

**APRIMORAMENTO DA PRODUTIVIDADE DE SISTEMAS DE  
MANUFATURA E APLICAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS NA  
SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE AGRUPAMENTOS CELULARES**

**IMPROVEMENT OF THE PRODUCTIVITY IN MANUFACTURE  
SYSTEMS AND APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN THE  
SOLUTION OF PROBLEMS OF CELLULAR GROUPINGS**

**Antônio Sérgio Coelho**

Professor Doutor em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção  
R. Dep. Antônio Edu Vieira, 1304, Apto 102 B.  
048 33317058 – [coelho@deps.ufsc.br](mailto:coelho@deps.ufsc.br)

**Rogério Malta Branco**

Professor Doutorando em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção  
Rua Douglas Seabra Levier, 163, apto 402 bloco E  
048 84049515 – [rogerio.branco@gmail.com](mailto:rogerio.branco@gmail.com)

**Gislene Salim Rodrigues**

Professora Mestre em Engenharia de Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Coordenação de Automação de Processos Industriais  
Rua Douglas Seabra Levier, 163, apto 402 bloco E  
048 3238 1518 - [g\\_salim\\_r@hotmail.com](mailto:g_salim_r@hotmail.com)

## RESUMO

A necessidade de uma melhora constante na qualidade de bens e serviços imprime às indústrias de manufatura o aprimoramento nas suas habilidades de fabricação, dadas às exigências de um mercado cada vez mais competitivo. Com este intuito, utiliza-se a Tecnologia de Grupo, através da Análise de Fluxo de Produção (AFP). Resultantes destes procedimentos, famílias de peças serão identificadas e deverão ser processadas em determinadas máquinas. Este processo de organização combinatória é NP – árduo, classe de problemas sem solução em tempo polinomial. Entretanto, pode-se obter soluções eficientes para problemas de tamanho razoável com o uso de heurísticas. Este trabalho propõe a aplicação da Tecnologia de Grupo, pela AFP, a fim de obter *layouts* celulares. Para a formação de células de manufatura, utiliza-se os algoritmos genéticos na solução de problemas de agrupamento de máquinas/peças, considerando matrizes incidência binárias ou com tempos de processamentos definidos, bem como tamanhos de lotes de peças.

**Palavras-chave:** Tecnologia de grupo, Algoritmos genéticos, Manufatura celular.

## ABSTRACT

The necessity of a constant improvement in the quality of goods and services prints to the manufacture industries the improvement in its abilities of manufacture, given to the requirements of a market each more competitive time. With this intention, it is used Technology of Group, through the Production Flow Analysis (PFA).

Resultants of these procedures, families of parts will be identified and will have processed in determined machines. This organization process with combinatorial nature is a NP-hard problem without solution in polynomial time. However, efficiently solutions can be obtained for these problems of reasonable size with heuristic approaches. This work considers the application of Group Technology, by PFA, in order to get cellular layouts. To the formation of manufacture cells, genetic algorithms are used in the solution of machines-parts grouping problems, considering binary or process-time-defined incidence matrix, as well as sizes of lots of parts.

**Key-words:** Group technology, Genetic algorithms, manufacturing cells.

## 1. INTRODUÇÃO

Diante da crescente competição internacional, fruto da globalização de mercado e conseqüentemente das exigências dos consumidores, os fabricantes têm buscado técnicas que otimizem a produção, garantindo qualidade, a menores custos, com alta flexibilidade e alta produtividade, bem como produção em pequenos lotes. Santos e Araújo (1999), consideram que cerca de 75% das peças produzidas nas indústrias metalúrgicas são em lotes menores que

50 peças, apontando uma tendência a lotes pequenos e diversificados, o que torna importante um planejamento de produção eficiente, haja visto que em alguns casos 95% do tempo gasto para produzir uma peça pode dar-se em movimentação pela fábrica e espera “ao pé da máquina”, formando filas longas em função de gargalos.

Neste contexto, a Tecnologia de Grupo (TG) desponta como princípio científico na melhora da produtividade de sistemas de manufatura em lotes, onde diferentes tipos de produtos com volumes pequenos, são produzidos em lotes pequenos (WON e LEE, 2001).

