidos. Além disso, este compara os desempenhos de cada um dos tipos de layout job-shop variando-se os critérios de seleção e considerando a flexibilidade de processamento de peças. Este também propõe um procedimento para a geração de listas de roteiro aos funcionários para que a programação definida pelo modelo de simulação seja implementada durante o funcionamento do sistema real.

## **2. DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA EMPRESA**

Independente se o projeto de layout tem a finalidade de melhorar o desempenho de uma empresa existente ou inexistente, basicamente são necessárias informações de demanda de cada tipo de peça e este nada mais é do que coletar os pedidos fornecidos

pelos clientes. Assim, o número de máquinas pode ser dimensionado (caso a empresa ainda não exista) e espalhado no chão de fábrica. Em ambos os casos, os pedidos dos clientes também podem ser gerados usando códigos de programação.

Este trabalho leva em consideração a flexibilidade de processamento das peças, ou seja, a seqüência de processamento não segue uma seqüência rígida. Isso quer dizer que para obter uma peça, ela pode ser feita de várias maneiras.

Considere o exemplo da Figura 1. Ela apresenta um esquema de diagrama de precedência de uma única peça, onde as letras representam os tipos de máquinas. A Tabela 1 apresenta as possíveis seqüências de processamento formadas a partir do esquema da Figura 1, que ao todo são 12 seqüências possíveis.

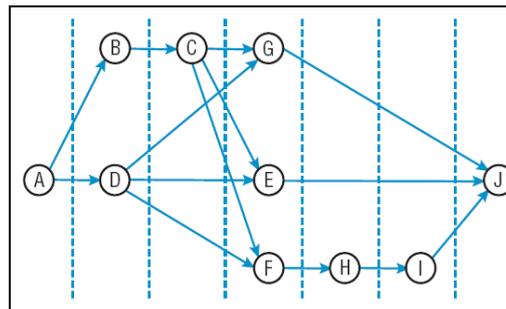


Figura 1. Exemplo de um diagrama de precedência. (Fonte: Filho & Júnior, 2006)

Tabela 1. Possibilidades de processamento da peça. (Fonte: Filho & Júnior, 2006)

ABDCEFGHJK	ABDCEFGHJK	ABDCEFGHJK
ABDCEGFHJK	ABDCEGFHJK	ABDCEGFHJK
ABDCFGEHJK	ABDCFGEHJK	ABDCFGEHJK
ABDCFEGHJK	ABDCFEGHJK	ABDCFEGHJK

Filho & Júnior (2006) apresentam um procedimento computacional para a geração de peças com flexibilidade de processamento das peças. E dentre os trabalhos referentes aos layouts distribuídos, apenas Júnior & Filho (2007) consideram flexibilidade de processamento na avaliação de desempenho dos arranjos job-shops, cujo parâmetro medido é a distância percorrida pelas peças, porém não é o tempo de consolidação dos pedidos. Isso quer dizer que muitas informações que se alteram ao longo do funcionamento da empresa não foram levadas em consideração.

A Figura 2 apresenta a vista superior de uma empresa fictícia, composta pelos locais 1, 2 e os demais (em quadrado) são representações por onde as máquinas serão alocadas. Assim que os pedidos chegam à fábrica, recebidos em local 1 (ou L1), os funcionários então já sabem quais matérias-primas necessárias e quais tipos de máquinas que eles devem alcançar. Saber qual máquina alcançar não significa necessariamente que já se conheça a réplica. Mas isso será discutido mais adiante.

Para levar as caixas contendo matérias-primas às máquinas para a fabricação de peças dos pedidos, deve-se separá-las conforme a carga do transportador usado. Deve-se colocar apenas um tipo de peça em cada caixa, não havendo, portanto, mistura de tipos de peças em uma única caixa. Toda esta tarefa de colocar as caixas nos transportadores e levá-las às máquinas é realizada pelos funcionários denominados de tipo 1, levando consigo carrinhos manuais (também denominados de transportadores iniciais). Ao atingir a máquina desejada, faz-se o descarregamento da caixa e então repete o mesmo procedimento de chegar em outra máquina para a realização do descarregamento de caixas até que se tenha esvaziado todo carrinho manual. É importante ressaltar que enquanto o transportador 1 não tiver completado a carga para iniciar o percurso em L1, o segundo transportador 1 não deve iniciar o carregamento porque este último nem sequer conhece os lotes de peças que serão

por ele conduzidos. Mas caso os dois estiverem sido preenchidos, pode sim ter situações em que realizam a entrega da matéria-prima ao mesmo tempo.

No local onde foi realizado o descarregamento da matéria-prima para a produção da peça desejada, existe um outro funcionário, denominado de funcionário tipo 2, que é responsável pela produção da peça em si. Este faz a retirada da peça dentro da caixa e executa o processamento. Todas as máquinas trabalham com blocos de ferramentas (conjunto de ferramentas acopladas na máquina) e assim, antes do início de processamento, se a ferramenta solicitada não estiver neste bloco, faz-se a troca de ferramental. Este tipo de funcionário permanece sempre estacionado nas máquinas e fica responsável apenas pela única máquina da fábrica.

Após o processamento, o lote de peças semi-acabadas é colocado novamente nas caixas aguardando a chegada de outro funcionário que é responsável apenas pela coleta de peças semi-acabadas.

O funcionário responsável pela coleta de peças semi-acabadas (também denominado de funcionário tipo 3) leva sempre consigo um carrinho (transportador intermediário). Ambos não se separam e estes inicialmente já se encontram nas próprias máquinas. Isso quer dizer que o local onde ele se encontra pode existir tanto peças semi-acabadas como também pode ser necessário realizar a locomoção até uma outra máquina que o solicitou. Assim que estiver na máquina que tenha caixa contendo peça semi-acabada, faz-se a coleta e entrega à máquina seguinte para dar continuidade ao processamento. Considerou-se que este remove uma caixa por vez.

Local 2 (ou L2) é lugar de destino para as peças recém fabricadas e é onde são embaladas e prontas para o despacho. Neste local existe um outro funcionário, denominado de tipo 4. Este leva consigo um outro carrinho (transportador final) para a coleta de caixas contendo peças acabadas. Assim que atinge a sua capacidade de carregamento, retorna ao L2, caso contrário dá continuidade à coleta. É possível que a coleta não tenha sido completado por causa da capacidade de carregamento e portanto um segundo funcionário leva um outro transportador vazio e dá continuidade à coleta, porém nem sempre continuando de onde o anterior parou. É importante lembrar que este tipo de carrinho em nada difere fisicamente aos transportadores inicial e intermediário, apenas exercem papéis diferentes no chão de fábrica.

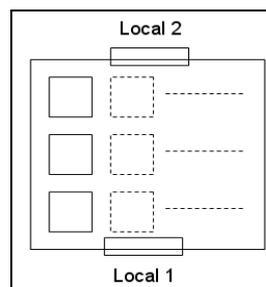


Figura 2. Vista superior da fábrica.

A Tabela 2 mostra, um exemplo de separação de pedido adotada neste trabalho. Para a realização da separação dos pedidos, deve-se levar em consideração o tamanho dos lotes das peças, os pesos individuais de cada uma e a carga do transportador utilizado. Como o PCP já conhece os pesos de cada peça, basta ao funcionário, responsável pelo recebimento dos pedidos da fábrica, inserir as informações que automaticamente o sistema PCP faz esta divisão. O sistema PCP também fornece as seqüências de operação da peça conforme solicitado no pedido. Por estar trabalhando com flexibilidade, isso quer dizer que a seqüência de operação da peça pode ser executada em ordem diferente, dependendo do que o sistema PCP gerar.

