

5. RESULTADOS OBTIDOS

A implantação do algoritmo ROC por computador permite eliminar uma desvantagem de utilização, citada no quadro 1 do item 3 deste trabalho, que é a dificuldade de aplicar o algoritmo, quando o número de máquinas e peças da matriz em análise é elevado, em função do número necessário de repetições do procedimento que pode ocorrer nestes casos.

No entanto, permanece a dificuldade, neste caso, de cadastrar cada peça e cada máquina presente no sistema produtivo, e estabelecer as relações de passagem/não passagem das peças nas máquinas, antes de proceder à aplicação do algoritmo.

A necessidade de intervenção do analista na identificação dos grupos permanece como sendo a principal dificuldade à aplicação do algoritmo ROC. O programa desenvolvido e apresentado neste trabalho está sendo complementado com a possibilidade de utilização de rotinas e procedimentos para permitir a identificação dos agrupamentos através do próprio programa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURBIDGE, J.L., 1992, Change to Group Technology: Process Organization is Obsolete. . International Journal of Production Research, 30(5), 1209-1219.

CHENG, C.S. e CHEN, S.J., 1995, A Neural Network Based Cell Formation Algorithm in Cellular Manufacturing. International Journal of Production Research, 33(2) 293-318.

GUPTA, T. e SEIFODDINI, H., 1990, Production Data Based Similarity Coefficient for Machine-Component Grouping Decisions in the Design of a Cellular Manufacturing System. International Journal of Production Research, 28(7), 1247-1269.

KAPARTHIS, S. e SURESH, N.C., 1992, Machine Component Cell Formation in Group Technology: A Neural Network Approach. International Journal of Production Research, 30(6) 1353-1367.

KING e NAKORNCHAI, 1982, Machine-component group formation in group technology: review and extension. International Journal of Production Research, 3 117-133.

KUSIAK, 1991, Intelligent Manufacturing Systems, Englewood Cliffs.

VAKHARIA, A .J. e WEMMERLOV, U., 1995, A Comparative Investigation of Hierarchical Clustering Techniques and Dissimilarity Measures applied to the Cell Formation Problem. Journal of Operations Management 13 117-137.