Ribeiro & Miguelati (2002) consideram que fabricar famílias de peças em células ou ilhas, resulta em uma maior automatização, com redução do tempo de preparação das máquinas, padronização das ferramentas em uso e redução dos ciclos de fabricação.

Assim, com o *layout* de manufatura celular resultante da aplicação da TG em processos produtivos, obtém-se as tabelas de incidência máquina/peça, sejam binárias ou que considerem o tempo de processamento máquina/peça, bem como o tamanho dos lotes de peças. Tais tabelas, ou matrizes, necessitam de organização otimizada, relacionando máquinas e células. Os algoritmos baseados em heurísticas apresentam-se como formas eficientes na busca destas soluções de agrupamento, uma vez que tais agrupamentos são de natureza combinatória de tempo não-polinomial para processamento, ou seja, são NP-arduos.

Com a aplicação deste algoritmo baseado em técnicas evolutivas, promove a busca de soluções eficientes e/ou eficazes para o problema do agrupamento de máquinas/peças em células, na elaboração do *layout* celular, considerando-se como entradas as matrizes máquinas/peças. Em se tratando de meta-heurísticas, a aplicação dos AGs permite a obtenção de soluções quase-ótimas para os arranjos máquinas/peças agrupadas em células, com base nos índices de eficiência e eficácia do agrupamento propostos por Zolfaghari e Liang (2002).

## **2. TECNOLOGIA DE GRUPO E O PROBLEMA DA FORMAÇÃO CELULAR**

A Tecnologia de Grupo (TG), conceituada por Mitrofanov no trabalho “*Scientific Principle of Group Technology*” consiste em agrupar peças com similaridade geométrica em famílias, fabricadas em uma única máquina. Burbidge (1971a, p.390) a popularizou como “uma abordagem da produção em lotes, baseada no uso do *layout* em grupo”.

Segundo Gallagher e Knight (1986), a TG é um princípio de manufatura que identifica e designa peças e processos semelhantes ou relacionados, tirando vantagens destas similaridades durante todos os estágios de projeto e manufatura. A definição dos atributos

constitui, portanto, a base da aplicação da TG. Santos e Araújo (1999) relacionam os atributos à forma geométrica, função das peças e planos de processos para as mesmas.

Lorini (1993) considera que a célula de manufatura, que processa famílias de peças em mais de uma máquina, é a evolução do conceito de Mitrofanov.

As atuais necessidades de mercado primam por maior eficiência na manufatura, com linhas de produção mais flexíveis. Dimopoulos e Mort (2001) salientam neste contexto os Sistemas de Manufatura Flexíveis (SMF), aplicados no aprimoramento das requisições de flexibilidade em vários aspectos dos procedimentos de manufatura. Entretanto, o passo inicial para um SMF é a Manufatura Celular (MC), que consiste na aplicação da TG em um processo de manufatura, resultando num novo *layout*, agora celular.

No *layout* celular, as máquinas são organizadas em células, sendo que cada uma é capaz de processar as operações de manufatura de uma ou mais famílias de peças. Quando neste *layout*, seu processo de formação é denominado agrupamento máquina/peça.

Como forma de obter as células tecnológicas mencionadas, a TG imprime, pela Análise do Fluxo de Produção (AFP), a seqüência de alguns passos básicos. A Figura 1 ilustra a técnica AFP e suas etapas sucessivas.