No lado esquerdo da Tabela 2, estão os códigos das peças e o restante corresponde as suas operações e ferramentais a serem usadas no processamento da peça. Portanto, se

estiver representado como sendo 72, por exemplo, significa que a máquina escolhida é do tipo máquina 7 de ferramental tipo 2. O código 0 indica a separação dos pedidos por transportador e 101 representa a finalização dos pedidos. O primeiro transportador tipo 1 deve preencher o carrinho com matérias-primas das peças de códigos 1 até 9 e o segundo transportador, código 9 a código 8 e assim por diante. Neste caso, considerou-se que os lotes são separados por transportador para melhor aproveitamento da carga deste. Caso preferir evitar separação dos lotes, tem-se menos aproveitamento de viagem por transportador, mas ganha benefício em minimização de setups em máquinas. Cabe ao decisor definir qual melhor opção.

As peças dos pedidos são separadas conforme a ordem de chegada dos pedidos, sem se preocupar com a ordenação delas. Ao preencher o carrinho com caixas, onde contêm peças, o funcionário tipo 1 inicia a entrega partindo de L1 e deve atingir a máquina tipo 8 para o início de processamento da peça código 1.

Como ainda existem caixas a serem entregues em outras máquinas, deve partir da máquina 8 e atingir uma máquina do tipo 2 para o processamento da peça código 87, e assim por diante. Note que única informação importante ao funcionário tipo 1 no momento da entrega de matéria-prima é a primeira operação de cada peça.

Tabela 2. Representação genérica da divisão dos pedidos por carga do transportador.

Cód. Peça	Operações / ferramental									
1	81									
87	24	47	24	62	49	62	43	61	62	
28	72	24	72	21	64	48	46	81	48	
32	25	32	24	81	32	64	92	56		
38	91	75	53	54	56	74	51	13		
9	41	58	62	21	13	98	42	61		
0										
9	41	58	62	21	13	98	42	61		
15	13	62	31	96						
21	23	47	46	12						
4	21									
8	72	73								
101										

Já ao funcionário tipo 2, é importante que ele apenas conheça o tipo de ferramental a ser usado. Ao funcionário tipo 3, é necessário conhecer as máquinas em cada etapa para então saber onde este deve realizar a entrega de caixas contendo peças semi-acabadas. E por fim, ao funcionário 4 não precisa de nenhuma informação desta tabela, porque a coleta é baseada na máquina que tenha peças acabadas.

### 3. CRITÉRIOS DE ALOCAÇÃO DE TAREFAS/ROTEIRO

Durante o pleno funcionamento de uma empresa, é comum vários recursos serem solicitados por várias partes da empresa ao mesmo tempo. Por exemplo, em um certo momento, uma máquina solicita um transportador intermediário, porém este não está disponível. Após um certo período t, tal transportador ficou disponível, porém agora são duas máquinas solicitando ao mesmo tempo. Pode-se notar que existe uma disputa entre as máquinas pelo mesmo transportador. A questão é qual máquina deve ser priorizada para que se obtenha no final da execução de todas as peças o melhor desempenho? Na prática são várias outras disputas entre vários outros recursos. Portanto, a principal questão a responder é definir qual a melhor combinação entre os critérios que se resulte no melhor desempenho operacional.

Após a descrição do funcionamento da empresa, é possível descrever os principais recursos utilizados e quais as disputas mais frequentes. Gupta (1999), Subramaniam et al. (2000) e Sawik (1995) apresentam um conjunto de critérios possíveis de serem

implementados numa fábrica para a escolha de peças, máquinas, etc,... porém nem todos podem ser aplicados, porque dependem do sistema produtivo estudado. Dessa forma, antes de aplicar tais critérios, deve-se discutir aqueles mais adequados.

De acordo com Ham et al. (1985), os maiores componentes do tempo total de produção da peça são os de deslocamento (relacionado às posições das réplicas das máquinas) e espera em fila. Portanto, os critérios adotados neste trabalho são construídos fundamentados nesses dois componentes.

Inicialmente a própria matéria-prima não deixa de ser um recurso usado diretamente na produção da peça. Considerou-se que existam matérias-primas suficientes no L1 para serem transportadas às máquinas. Também adotou-se a hipótese de que existe um número ilimitado de transportadores iniciais, de funcionários tipo 1 e caixas. Assim, para este caso, não existe nenhuma disputa.

Ao encher o transportador inicial, este deve atingir às máquinas. Quando houver várias réplicas da máquina solicitada livres, então as máquinas passam a disputar o transportador (podendo ser transportador inicial quanto transportador intermediário, considerando que a empresa está em pleno funcionamento). Caso todas as máquinas estiverem ocupadas, os transportadores (inicial e intermediário) é que passam a disputar as máquinas.

Resumindo, as réplicas da máquina solicitada só podem ser encontradas em dois estados possíveis: livres ou ocupadas. Se apenas uma estiver livre, a peça é imediatamente processada. Se existir mais de uma máquina livre, escolher a mais próxima da peça. Se estiverem ocupadas, existem várias situações: Ou a peça aguarda na máquina onde recebeu o último processamento e só se direciona à primeira máquina que ficar disponível; ou a peça se direciona à máquina mesmo sabendo que ela ainda está ocupada e escolhe aquela de menor fila ou de maior proximidade.

Ao descarregar a matéria-prima da peça (ou peça semi-acabada) na máquina, se ela é única, acontece o processamento. Caso houverem mais peças em fila, acontece a disputa entre elas pela máquina. Pode-se priorizar as peças com menor tempo de processamento, ou então peças que estejam já nas últimas operações, mas sob o ponto de vista operacional não seria tão prático, isso porque o funcionário tipo 2 teria que fazer a busca dos históricos de peças em processamento no sistema PCP das que estão em fila. Considerou-se adequado apenas adotar FIFO (Fisrt-In-First-Out), independente, portanto, do estado em que a peça se encontra.

Ainda com relação à etapa de processamento, existe disputa entre vários tipos de máquinas para a chamada dos funcionários tipo 2. Assim, este sairia de onde se encontra e se dirige à máquina que o solicitou. Adotou-se neste trabalho que o número de funcionários seja igual ao número de máquinas e cada um fica responsável pela única máquina. Assim, se houverem 45 máquinas, existem também 45 funcionários tipo 2.

Após o processamento, podem existir várias possibilidades para o chamamento de transportadores intermediários. Se houvesse apenas uma caixa de peças semi-acabadas e vários transportadores livres, o transportador mais próximo é chamado. Assim como também podem estar todos ocupados e assim que o primeiro ficar livre este é imediatamente solicitado. Se houvessem várias caixas de peças semi-acabadas e apenas um transportador livre, este se dirige à máquina que tenha peça mais próxima (recaindo em uma das duas situações comentadas anteriormente). Se houvessem várias peças semi-acabadas / acabadas e vários transportadores livres, também recaem em uma das duas situações.

Assim que o transportador intermediário chega à máquina que o requisitou, este faz a coleta de apenas uma única caixa, removendo aquela em fila conforme FIFO.

Ainda com relação ao pós-processamento, existe também o chamamento de transportadores finais quando existem peças acabadas nas máquinas. Se houver apenas uma máquina com peças acabadas, então o transportador faz a coleta dela apenas e

retorna ao L2. Caso houverem várias máquinas com peças acabadas, então existe disputa entre as máquinas pelo transportador. O transportador então pode trabalhar de várias formas:

A primeira é escolher as peças mais próximas. Se ainda houver capacidade de carregamento, continua a coleta de peças de máquinas mais próxima. Porém pode-se ter empate, ou seja, pode-se ter dois ou mais máquinas de mesma proximidade. Se este for o caso, escolhe-se a de maior fila.