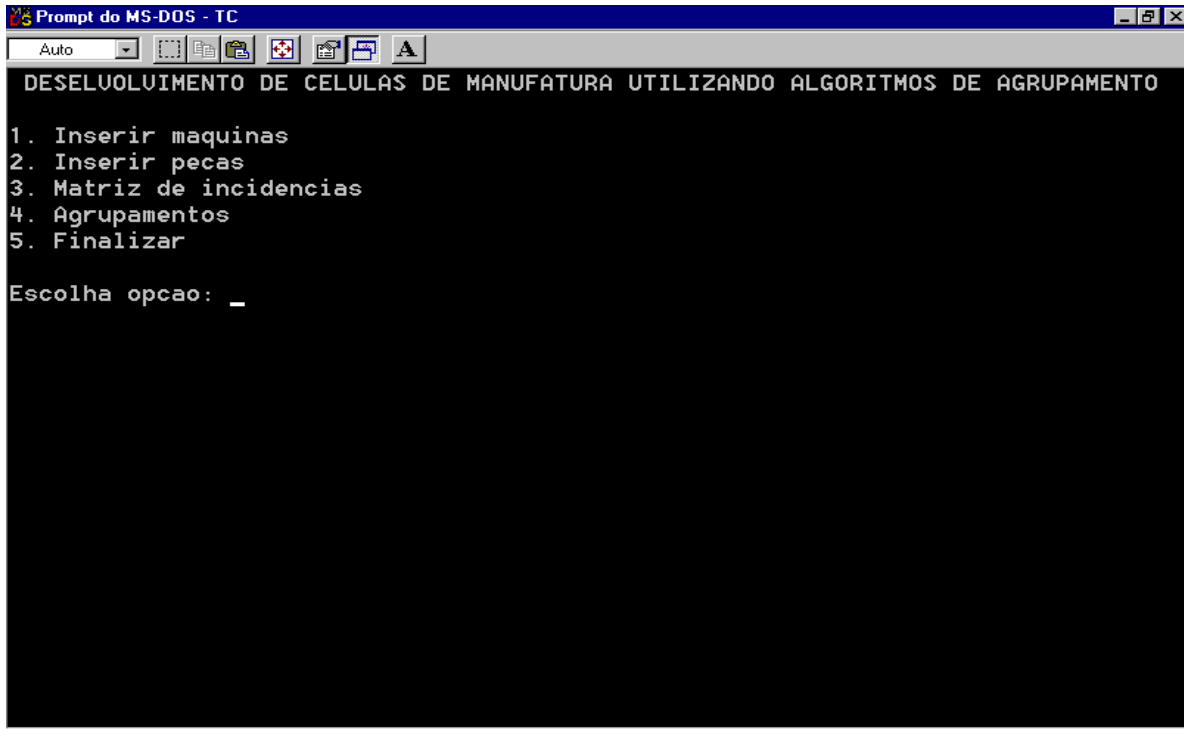


Figura 4 : Exemplo de Tela do Programa para aplicação do algoritmo ROC

		MÁQUINAS								
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
P E Ç A S	P1	1				1		1		1
	P2		1				1		1	
	P3			1	1			1		
	P4			1	1					
	P5					1				1
	P6		1				1		1	
	P7	1				1		1		1
	P8				1			1		
	P9	1	1				1		1	
	P10	1	1				1		1	
	P11						1		1	
	P12		1						1	

Figura 5(a): Matriz de Incidência antes da aplicação do algoritmo ROC

		MÁQUINAS									
		M4	M3	M7	M9	M5	M1	M6	M8	M2	
P E Ç A S	P3	1	1	1							
	P4	1	1								
	P8	1		1							
	P7			1	1	1	1				
	P1			1	1	1	1				
	P5				1	1					
	P9						1	1	1	1	
	P10						1	1	1	1	
	P6							1	1	1	
	P2							1	1	1	
	P11							1	1		
	P12								1	1	

Figura 5(a): Matriz de Incidência após aplicação do algoritmo ROC

- 3.) reescrever a MI de acordo com a ordenação definida no passo anterior, mantendo a ordem original/anterior das colunas;
- 4.) ordenar as colunas da MI obtida do passo anterior, em ordem decrescente de seus valores binários;
- 5.) reescrever a MI de acordo com a ordenação definida no passo anterior (mantendo a ordem anterior das linhas);
- 6.) verificar se as linhas de MI necessitam de novo ordenamento (ordem decrescente de valores binários) ; caso seja necessário, voltar ao passo 2) . Senão, ir para o próximo passo;
- 7.) fim do procedimento.

O quadro seguinte (quadro 1) mostra as principais vantagens e desvantagens da aplicação do algoritmo ROC.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Solução rápida para EBD perfeita	MI com grande volume de elementos necessita de apoio computacional
Fácil compreensão e aplicação rápida	Depende do analista para identificação dos agrupamentos
Fácil aplicação para número reduzido de elementos	Necessita de visualização da MI reordenada para identificar grupos
Facilidade de implementar por computador, segundo (SUNDARAM e LIAN, 1990)	Para MI com grande número de elementos, o número de repetições do procedimento pode tornar-se muito alto.

Quadro 1. : Vantagens e desvantagens do algoritmo ROC (adaptado de SEIFFODINI e WOLFE, 1992)

4. PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA APLICAÇÃO DO ALGORITMO ROC

O programa desenvolvido para aplicação do algoritmo ROC possui as seguintes características: a linguagem utilizada foi a C, mas será posteriormente usada a linguagem C++ Builder, para facilitar a visualização dos dados e a interface com os usuários.

A configuração mínima exigida para sua utilização é um computador PC, Pentium 100MHz, com 32Mb de memória RAM.

Não há limitações para as dimensões das matrizes de incidência a serem modeladas, ou seja, o número de máquinas e peças é ilimitado. Mas para efeito de visualização dos resultados, a identificação dos agrupamentos evidentemente fica prejudicada, quando o número de elementos ultrapassa as dimensões da tela do microcomputador.

A figura 4 apresenta uma das telas do programa, conforme estágio atual de desenvolvimento, apenas para efeito ilustrativo.

Para testar o funcionamento do programa, é apresentada um exemplo de sua aplicação, utilizando-se a matriz de incidência da figura 5(a), composta por 9 máquinas e 12 peças.

A figura 5(b) apresenta os resultados obtidos, a partir da aplicação do programa computacional desenvolvido para o algoritmo ROC.

Neste caso, foi obtida uma solução com grupos parcialmente separáveis, uma vez que foram identificados elementos de exceção (elementos “1” fora dos grupos gerados).

		PEÇAS						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
MÁQUINAS	M1	1	1	0	0	0	0	0
	M2	0	1	1	0	0	0	0
	M3	1	1	1	0	0	0	0
	M4	0	0	1	1	0	1	1
	M5	0	0	0	1	0	1	1
	M6	0	0	0	1	1	0	1

Situação (b) : Grupos Parcialmente Separáveis

Figura 2: Soluções possíveis para identificação de EBD (estrutura bloco diagonal)

Analisando-se a situação (b), percebe-se que a necessidade de executar uma operação da peça P3 na máquina M4 impede a separação dos grupos de modo único: a peça P3 pode ser considerada como pertencente tanto ao primeiro agrupamento quanto ao segundo. A mesma situação ocorre com a máquina M4, que pode estar alocada em qualquer dos dois grupos gerados. No exemplo analisado, tanto a peça P3 quanto a máquina M4 podem ser caracterizados como elementos de exceção.