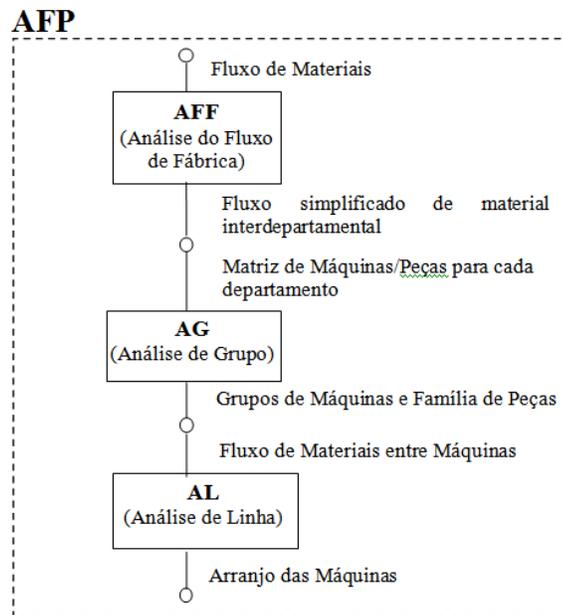


Figura 1: Etapas da Análise do Fluxo de Produção

**Fonte:** adaptado de Araujo (1998, p.38)

Segundo Burbidge (1971a), é na AFP que são classificadas todas as rotas de processos e produção de peças, descobrindo-se famílias de peças que já usam o mesmo grupo de máquinas ou que possam ser facilmente re-encaminhadas.

## **2.1 Análise de Fluxo de Produção**

Burbidge (1971b) considera a AFP como único método básico usado na produção de peças, onde o detalhamento de projeto não é importante e tendo aplicação em qualquer caminho da fábrica. É composto pelas análises: do fluxo de fábrica, de grupo e de linha.

Segundo Lorini (1993), a AFP analisa a seqüência de operação e o caminho que a peça percorre através das máquinas dentro da fábrica. As peças são agrupadas através das rotas comuns, onde o fluxo de cada componente é independente do tamanho ou formato.

Como pode ser observado na Figura 1, a AFP divide-se em algumas etapas, melhor descritas a seguir, conforme Burbidge (1971a e 1971b). Um exemplo mais detalhado de aplicação de cada uma das etapas a seguir pode ser observado no estudo de Rodrigues (2004).

### **2.1.1 Análise do Fluxo de Fábrica (AFF)**

Nesta etapa, objetiva-se melhor dividir a fábrica e encontrar o maior departamento de processamento, possibilitando oferecer um simples sistema de fluxo de material interdepartamental. O plano de processo completo é necessário para cada componente, revelando a necessidade de uma série de operações usadas para fazer cada peça em todos os departamentos. Para cada rota ou caminho, é dado o número de rota do processo (NRP), indicando os departamentos visitados. A dificuldade desta etapa está associada à migração de algumas peças de um grupo de departamento (de operações ou prestação de serviços), para outro. Venkumar e Noorul Haq (2006) consideram estes componentes envolvidos em movimentos entre células, como excepcionais.

### **2.1.2 Análise de Grupo (AG)**

Visando a melhor divisão dos componentes (peças) em famílias, e, das máquinas em grupos, promove-se a análise dos planos de processos feitos para os componentes de cada departamento.

Nesta fase, “utiliza-se uma matriz incidência de máquinas/peças para cada departamento, onde o sistema obtém as células tecnológicas, por unidade produtiva (departamentos)”, Araújo (1998, p.41). Após a migração para o sistema celular, as peças que são exceções, novamente serão identificadas e eliminadas.

Na Figura 2(a) tem-se exemplo de matriz máquina x peça binária, resultante do processo de análise de grupo. Observa-se na Figura 2(b) o resultado de um procedimento de organização celular, onde máquinas e famílias de peças são designadas a grupos ou células.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
P1	1	1			1			
P2			1			1	1	1
P3	1	1			1			
P4			1			1	1	1
P5	1	1		1	1			
P6		1	1	1				
P7			1	1		1	1	1
P8	1	1			1			

(a)

	M1	M2	M5	M3	M6	M7	M8	M4
P1	1	1	1					
P3	1	1	1					
P5	1	1	1					1*
P8	1	1	1					
P2				1	1	1	1	
P4				1	1	1	1	
P7				1	1	1	1	
P6		1*		1*				1

(b)

- void                      \* exceptional element

Figura 2: Exemplos de matrizes (a) de incidência binária e (b) agrupamento celular.