Uma outra é escolher as máquinas com maiores filas. Se houver empate entre os tamanhos de filas, escolhe-se a mais próxima.

Antes de partir de L2, também existe disputa entre os transportadores pelas peças acabadas. Considerou-se que existam infinitos transportadores e estes partem uma de cada vez e portanto não existem disputas. Ou seja, enquanto o anterior transportador final não tenha voltado da viagem, o posterior não deve partir. Considera-se que existam também números infinitos de funcionários tipo 4.

Se porventura, durante a coleta, a capacidade do transportador final tenha sido atingida, antes mesmo deste retornar ao L2, um outro transportador já parte para a coleta de peças nas máquinas, não necessariamente continuando a coleta a partir de onde o transportador anterior parou, porque depende do critério adotado.

As Figuras 3 a 7 ilustram resumidamente os critérios possíveis de serem trabalhados.

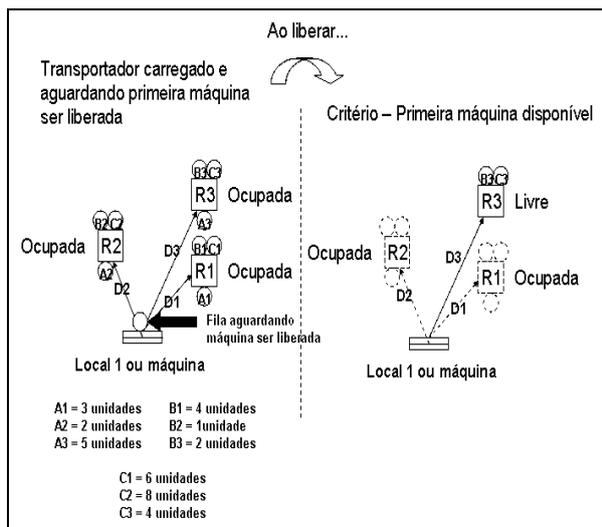


Figura 3. Máquina Disponível (MD).

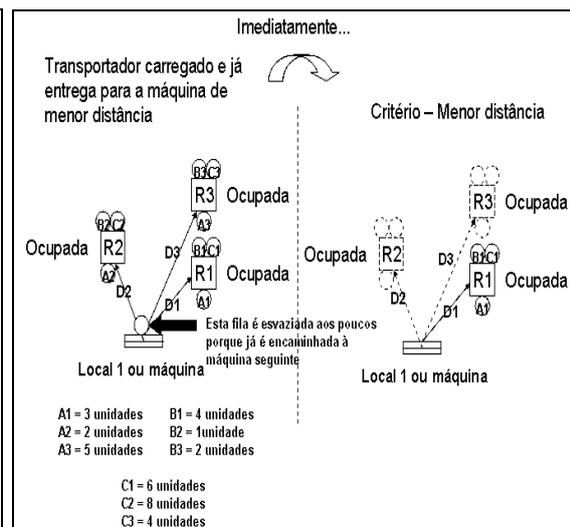


Figura 4. Máquina mais Próxima (MP).

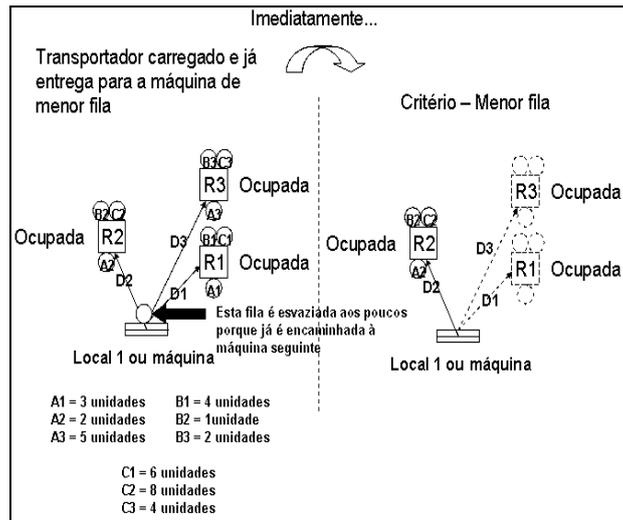


Figura 5. Máquina de menor Fila (MF).

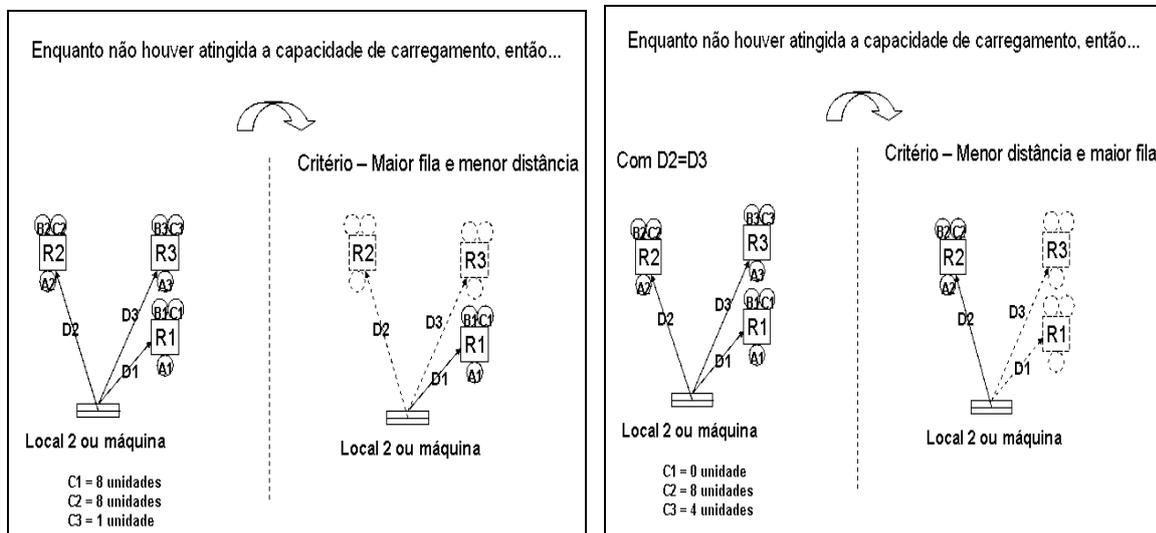


Figura 6. Maior Fila e Menor Distância (MFMD). Figura 7. Menor Distância e Maior Fila (MDMF).

#### 4. DADOS USADOS NA SIMULAÇÃO DO MODELO

Todos os critérios apresentados no tópico anterior foram implementados em um modelo de simulação em Redes de Petri colorida. Por dia, a fábrica recebe pedidos de 20 clientes, sendo que são 40 tipos de peças por pedido. Considerou-se que as peças não tenham mais do que 10 etapas de processamento, sendo que o processamento em cada máquina varia de 1 a 100s. Os pesos de cada peça variam de 0,1 a 10kg. Em cada caixa é capaz de transportar até 30kg, independente do formato físico das peças. Os lotes de cada peça variam de 1 a 3 unidades. Existem ao todo 30 tipos de máquinas e ao fazer o dimensionamento, resultou em 42 máquinas (sendo portanto 42 funcionários tipo 2). Todas as máquinas trabalham com blocos de ferramentas, podendo acoplar quatro ferramentais diferentes ao mesmo tempo, dentro de um total de nove tipos. Caso haja necessidade de efetuar setup de ferramental, considerou-se que o funcionário tipo 2 gasta em torno de 60s. Os tempos de carregamento e esvaziamento de caixas nos transportadores foram considerados 5s. Adotou-se também que existam 2 funcionários tipos 3 já espalhados nas máquinas. Não se pode aumentar muitos funcionários, senão o desempenho de um funcional se torna similar ao de um layout distribuído.