Fonte: Adil e Ghosh (2005, p. 1403-1404)

### 2.1.3 Análise de Linha (AL)

Nesta etapa, objetiva-se uma seqüência de layout para as máquinas com arranjo próximo ao em linha. Araújo (1998) prevê o estabelecimento de rotas de utilização das máquinas para cada célula(s) em cada departamento, na organização do layout de cada célula.

## 2.2 Técnicas de cluster

Para os agrupamentos, diversas técnicas podem ser utilizadas. Lorini (1993) menciona: programação matemática; técnicas baseadas em arranjos (*Ranked Order Clustering* e o *Bond Energy Analysis*); agrupamentos hierárquicos e técnicas heurísticas. Dimopoulos & Mort (2001) acrescentam métodos matriciais e aproximações utilizando grafos e heurísticas.

Os problemas de agrupamentos de máquinas baseados em matrizes incidência máquina-peça binárias são considerados NP-árduo, dada sua natureza combinatória. Ainda assim, como para o aumento das variáveis do problema como para o caso maior onde tem-se

matrizes com os tempos de processamento e tamanhos de lote, a complexidade computacional irá aumentar também de forma não polinomial (ZOLFAGHARI E LIANG, 2002).

No intuito de promover soluções ao problema, diversos métodos, heurísticas e não-heurísticas tem sido aplicados. Em casos de matrizes bem estruturadas, métodos como teoria de grafos, algoritmos genéticos, *simulated annealing* e busca tabu estão sendo aplicadas para dispor de soluções aproximadas (VENKUMAR E NOORUL HAQ, 2006).

### **2.3. Manufatura celular**

No tocante a criação de famílias de peças e células de máquinas, Chandrasekharan & Rajagopalan (1986) organizam uma matriz binária com peças nas colunas e máquinas nas linhas, orientados pelas folhas de processos, como visto na Figura 2.

Autores como King (1980), Kusiak (1987), Wei & Kern (1989), Lorini (1993), Adil, et alii (1996), Won & Lee (2001) e Adil e Ghosh (2005) utilizam matrizes binárias, onde seus elementos  $a_{ij}$  relacionam a peça  $i$  com a máquina  $j$ . Assumindo valor 1, há incidência e a peça será processada na máquina. Caso contrário, não há processamento.

Na etapa de formação celular, Lorini (1993) alerta para a importância no controle do tamanho dos agrupamentos devido a: limitação do espaço físico; tipo de sistema de movimentação; o tamanho dos lotes de fabricação e o número de operadores em cada célula. Ele acrescenta que a FC reduz os tempos improdutivos, 95% do tempo total necessário da produção em um sistema tradicional. Apenas 5% equivale ao tempo na máquina.

Segundo Rodrigues et alii (2003), com a TG promovendo a otimização dos processos produtivos e, a organização de layout celular sendo parte integrante desta filosofia, dispor de ferramentas rápidas e eficientes para a transição de *layouts*, certamente são bem aceitas pelos profissionais do setor. Isto é desejável, principalmente se os problemas de agrupamentos dispuserem matrizes máquinas/peças com tempos de processamento e lotes, aliado a quantidade de cada item.

## **3. INDICADORES DE PERFORMANCE NA FORMAÇÃO CELULAR**

A performance dos agrupamentos celulares pode ser observada pelo uso de índices de eficácia e eficiência, o que permite aprimorar o agrupamento, servindo como função-objetivo a ser maximizada, em termos de programação matemática.

De acordo com Dimopoulos e Mort (2001) e Zolfaghari e Liang (2002), muitos índices de performance tem sido estudados e propostos na literatura em questões que envolvem problemas de agrupamento de máquinas. Existem os seguintes índices citados comumente na literatura para medição de performance nos agrupamentos envolvendo matrizes binárias máquina-peça: eficiência de agrupamento,  $\eta$  (Chandrasekharan e Rajagopalan, 1986); eficácia de agrupamento,  $\Gamma$  (Kumar e Chandrasekharan, 1990).

Os índices ( $\eta$ ,  $\Gamma$ ,  $\eta_g$ ,  $\Gamma_g$ ) foram descritos, juntamente com a notação necessária, como segue, por Zolfaghari e Liang (2002), para aplicação com algoritmos genéticos:

#### Notação

$i$	índice de máquinas, $i=1, 2, \dots, M$ ;
$j$	índice de peças, $j = 1, 2, \dots, N$ ;
$r$	índice de células, $r = 1, 2, \dots, R$ ;
$k$	índice de cromossomos, $k = 1, 2, \dots, K$ ;
$t$	índice de iteração;
$e_d$	número de operações em células;
$e_o$	número de operações fora das células;
$t_d$	total de tempo de processamento em células;
$t_o$	total de tempo de processamento fora das células;
$t_j^{\text{máx}}$	total de tempo de processamento da peça tipo $j$ ;
$L_j$	tamanho do lote da peça tipo $j$ ;
$M_r$	número de máquinas na célula $r$ ;
$N_r$	número de peças na célula $r$ ;
$N^c$	Número de pontos de <i>crossover</i> no método AG;
$\Omega_r$	grupo de peças designado para a célula $r$ ;
$\eta$	eficiência de agrupamento;
$\eta_g$	eficiência de agrupamento generalizado;
$\Gamma$	eficácia de agrupamento;
$\Gamma_g$	eficácia de agrupamento generalizado;

Abaixo segue os índices de eficiência e eficácia a serem utilizados pelo algoritmo genético como função objetivo:

$$\text{Eficiência de agrupamento } \eta = q \cdot \eta_1 + (1 - q) \cdot \eta_2, \quad (1)$$

onde  $q$  é um fator de peso variando entre 0 e 1,  $\eta_1$  realiza a medição da densidade de 1's nos agrupamentos da diagonal da matriz binária e  $\eta_2$  mede a densidade de 0's fora dos agrupamentos da diagonal da referida matriz binária. São assim definidos:

$$q = \frac{\sum_{r=1}^R M_r \cdot N_r}{M \cdot N}, \quad (2)$$

$$\eta_1 = \frac{e_d}{\sum_{r=1}^R M_r \cdot N_r}, \quad (3)$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{e_o}{M \cdot N \cdot \sum_{r=1}^R M_r \cdot N_r}, \quad (4)$$

$$\text{Eficácia de agrupamento: } \Gamma = \frac{e_d}{e_o + \sum_{r=1}^R M_r \cdot N_r}, \quad (5)$$

No que diz respeito aos problemas de agrupamentos de máquinas que envolvem matrizes “timed”, ou também chamados problemas de agrupamento abrangentes, serão empregados os índices generalizados de eficiência e eficácia, sugeridos nos trabalhos de Zolfaghari e Liang (2002):

*Eficiência de agrupamento generalizado:*

$$\eta_g = q_g \cdot \eta_d + (1 - q_g) \cdot \eta_o, \quad (6)$$

onde  $q_g$  é um fator de peso variando entre 0 e 1,  $\eta_d$  realiza a medição da densidade de tempos de processamento nas células e  $\eta_o$  mede a escassez de tempos de processamento fora de células, sendo respectivamente apresentados a seguir:

$$q_g = \frac{\sum_{r=1}^R M_r \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \in \Omega_r}}^N L_j \cdot t_j^{\max}}{M \cdot \sum_{j=1}^N L_j \cdot t_j^{\max}}, \quad (7)$$

$$\eta_d = \frac{t_d}{\sum_{r=1}^R M_r \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \in \Omega_r}}^N L_j \cdot t_j^{\max}}, \quad (8)$$

$$\eta_o = 1 - \frac{t_o}{M \cdot \sum_{j=1}^N L_j \cdot t_j^{\max} - \sum_{r=1}^R M_r \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \in \Omega_r}}^N L_j \cdot t_j^{\max}}, \quad (9)$$

*Eficácia de agrupamento generalizado:*

$$\Gamma_g = \frac{t_d}{t_o + \sum_{r=1}^R M_r \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \in \Omega_r}}^N L_j \cdot t_j^{\max}}, \quad (10)$$

É importante mencionar que quando os tempos de processamento e tamanhos de lote forem iguais para todas as peças, as duas medições ( $\eta_g$  e  $\Gamma_g$ ) serão reduzidas para as medições binárias de eficiência de grupo e eficácia de grupo ( $\eta$  e  $\Gamma$ ), de tempo computacional menor.