Ao receber os pedidos, o sistema PCP seleciona um processamento (de um conjunto dos possíveis processamentos por causa das diferentes ordens de processamento de cada peça-flexibilidade) para cada peça e separa os pedidos, conforme discutido anteriormente. Para que outros processamentos de uma mesma peça tenham a mesma chance de serem selecionados pelo sistema PCP, deve-se gerar vários pedidos deste mesmo tamanho (20 clientes e 40 tipos de peças). Adotou-se 30 vezes.

Durante a modelagem, também considerou-se a questão do impacto do peso das peças na velocidade dos transportadores. Por exemplo, à medida que ocorre o descarregamento das matérias-primas, o carrinho reduz o peso de carregamento e conseqüentemente a velocidade tende ao valor da velocidade de descarregamento. Este impacto pode ser visto na expressão (1):

$$Fator\_V = 0,75 + 0,25 \left( \frac{Carg\ máxima\ admissível - Carg\ a[kg]}{Carg\ a\ máxima\ admissível} \right) \quad (1)$$

Assim, este fator multiplicado pela velocidade do transportador descarregado resulta em velocidade atual do transportador. A carga máxima admissível representa a carga máxima permitida. Para este trabalho, considerou-se que a carga máxima seja de 60kg (para todos os transportadores) e a velocidade do transportador descarregado varia conforme uma distribuição uniforme de (0,75; 1,00; 1,25) m/s.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das variações dos tamanhos das filas podem ser informações importantes de serem ilustradas, porém estes já fazem parte no próprio tempo de consolidação dos pedidos.

O Anexo I apresenta as possíveis combinações dos critérios adotados neste trabalho. Já no Anexo II estão apresentados (em segundos) os resultados médios da simulação para um layout de tamanho 42 máquinas, de configuração 6x7, ou seja, 6 linhas e 7 colunas. Além disso, para cada critério, foram gerados 20 amostras de cada layout. A questão sobre outras possibilidades de configuração de layout não será abordada neste artigo.

Em média, os resultados do maximamente distribuído são melhores que os demais distribuídos e também são melhores em relação ao funcional. Entre aleatoriamente e parcialmente distribuídos, também em média são melhores que o funcional, e o desempenho dos dois se intercalam. Dependendo do critério adotado, o funcional também pode se superar em comparação ao aleatoriamente e parcialmente distribuídos.

Pelos resultados, pode-se notar claramente que a melhoria de um sistema produtivo não é fundamentada apenas no espalhamento das máquinas, mas também é importante a parte operacional, definindo sobre como os recursos devem se interagir (critério de seleção de recursos), porque os ganhos podem ser bem significativos.

## 6. ROTEIRO DE PERCURSO DOS FUNCIONÁRIOS

Até o presente momento, é possível obter a melhor combinação dos critérios para cada layout. Cabe ao decisor escolher qual melhor layout a adotar. O passo seguinte é informar aos funcionários sobre como eles devem percorrer no chão de fábrica para que os critérios adotados sejam implementados com sucesso. Isso porque até agora apenas o modelo de simulação tem todas as informações das posições dos transportadores durante a execução das peças dos pedidos.

Existem dois métodos: O primeiro é executar o modelo e assim solicitar à este que informe todas as posições dos transportadores e os estados em que estes se encontram (carregado ou descarregado). Por este método, a fábrica é obrigada a receber todos os pedidos antes da execução. A desvantagem é o elevado tempo para realizar a modelagem

bem como para realizar a execução do modelo. Para se ter idéia, um único resultado do Anexo II dos 72 resultados referentes aos 18 (critérios) x 4 (layouts) demanda cerca de 8 horas em um processador intel celeron 1.6GHz, memória de 512mb. Todavia, a vantagem é que não exige dos funcionários nenhum treinamento específico porque basta à estes que sigam um roteiro descritos em listas, afinal toda questão das disputadas já foram analisadas pelo modelo de simulação. Já a segunda é trabalhar com banco de dados, onde constam todas as informações do chão de fábrica. Assim o funcionário acessa o banco de dados e a decisão é tomada conforme os pedidos chegam à fábrica (não é necessário receber todo pedido). O problema deste método é que exige dos funcionários certo treinamento para trabalhar com banco de dados, pois é necessário atualizar constantemente as informações onde as decisões são tomadas e qualquer atualização errônea pode fazer com que os funcionários atuem de forma errada.

Este artigo decidiu-se abordar o primeiro método porque o segundo já está proposto, ver Shih & Filho (2009). O software escolhido para simular os modelos construídos em Redes de Petri colorida é CPNTools.

A partir da análise dos critérios, verifica-se que estes basicamente se resumem nos deslocamentos dos funcionários às máquinas, conforme ilustrados nas Figuras 3 a 7.

As funções dos funcionários são: transporte de matéria-prima até as máquinas, transporte com ou sem peça semi-acabada entre máquinas, transporte vazio da área externa (L2) à máquina, carregado entre máquinas e cheio até L2. Independentemente de qual critério adotar do Anexo I, apenas os valores fornecidos pelo modelo de simulação se alteram, mas o procedimento para a obtenção de listas é o mesmo. Dessa forma, é possível fazer uso de códigos de programação para converter as informações obtidas do modelo em listas.

Antes de comentar como se realiza a geração de listas, é necessário descrever como o modelo de simulação faz a leitura dos layouts. A Figura 8 ilustra um exemplo de como estão as máquinas numa empresa real. Já para o modelo de simulação, as máquinas estão todas na horizontal, e seria 455326165. A máquina 4 estaria na posição 1, a máquina 5 estaria na posição 2, ..., a máquina 3 estaria na posição 4, etc...

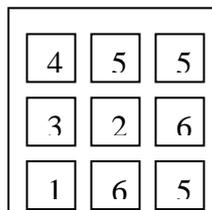


Figura 8. Exemplo de layout.

#### 6.1. PROCEDIMENTO PARA A GERAÇÃO DE LISTAS (TRANSPORTADORES INICIAL E INTERMEDIÁRIO NOS ESTADOS "CARREGADO")

Esta etapa gera lista antes do funcionário tipo 1 sair de L1. Nesta lista também devem constar algumas posições a serem alcançadas pelos funcionários tipo 3.

Para entender melhor o por quê do transportador (inicial ou intermediário) tem que estar no estado carregado, é necessário analisar como o modelo de simulação trabalha: Acontece o deslocamento até um certo local (máquina) e checa se ele (transportador) ainda está no estado "carregado" de matéria-prima/peça semi-acabada antes de fazer o descarregamento. Assim o modelo imprime em txt todas as posições e só deixa de imprimir a posição x e y de L1, porque chegando em L1, o modelo verifica que não existe mais carregamento e então simplesmente não imprime x e y. De fato, a Tabela 2 não mostra o retorno de funcionário tipo 1 ao L1.

Portanto, o modelo deve imprimir em txt os locais de destino (ainda carregado) para todos os transportadores inicial e intermediário, os tipos de peças que serão fabricadas e

outras informações que julgarem necessárias. Pode-se notar que estas posições, na realidade, são registros históricos de todas as posições alcançadas pelos funcionários ao longo da simulação. É necessário converter estas informações para x e y (já que a leitura é feita na horizontal) e dessa forma para conhecer o tipo de deslocamento a ser realizado, pelo fluxograma apresentado na Figura 9.