#### 4. ALGORITMOS GENÉTICOS APLICADOS NA FORMAÇÃO CELULAR

Os algoritmos genéticos (AG) são algoritmos de busca baseados nos mecanismos da seleção natural e genética. Eles combinam sobrevivência do indivíduo entre outros indivíduos, com estruturas de cadeia criadas, inicialmente de forma aleatória.

Os primeiros trabalhos nesta linha são originários de Holland (1975), objetivando replicar os processos utilizados pelos sistemas auto-adaptativos em um contexto computacional. Na verdade, seus objetivos eram fundamentar uma teoria geral de sistemas e adaptação robusta, contudo encontrando uma excelente aplicação prática na determinação de máximos e mínimos de funções matemáticas.

Os AGs diferem dos diversos métodos heurísticos por apresentar um grupo de características distintas: operar em um conjunto de pontos (população) e não a partir de pontos isolados; operar em um espaço de soluções codificadas e não diretamente no espaço de busca; necessitam como informação, somente o valor de uma função objetivo (função de adaptabilidade, ou fitness); usam transições probabilísticas e não regras determinísticas (GOLDBARG E LUNA, 2000).

Em linhas gerais, uma população inicial é criada (o cromossomo de cada indivíduo é criado randomicamente) e o valor de adaptação (fitness) é calculado para cada indivíduo. Operadores genéticos são aplicados a indivíduos selecionados probabilisticamente, com base nos seus fitness, e uma nova geração de indivíduos é criada. Contudo, a evolução de novas

gerações também é conduzida pela inserção de pares de cromossomos na população corrente usando crossover e mutação. Apenas os cromossomos que apresentarem melhores fitness terão mais chances na seleção. Este procedimento irá se repetir até que o critério de finalização seja atingido. Um algoritmo elucidativo será proposto mais adiante.

Na aplicação ao problema de agrupamento de máquinas, quatro índices de medição de performances foram anteriormente apresentados por Zolfaghari e Liang (2002) e podem ser utilizados para o cálculo do fitness ( $\eta$ ,  $\Gamma$ ,  $\eta_g$ ,  $\Gamma_g$ ).

Os cromossomos denotam soluções factíveis para o problema, e seu comprimento será igual à quantidade de máquinas apresentada na matriz  $M \times N$ . Cada gene da string do cromossomo equivale a uma célula e cada locus denota uma máquina. Assim, ficam duas informações contidas em cada posição da string do indivíduo, como visto na Figura 3.

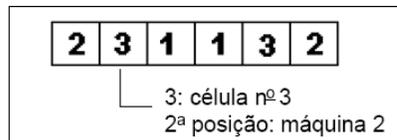


Figura 3: Exemplo de genótipo (cromossomo de indivíduo) ou solução codificada

**Fonte:** própria

Conforme mencionado, dois operadores serão aplicados no AG: *crossover* e *mutação*. O *crossover* determina o mecanismo de combinação de dois cromossomos existentes e cria dois filhos. Já a *mutação*, refere-se a mudanças randômicas nos genes, para escapar de máximos locais e garantir acesso a qualquer solução do espaço.

O algoritmo genético relativo ao problema do agrupamento de máquinas é descrito a seguir, conforme Zolfaghari e Liang (2002) e Goldberg (1989):

### **Passo 1: Inicialização**

Ler o tamanho da população,  $K$ , e taxa de mutação,  $pm$ .

Inicializar cromossomos pela geração de tantas soluções factíveis quanto o tamanho da população.

### **Passo 2: Cálculo do fitness**

Calcular os valores de fitness de cada indivíduo da população.

### **Passo 3: Seleção dos pais**

Selecionar randomicamente dois cromossomos da população, considerando a probabilidade de escolha associada ao fitness de cada um.

**Passo 4: Geração de descendência**

Empregando o operador crossover, gerar dois cromossomos a partir dos pais selecionados no passo 3.

**Passo 5: Fim da geração de descendência**

Repetir os passos 3 e 4 se o tamanho da geração de descendentes for  $< K$ ; caso contrário, ir para o passo 6.

**Passo 6: Mutação**

Para cada indivíduo da população, varrer os elementos de cada cromossomo, modificando-os randomicamente, com probabilidade  $pm$ .

**Passo 7: Cálculo do fitness**

Calcular o fitness para os cromossomos descendentes.

**Passo 8: Finalização**

Caso o critério de finalização tenha sido alcançado, parar; caso contrário, dirigir-se ao passo 3.

Zolfaghari e Liang (2002) investigaram os efeitos do tamanho da população, taxas de mutação e números de pontos de *crossovers* na qualidade das soluções. Observaram que grandes populações e pequenas taxas de mutação tendem a melhorar a performance dos AGs na solução de problemas de agrupamentos de máquinas abrangentes, em detrimento ao fato de que o número de pontos para *crossovers* não afetou significativamente tal qualidade. Como sugestão, os autores estimam para algumas variáveis do AG: tamanho da população ( $K$ ) = 5M; taxa de mutação ( $pm$ ) = 2%; número de *crossovers* ( $Nc$ ) = 1.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo principal de otimizar o sistema produtivo, parte-se por aplicar a TG, principalmente a AFP em processos fabris de interesse. Resultante em uma manufatura celular tem-se as vantagens da flexibilidade dos job-shops e a eficiência dos flow-shops, além da redução na complexidade no controle (VIN, DE LIT E DELCHAMBRE, 2005). Na AFP, após estudo de frequência de uso das máquinas, identificação de máquinas gargalo, estudo de rotas de processos para as peças e do teste de carregamento das máquinas, ter-se-á como

Revista Produção Online, Florianópolis, v.6, n.3,p.127, set./dez., 2006

resultado uma matriz de incidência máquinas/peças (binária) ou uma matriz abrangente de máquinas/peças, caso sejam considerados em relação à primeira, tempos de processamento das peças nas máquinas e tamanho de lotes.

Na análise destas matrizes, diversas técnicas vêm sendo empregadas, variando das formas algébricas, programação matemática, grafos e heurísticas. Para Santos e Araújo (1999), referindo-se a Kussiak, o tamanho do problema é resultado da quantidade de máquinas e peças presentes nestas matrizes, existindo uma escolha natural dos melhores algoritmos de TG para a solução e otimização da planta em termos de eficiência de agrupamentos, tempos de execução, etc.

O presente trabalho apresenta, portanto, uma estrutura para o aprimoramento dos sistemas de manufatura e também a solução de problemas de formação de células, baseando-se nos algoritmos genéticos. Dimopoulos e Mort (2001), em seus estudos, permitem que se obtenha resultados bastante animadores em termos de tempo de processamento e eficiência ou eficácia nos agrupamentos de porte pequeno e médio, como define Kusiak (1990).



Figura 3: Visualização das matrizes: (a) máquina/peça e lotes e (b) solução máquina/peça.

Fonte: própria

Na Figura 3 têm-se duas telas de um programa desenvolvido para aplicação computacional do AG apresentado, referindo-se a matriz de entrada e a solução encontrada, já com os respectivos agrupamentos celulares.

Assim, uma vez que a TG promove uma otimização dos processos produtivos, e que a organização de um *layout* celular é parte integrante desta filosofia de aprimoramento, dispor

de ferramentas rápidas e eficientes para garantir uma transição de *layouts* sem este tipo de concepção, certamente são bem aceitas pelos profissionais do setor, principalmente se os problemas de agrupamentos disporem de matrizes máquinas/peças com tempos de processamento e lotes, aliando-se ainda a quantidade de cada item.

É evidente que a organização celular não é o único passo da implantação de TG em um processo produtivo, assunto muito bem tratado por Santos e Araújo (1999), mas é peça fundamental para promover, além das reduções de custo nas operações de movimentação, ajuste ou espera, também o aprimoramento das habilidades dos operadores, a melhoria do controle de ferramentas, planejamentos simplificados, diminuição de tempos de fluxo e aumento nas relações humanas.