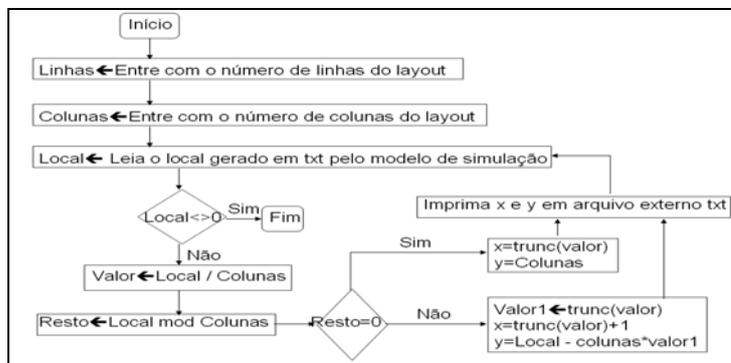


Figura 9. Converte os dados das posições em x e y.

A lista convertida é similar à Tabela 3, onde a coluna “transportador” representa o número de transportadores que saíram de L1. Nesta Tabela está apresentada um exemplo em que foram usados apenas dois transportadores, mas podem existir muitos outros. Note que as informações entre os transportadores se intercalam entre si, isso porque durante o descarregamento das peças do primeiro transportador, o segundo transportador também partiu e está na etapa de descarregamento.

Tabela 3. Exemplo de como os locais são convertidos em x e y.

Transportador	Cód. Peça	X	Y
1	1	5	9
1	87	7	2
1	28	3	1
1	32	8	2
1	38	4	3
1	9	5	2
1	8	4	1
1	6	2	1
2	92	3	4
1	28	1	5
2	78	8	7
1	38	7	6
1	6	6	7
2	78	6	4

Transportador	Cód. Peça	X	Y
1	38	8	4
1	9	4	6
2	70	6	7
2	78	1	9
1	9	7	2
1	38	5	4
2	72	4	8
1	38	1	9
2	78	8	2
2	72	6	4
1	6	1	7
1	6	6	7
2	78	4	8
1	6	7	2
1	38	4	7

O passo seguinte é ordenar por transportador (número de transportadores usados que saem do L1). Esta etapa é necessária porque um funcionário é responsável pelo seu transportador e é como a Tabela 2 trabalha. A ordenação pode ser feita com auxílio do Microsoft Excel, fazendo selecionar coluna “transportador”, opção “dados”, “classificar” e “crescente”, como mostrado na Tabela 4. Pode-se notar que a mesma peça surge várias vezes em locais diferentes. Isso significa que a mesma peça sofreu várias operações em locais diferentes.

Tabela 4. Exemplo de como deve ser a ordenação por transportador.

Transportador	Cód. Peça	X	Y
1	1	5	9
1	87	7	2
1	28	3	1
1	32	8	2
1	38	4	3
1	9	5	2
1	8	4	1
1	6	2	1
1	28	1	5
1	38	7	6
1	6	6	7
1	38	8	4
1	9	4	6
1	9	7	2

Transportador	Cód. Peça	X	Y
1	38	5	4
1	38	1	9
1	6	1	7
1	6	6	7
1	6	7	2
1	38	4	7
2	92	3	4
2	78	8	7
2	78	6	4
2	70	6	7
2	78	1	9
2	72	4	8
2	78	8	2
2	72	6	4
2	78	4	8

O passo seguinte é manter a ordem do transportador e ordenar por peça conforme estabelecido no pedido, ver Tabela 5 (o transportador está implicitamente vinculado às peças). É importante manter este vínculo porque se houver um tipo de peça sendo transportado por dois transportadores em momentos distintos, o cálculo da expressão (2) exposto mais adiante gera lista errada ao funcionário.

Tabela 5. Ordenação por tipo de peça e por transportador.

Cód. Peça	Tamanho lote	X	Y
1	1	5	9
87	1	7	2
87	1	3	5
28	3	3	1
28	3	7	3
28	3	4	2
32	1	8	2
32	1	8	4
38	2	4	3
38	2	4	6
38	2	5	4

Cód. Peça	Tamanho lote	X	Y
38	2	1	9
38	2	1	7
38	2	6	7
38	2	7	2
38	2	4	7
9	1	5	2
9	1	3	7
9	1	8	4
9	1	7	2

A interpretação desta Tabela 5 é o seguinte: O funcionário tipo 1 faz a entrega da peça código 1 no local x=5; y=9. Como ainda deve continuar a fazer entrega, ele chega na posição x=7; y=2 para a entrega da peça de código 87. A próxima entrega é a peça 28 na posição x=3; y=1 e assim por diante. Note que a Tabela 5 mostra também outras coordenadas relacionadas à mesma peça, e é o que justamente o funcionário tipo 3 precisa. Ou seja, a mesma peça é transportada por diversos funcionários (no caso, são funcionários tipos 1 e 3). Para melhor entender, considere ainda o exemplo da peça 87. A primeira operação ocorre na máquina localizada na posição x=7 e y=2. Ao processar, o funcionário tipo 2 deixa a peça semi-acabada nas caixas e esperam por um transportador intermediário empurrado pelo funcionário tipo 3. Ao chegar nesta máquina onde ocorreu o processamento, ele deve atingir uma máquina localizada na posição x=3 e y=5. Lembre-se

que as coordenadas das primeiras operações sempre referem-se ao funcionário tipo 1 e as demais, ao tipo 3.

Com os dados ajustados conforme a Tabela 5, é possível finalmente gerar listas de roteiro aos funcionários.

As expressões adotadas neste trabalho para direcionar o funcionário estão apresentadas em (2):

$$\begin{aligned} \text{Deslocar frente(+)/trás(-)} &= X_{\text{origem}} - X_{\text{destino}} \\ \text{Deslocar direita(+)/esquerda(-)} &= Y_{\text{destino}} - Y_{\text{origem}} \end{aligned} \quad (2)$$

Considere o exemplo da Figura 10. O funcionário deve partir da máquina 4.1 (máquina 4 de réplica 1 localizada na segunda linha  $x=2$  e na primeira coluna  $y=1$ ) e ir até máquina 3.1 (máquina 3 de réplica 1 em  $x=3$  e  $y=4$ ).

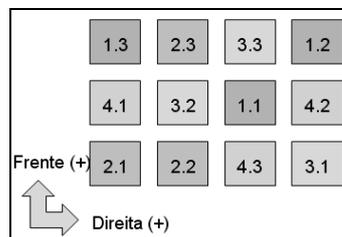


Figura 10. Orientação do chão de fábrica.

De acordo com a expressão, fica:

$$\begin{aligned} 2-3 &= -1 \text{ (1 para trás)} \\ 4-1 &= 3 \text{ (3 para direita)} \end{aligned}$$

Significa que o funcionário encarregado de transportar a matéria-prima deve se deslocar 1 máquina para trás (por ser negativo) e três máquinas para a direita (por ser positivo) da posição onde se encontra. Tais expressões foram usadas para evitar fornecer informações de X e de Y diretamente aos funcionários visto que na prática poderiam existir muitas máquinas espalhadas, e como é freqüente o funcionário estar entre as máquinas durante o carregamento/descarregamento, é impossível conhecer que posição x e y onde ele se encontra. É muito mais prático contar como se deslocar da posição onde se encontra.

Uma proposta para a geração das listas está como ilustrada na Figura 11 (resultado da implementação em linguagem de programação). A leitura da Figura 11 se inicia da esquerda para a direita. É claro que a lista é só um exemplo, pois na verdade seriam várias listas por transportador que o código deve gerar antes do funcionário 1 sair de L1. Esta Figura apresenta apenas uma parte dos dados manipulados do modelo de simulação (Tabela 6). A interpretação é da seguinte forma: Quando a matéria-prima já está montada no transportador, o funcionário tem em mãos um conjunto de listas, cada lista representa uma peça (e suas respectivas operações), e uma peça tem no máximo n operações (no exemplo, foi considerado que deve existir no máximo 9 operações). Por ser a primeira peça, peça 1, o funcionário deve ir para linha 5 e coluna 9 (conforme mostrado na Figura 11). Ao deixar a matéria-prima na máquina, ele deixa também a lista gerada com as etapas de produção referente à peça de código 1 naquela máquina. Nesta lista também contém o tipo de deslocamento que o funcionário tipo 3 no estado "carregado" deve realizar para a entrega de peça semi-acabada. Depois ele (funcionário tipo 1) se desloca 2 máquinas para trás e 7 máquinas para a esquerda de onde estava, deixando a matéria-prima da peça 87 (deixando também a lista da peça 87 e suas respectivas operações) e assim sucessivamente. Toda vez que se inicia o transportador, usar "ir para" no código de programação (gerador de lista).

O restante é “deslocar”. Ambos os termos são usados para distinguir movimentações para o layout e entre máquinas.

O funcionário encarregado pela produção simplesmente faz a leitura destas listas deixadas pelo funcionário tipo 1 sobre o tipo de máquina e o ferramental a ser usado (em decimais) e assim que encerrar o processamento da peça, risca a operação referente da lista para evitar confusão em leituras futuras. Quando o valor decimal é 0.8, por exemplo, significa que o ferramental usado é do tipo 8. Apenas usou-se decimal para distinguir das máquinas, porém nada impede de usar número inteiro ou alguma letra. Caso não tenha mais operações consecutivas, como é o caso da peça 1, a lista simplesmente fornece valor nulo de máquina e ferramental.

Tabela 6. Uma parte da Tabela 5.

Cód. Peça	Tamanho lote	X	Y
1	1	5	9
87	1	7	2
87	1	3	5

Deslocar 2 para trás e 7 para esquerda

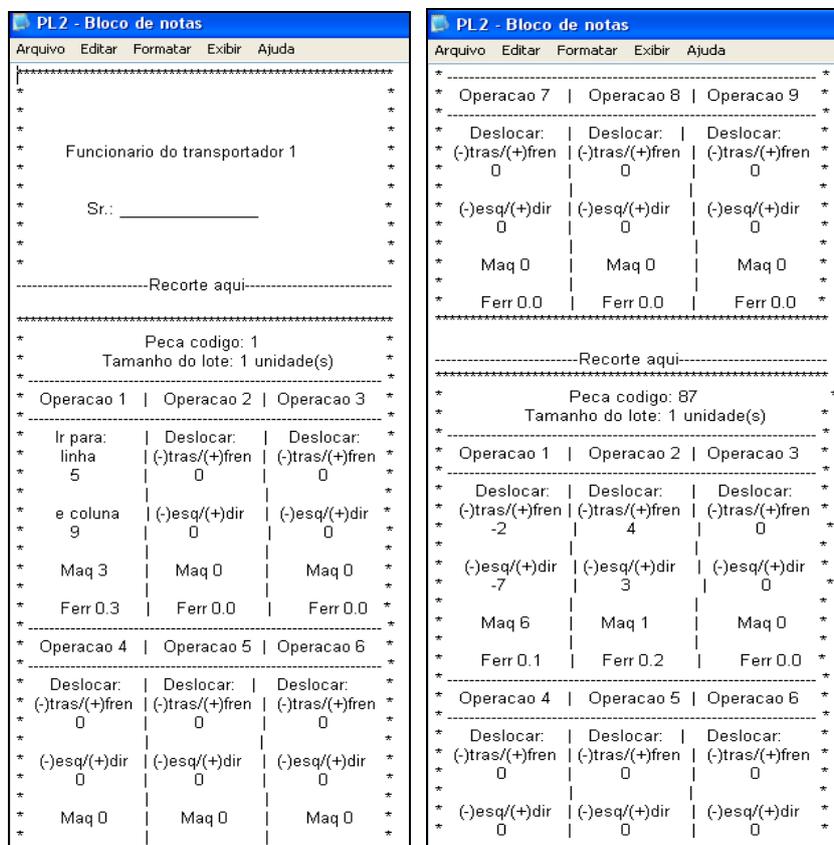


Figura 11. Exemplo de lista gerada ao funcionário tipo 1.

## 6.2. PROCEDIMENTO PARA A GERAÇÃO DE LISTAS (TRANSPORTADOR QUE ENTREGA PEÇAS SEMI-ACABADAS NAS MÁQUINAS NO ESTADO “DESCARREGADO”)

Antes de ilustrar o procedimento para a geração de listas, é necessário primeiramente informar ao modelo de simulação onde os transportadores estão localizados, que também podem ser gerados pela linguagem de programação. A Figura 12 mostra um exemplo em que existem três transportadores estacionados em três locais diferentes. Portanto, a posição de um dos transportadores (denominado 1) é x=1 e y=1; o outro é x=2 e y=3; e por fim é x=3 e y=2.

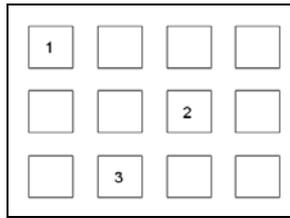


Figura 12. Posição inicial dos três transportadores intermediários.

Apesar da facilidade em gerar todas as coordenadas pelo código, nem todas as posições precisam ser impressas em txt pelo modelo de simulação. Existem duas possibilidades: A primeira é quando coincidir do transportador estar na máquina que o requisita. Neste caso, como não existe deslocamento até a máquina, simplesmente a coordenada é desprezada. E a outra é quando o transportador precisa se deslocar até ela. Só neste último caso é que existe necessidade de solicitar ao modelo imprimir em txt as posições em que o transportador está na condição de descarregado (de origem e destino).

A Tabela 7 mostra as informações individuais do transportador intermediário (carregado e descarregado), já convertidas em x e y, no caso se refere ao transportador intermediário denominado 1. Na realidade, como são vários transportadores, as informações deles estão misturados e o que já foi feito é usar Microsoft Excel para filtrar as informações por transportador. Assim a lista obtida é individual para cada transportador. No exemplo da Tabela 7, o transportador intermediário se encontra inicialmente na posição x=1 e y=1. Uma máquina da posição x=3 e y=2 está solicitando este transportador e portanto este é a posição de destino ainda descarregado. Ao chegar neste local, o modelo tem conhecimento de qual etapa de processamento a peça está e informa que a operação seguinte deve ser efetuada na máquina localizada na posição x=6 e y=9. Ao chegar neste local, faz-se o descarregamento da caixa na máquina e logo em seguida deve-se solicitar que o modelo imprima a posição de descarregado, que é o próprio x=6 e y=9 e assim por diante. Tem que ser na condição de descarregado, senão o modelo não imprime as posições iniciais dos transportadores intermediários.

Tabela 7. Posições de descarregado.