## REFERENCIAS

ADIL, G. K. & GHOSH, J. B. **Forming GT cells incrementally using GRASP.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 26, n. 11-12, Nov. 2005.

ARAÚJO, L. O. J. **Sistema de tecnologia de grupo: um estudo de caso utilizando análise do fluxo da produção.** 1998. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET/ MG, Belo Horizonte.

BURBIDGE, John L. **Production Planning.** London: William Heinemann, 1971a.

\_\_\_\_. Production Flow Analysis. **The Production Engineer**, p. 139 -152, april-may, 1971b.

CHANDRASEKHARAN, M. P. & RAJAGOPALAN, R. **An ideal seed non-hierarchical clustering algorithm for cellular manufacturing.** International Journal of Production Research, Vol.24, p.451-464, 1986.

DIMOPOULOS C. & MORT N. **A Hierarchical Methodology Base don Genetic Programming for the Solution of Simple Cell-formation Problems.** International Journal of Production Research, Vol.39, n.1, p.1-19, 2001

GALLACHER, C.C. & KNIGHT, W.A. **Group Technology Production Methods in Manufacturing.** John Willey & Sons. England, 1986

GOLDBARG, M. C. & LUNA, H.P.L. **Otimização Combinatória e Programação Linear.** Campus. Rio de Janeiro, 2000.

GOLDBERG, D. E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning.** U.S.A.: Addison-Wesley publishing company, inc, 1989.

HOLLAND, J. H., **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.

KUMAR, C. S. & CHANDRASEKHARAN, M. P. **Grouping efficacy: a quantitative criterion for goodness of block diagonal forms of binary matrices in group technology**. International Journal of Production Research, Vol.28, p.233-243, 1990.

KUSIAK, A. **Intelligent Manufacturing Systems**. Series in Industrial and Systems Engineering. Prentice Hall International. USA, 1990.

LORINI, Flávio J. **Tecnologia de grupo e organização da manufatura**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1993.

RIBEIRO, J.F.F. & MEGUELATI, S. **Organização de um sistema de produção em células de fabricação**. Gestão & Produção, v.9, n.1, p. 62-77, 2002.

RODRIGUES, G. S., BRANCO, R. M., ROSA, L. C. **Tecnologia de grupo: algoritmos genéticos na solução de problemas de agrupamentos celulares de máquinas e peças**. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2003. Ouro Preto, 2003. Anais[ CD-Rom]. Ouro Preto, ABEPRO, 2003.

RODRIGUES, G.S. **Tecnologia de grupo: uma proposta de arranjo celular para sistemas produtivos**. Santa Maria, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria.

SANTOS, N. R. & ARAÚJO, L. O. J. **Sistema de Tecnologia de Grupo: um estudo de caso através de análise do fluxo da produção**. Produção, Vol.9, n.1, p.65-82, 1999.

VENKUMAR, P. & NOORUL HAQ, A. **Fractional cell formation in group technology using modified ART1 neural networks**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 28, n. 7-8, p. 761-765, Abril, 2006

VIN, E. & DE LIT, P. & DECHAMBRE, A. **A multiple-objective grouping genetic algorithm for the cell formation problem with alternative routings.** Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 16, p.189–205, 2005.

WEI, J. C. & KERN, G. M. **Commonality analysis: a linear cell clustering algorithm for group technology.** International Journal Production Research, v.27, n.12, p.2053-2062, 1989.

WON, Y. & LEE K. **Group technology cell formation considering operation sequences and production volumes.** International Journal of Production Research, Vol.39, n.13, p.2755-2768, 2001.

ZOLFAGHARI S. & LIANG M. **Comparative Study of Simulated Anneling, Genetic Algorithms and Tabu Search for Solving Binary and Comprehensive Machine-grouping Problems.** International Journal of Production Research, Vol.40, n.9, p.2141-2158, 2002.