Transportador	x	y
1	1	1
1	3	2
1	6	9
1	1	15

Indicam posições de origem do transportador denominado 1 descarregado em instantes

Indicam posições de destino do transportador denominado 1 descarregado em instantes

Portanto, o deslocamento realizado pelo transportador intermediário denominado 1 no estado descarregado é sempre em pares:

Tabela 8. Cálculo do deslocamento a ser realizado da Tabela 7.

Transportador	x	y
1	1	1
1	3	2
1	6	9
1	1	15

1-3=-2 (2 para trás) / 2-1=1 (1 para direita)

6-1=5 (5 para frente) / 15-9=6 (6 para direita)

O cálculo do deslocamento entre x=3; y=2 e x=6;y=9 não deve ser feito aqui porque é quando o transportador intermediário está carregado, e se está cheio, o deslocamento a ser realizado já está ilustrado na Figura 11. Lembre-se que a Tabela 7 mostra todas as

posições do transportador intermediário nos estados carregado e descarregado, e esta seção só precisa de um procedimento para coletar as informações deste no estado descarregado, portanto algumas informações precisam ser “filtradas”.

Com auxílio de uma linguagem de programação, fazer o cálculo da diferença usando a expressão (2) e assim, tem-se no final uma lista similar a Figura 13. Esta lista será entregue ao funcionário responsável pelo transporte de peças semi-acabadas. A interpretação é da seguinte forma: Quando está descarregado, retira esta lista do bolso e ao ser informado sobre o tipo de deslocamento a realizar riscar imediatamente o deslocamento realizado. Assim que chega na máquina que o requisitou, guarda esta lista e faz o carregamento da caixa em fila desta máquina. Nesta caixa, tem a lista similar a que foi mostrada na Figura 11 e faz a leitura das operações seguintes e o deslocamento a ser realizado. Por exemplo, no caso da peça 87, a segunda operação informa que o funcionário tipo 3 deve se deslocar 4 para frente e 3 para a direita da posição atual onde se encontra. Ao descarregar a peça semi-acabada na máquina destino, retira novamente a lista da Figura 13 que foi guardada e assim por diante.

```

*****
Transportador 1
*****
Desloc.      *      Desloc.
(+)fren/(-)tras *  (+)dir / (-)esq
          -2      *      1
*****
-----Recorte aqui-----
*****
Transportador 1
*****
Desloc.      *      Desloc.
(+)fren/(-)tras *  (+)dir / (-)esq
          5      *      6
*****
-----Recorte aqui-----
    
```

Figura 13. Lista a ser acessada pelo funcionário intermediário no estado de descarregado.

### 6.3. PROCEDIMENTO PARA A GERAÇÃO DE LISTAS (TRANSPORTADOR QUE COLETA PEÇAS ACABADAS)

Para conduzir as peças até L2 (área de embalagem e expedição), o modelo deve checar se existe alguma peça que já encerrou a sua última operação. No momento que a capacidade do primeiro transportador é atingida, outro transportador já parte para realizar a coleta e assim sucessivamente. Como dito anteriormente, a escolha da máquina que tenha peças acabadas se baseia em critérios de seleção de recursos. A coleta das peças em fila é baseada em FIFO e o transportador coleta as peças acabadas em fila até completar a capacidade de carregamento (diferente do transportador intermediário, que só carrega uma caixa por vez).

Basicamente, o modelo deve imprimir em txt indicando cada posição sempre após chegar ao destino e na condição de após ter feito o carregamento. Para que isso aconteça, o modelo checa se existe capacidade disponível de carregamento e existência de peças acabadas em fila. Então o transportador se dirige até a fila e faz a coleta até atingir a sua capacidade. Caso contrário, o transportador simplesmente retorna ao L2. Se não for no estado após carregamento, o modelo irá imprimir também a posição do L2, o que não seria uma informação importante de se obter.

Pode acontecer que algumas peças acabadas em fila estejam restando após a coleta, mas para o funcionário tipo 4, não importa até que peça ele deve fazer a coleta. Simplesmente sob o ponto de vista operacional, o funcionário só precisa saber onde ele deve chegar e coletar até não couber mais no transportador e retorna ao L2. Este retorno não necessita de lista.

Inicialmente, ao partir de L2, é “ir para” e depois as posições “deslocar para” como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9. Posições convertidas em x e em y para o transportador final.

Transportador	x	y
1	6	9
1	2	5
1	1	3
1	7	3
2	8	3
2	3	6
2	2	9

Ir para

Deslocar 4 para frente e 4 para esquerda

Capacidade carga transportador 1 atingida, então chama transportador 2 que precisa ir para x=8 e y=3

O último tipo de lista também pode ser gerado pelo código, como mostrado na Figura 14 (sendo a Figura da direita continuação da esquerda). O “transportador 1” significa primeiro transportador usado saindo de L2 e assim por diante. Toda vez que o funcionário chegar à máquina e carregar a peça recém-fabricada no transportador, ele deve riscar a lista referente a última posição. A interpretação da Figura 14 é o seguinte: O funcionário tipo 4 deve se dirigir à máquina (qualquer tipo que seja, pois não importa a ele esta informação) localizada na linha 6 e coluna 9, fazendo a coleta de todas as peças em fila. Depois de ter feito a coleta (carregado), risca esta primeira lista e faz a leitura da posição a se deslocar, e conforme o modelo, deve se deslocar 4 máquinas para frente em relação à posição onde se encontra (x=6 e y=9) e 4 máquinas à esquerda, e assim sucessivamente. Independente se ele coletou todas as peças em fila desta última máquina, risca também esta lista e retorna ao L2. O procedimento se repete também para todos os funcionários tipo 4.

```

ROT_MAO_.TXT - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
*****
Transportador 1
*
* Ir para | Ir para
* linha | Coluna
* 6 | 9
*
*****
-----Recorte aqui-----
Transportador 1
*
* Deslocar | Deslocar
* (+)fren/(-)tras | (+)dir/(-)esq
* 4 | -4
*
*****
-----Recorte aqui-----
Transportador 1
*
* Deslocar | Deslocar
* (+)fren/(-)tras | (+)dir/(-)esq
* 1 | -2
*
*****
-----Recorte aqui-----
Transportador 1
*
* Deslocar | Deslocar
* (+)fren/(-)tras | (+)dir/(-)esq
* -6 | 0
*
*****
-----Recorte aqui-----
Transportador 2
*
* Ir para | Ir para
* linha | Coluna
* 8 | 3
*
*****
-----Recorte aqui-----
Transportador 2
*
* Deslocar | Deslocar
* (+)fren/(-)tras | (+)dir/(-)esq
* 5 | 3
*
*****
-----Recorte aqui-----
Transportador 2
*
* Deslocar | Deslocar
* (+)fren/(-)tras | (+)dir/(-)esq
* 1 | 3
*
*****
-----Recorte aqui-----
    
```

Figura 14. Exemplo de lista gerada pelo código ao funcionário tipo 4.

## 7. CONCLUSÃO

Lahmar & Benjaafar (2005) e Askin et al. (1999) comparam os desempenhos entre os layouts job-shops considerando apenas a distância percorrida entre as máquinas para peças com seqüência rígida de processamento. Já Júnior & Filho (2007) fazem comparações, também trabalha com distância percorrida entre as máquinas considerando a questão da seqüência de produção ser flexível. Este artigo apresenta os resultados da comparação entre os layouts dos tipos job-shops considerando os critérios de seleção de

recursos, peças com flexibilidade de processamento (sem levar em consideração a seqüência rígida de processamento) e o parâmetro medido é tempo de consolidação do pedido.

A literatura referente aos layouts distribuídos ainda não apresenta como se deve informar aos funcionários de como realizar o percurso na fábrica. Um procedimento para a elaboração de listas de roteiro aos funcionários é apresentado neste trabalho. Agora é possível informar aos funcionários sobre qual máquina atingir para que os critérios de seleção previamente definidos sejam aplicados durante o funcionamento da empresa, já que apenas o modelo de simulação conhecia as rotas dos funcionários.

Pode-se concluir, a partir dos resultados, que geralmente o desempenho do maximamente distribuído é melhor. Mas dependendo do critério adotado, nem sempre a desagregação total é desejada, porque um layout de desagregação parcial pode ter desempenho tão bom quanto o total. Além disso, Benjaafar & Sheikhzadeh (2000) e Lahmar & Benjaafar (2002) haviam previsto que, quanto mais espalhadas estão as máquinas, menor é a chance de compartilhamento de recursos e, portanto, mais alto é o custo operacional. Portanto, a desagregação total nem sempre é desejável.

O ganho em desempenho não está apenas relacionado ao espalhamento das máquinas, mas também a questão operacional é muito importante porque traz grandes benefícios sem ter que alterar as posições das máquinas.

## 8. REFERÊNCIAS

ASKIN, R. G.; CIARELLO, F. W.; LUNDGREN, N. H. An empirical evaluation of holonic and fractal layouts. **International Journal of Production Research**, v.37, n.5, p.961-978, 1999.

BENJAAFAR, S. Design of manufacturing plant layouts with queueing effects. In: PROCEEDINGS OF THE 1998, Belgium: IEEE, **International Conference on Robotics & Automation**, 1998.

BENJAAFAR, S.; SHEIKHZADEH, M. Design of flexible plant layouts. **IIE Transactions**, v.32, p.309-322, 2000.

FILHO, E. V. G.; JÚNIOR, J. H. C. G. Uma solução computacional para geração automática de peças com flexibilidade de processo para simulação. **Revista Gepros**, v.1, n.3, p.37-50, 2006.

GUPTA, J. N. D. Part dispatching and machine loading in flexible manufacturing systems using central queues. **International Journal of Production Research**, v.37, n.6, p.1427-1435, 1999.

HAM, I.; HITOMI, K. e YOSHIDA, T. **Group technology: Applications to production management**. International Series in Management Science/Operations Research, The Pennsylvania State University, U.S.A, 1985.

JÚNIOR, J. H. C. G.; FILHO, E. V. G. Análise do desempenho dos arranjos físicos distribuídos operando sob roteamento de peças com flexibilidade de seqüenciamento. **Revista Gestão Industrial**, v.3, n.1, p.01-12, 2007.

KOCHHAR, J. S.; HERAGU, S. S. Facility layout design in a changing environment. **International Journal of Production Research**, v.37, n.11, p.2429-2446, 1999.

KUSIAK, A.; HERAGU, S. S. The facility layout problem. **European Journal of Operational Research**, v.29, p.229-251, 1987.

LAHMAR, M.; BENJAAFAR, S. Design of dynamic distributed layouts. In: **PROCEEDINGS of the 11<sup>th</sup> Annual Industrial Engineering Research Conference (IERC)**, March 19-21, Orlando, Florida, 2002.

\_\_\_\_\_. Design of distributed layouts. **IIE Transactions**, v.37, p.303-318, 2005.

MONTREUIL, B.; VENKATADRI, U.; LEFRANÇOIS, P. Holographic layout of manufacturing systems. In: **PROCEEDINGS OF 19<sup>th</sup> IIE Systems Integration Conference**, 1991, Orlando, Flórida.

SAWIK, T. Dispatching scheduling of machines and vehicles in a flexible manufacturing system. In: **PROCEEDINGS OF EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION**, 1995. v. 2, p. 3-13, 1995.

SHIH, Y. C.; FILHO, E. V. G. Proposta de desenvolvimento e implementação de um sistema de programação da produção para os layouts distribuídos: uma abordagem computacional. **Rio's Internatinal Journal on Sciences of Industrial and Systems Engineering and Management**, v. 3, n. 1, rm091-01, 2009.

SUBRAMANIAM, V.; LEE, G. K.; RAMESHI, T. et al. Machine selection rules in a dynamic job shop. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.16, p.902-908, 2000.

**ANEXO I - POSSÍVEIS COMBINAÇÕES DOS CRITÉRIOS ADOTADOS NESTE TRABALHO.**

Transportador Inicial			Transportador Intermediário			Transportador Final	
Tipos de critério			Tipos de critério			Tipos de critério	
MD	-	-	MD	-	-	MFMD	-
MD	-	-	MD	-	-	-	MDMF
MD	-	-	-	MP	-	MFMD	-
MD	-	-	-	MP	-	-	MDMF
MD	-	-	-	-	MF	MFMD	-
MD	-	-	-	-	MF	-	MDMF
-	MP	-	MD	-	-	MFMD	-
-	MP	-	MD	-	-	-	MDMF
-	MP	-	-	MP	-	MFMD	-
-	MP	-	-	MP	-	-	MDMF
-	MP	-	-	-	MF	MFMD	-
-	MP	-	-	-	MF	-	MDMF
-	-	MF	MD	-	-	MFMD	-
-	-	MF	MD	-	-	-	MDMF
-	-	MF	-	MP	-	MFMD	-
-	-	MF	-	MP	-	-	MDMF
-	-	MF	-	-	MF	MFMD	-
-	-	MF	-	-	MF	-	MDMF

**ANEXO II - TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO DOS PEDIDOS PARA CADA TIPO DE LAYOUT DAS POSSÍVEIS COMBINAÇÕES DOS CRITÉRIOS DO ANEXO I.**

Continuação do Anexo I			
Tempo de consolidação do pedido (em segundos)			
Funcional	Aleatoriamente distribuído	Parcialmente distribuído	Maximamente distribuído
78362	67270	68635	68947
78919	68198	69099	69997
77850	66416	68208	68281
75294	62158	66079	68283
76638	64397	67198	61561
76435	64059	67029	64508
84727	77878	73939	54507
80353	70589	70294	61281
83152	75253	72626	68764
83003	75005	72502	63893
76643	64405	67202	67959
82750	74583	72291	67038
85088	63973	74240	60080
76384	70460	66986	70265
79758	67332	69798	68541
80276	65580	70230	59410
78399	65441	68666	74789
77348	79722	67790	69137

## Job-shop layouts: A comparative of performances and proposal for designing a routing lists for employees

Chin Shih<sup>1</sup>, [sychin@sc.usp.br](mailto:sychin@sc.usp.br)

Hilano Carvalho<sup>1</sup>, [hilanocarvalho@yahoo.com.br](mailto:hilanocarvalho@yahoo.com.br)

Eduardo Filho<sup>2</sup>, [evila@sc.usp.br](mailto:evila@sc.usp.br)

Arthur Porto<sup>2</sup>, [ajvporto@sc.usp.br](mailto:ajvporto@sc.usp.br)

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo (USP), Doutorado em Engenharia Mecânica, São Carlos, SP, Brasil

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo (USP), Depto de Engenharia Mecânica, São Carlos, SP, Brasil

\*Received: December, 2008 / Accepted: January, 2009

### ABSTRACT

*The main goal of this research is to present a comparison of performances among job-shop layouts, by considering in the analysis resources selection criteria involved in parts production (production scheduling). Results are obtained from the simulation model Colored Petri Nets and compared among them. This paper presents also a procedure to elaborate routing lists for employees to be used in real company aiming to attend what have been previously established in research related to resources selection criteria.*

**Keywords:** Performance Analysis. Resources Selection. Job-Shop Layouts. Routing Lists.

---