2.4. Principais Algoritmos de Agrupamento

Existem muitas propostas de algoritmos baseados em formulação matricial que buscam a identificação de agrupamentos para formação de células.

Os algoritmos mais conhecidos e tradicionalmente usados, bem como suas lógicas de agrupamento, estão mostrados na tabela 1. seguinte.

Tabela 1. : Algoritmos básicos usados em formulação matricial

ALGORITMOS BÁSICOS USADOS EM FORMULAÇÃO MATRICIAL	
Algoritmo	Lógica de Agrupamento
ROC (Rank Order Clustering)	Valor binário
BEA (Bond Energy Algorithm)	Medida de Efetividade
CIA (Cluster Identification Algorithm)	Densidade de matriz
SLC (Single Linkage Algorithm)	Medida de Similaridade
DCA (Direct Clustering Analysis)	Número de elementos i

No item seguinte deste trabalho, será detalhado o funcionamento do algoritmo ROC (*Rank Order Clustering*), que foi implementado por computador, para facilitar a tarefa de identificação de agrupamentos.

3. MÉTODO ROC (*Rank Order Clustering*)

O algoritmo ROC pode ser entendido ou traduzido por “algoritmo por ordem de grandeza” e foi publicado em 1980, originalmente em (KING e NAKORNCHAI, 1982).

É um algoritmo baseado no arranjo de linhas e colunas da MI e que usa como lógica de agrupamento, o valor binário de linhas e colunas.

O procedimento de aplicação consiste dos seguintes passos:

- 1.) obter a MI correspondente à situação que se deseja analisar;
- 2.) ordenar as linhas da MI obtida em ordem decrescente, de seus valores binários;

Avaliando-se a MI no ítem (b), após o reordenamento de peças e máquinas, é possível identificar três agrupamentos: o primeiro composto pelas máquinas M3, M5 e M6 e pelas peças P3, P7 e P10; o segundo composto por M1 e M7, e pelas peças P5, P4, e P2; e o terceiro agrupamento com as máquinas M2 e M4, e as peças P1, P6, P9 e P8.

É importante salientar que os exemplos apresentados são didáticos. No caso da matriz analisada, tem-se 7 máquinas e 10 peças (70 elementos ao todo), que é um número muito pequeno de elementos para representar uma situação real. No entanto, neste trabalho serão utilizados exemplos de MI com número reduzido de elementos, em função de dois aspectos:

- a) facilitar a visualização dos métodos de análise de agrupamentos por formulação matricial, bem como de seus principais conceitos, potencial de utilização e problemas;
- b) todos os aspectos analisados para as MI com poucos elementos podem ser considerados para as situações reais, em que o número de elementos pode chegar a 10^5 ou 10^6 , em função do porte da empresa. Isto ocorre porque os algoritmos de agrupamento podem ser implementados por computador, como pode ser verificado pelo programa apresentado neste trabalho.

2.3. Processo de Identificação de Agrupamentos

O processo de identificação de agrupamentos é realizado através da aplicação dos chamados “algoritmos de agrupamento”. Os algoritmos procuram, através de procedimentos baseados em alguma “lógica de agrupamento”; predeterminada, reordenar as linhas e colunas da MI, de modo a agrupar os elementos “1” em estruturas chamadas “estruturas bloco diagonais” ou (EBD), que permitem identificar as peças e máquinas que compõem os grupos.

Existem duas possíveis soluções que podem ser obtidas:

- a) Estrutura bloco diagonal perfeita : ocorre quando todos os grupos gerados pelo reordenamento de elementos não apresentam intersecções entre si. Neste caso, refere-se aos grupos obtidos como “grupos mutuamente exclusivos”, e os elementos são facilmente identificados;
- b) Estrutura Bloco diagonal incompleta ou imperfeita : ocorre quando não é possível definir com exatidão, a composição de cada grupo, face às intersecções que ocorrem. Neste caso, refere-se aos resultados como “grupos parcialmente separáveis” e a tarefa de identificar os elementos de cada grupo fica prejudicada.

A figura 2. exemplifica as duas soluções possíveis através de MI, com grupos mutuamente exclusivos, na situação (a) e grupos parcialmente separáveis, na situação (b).

M		PEÇAS						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Á	M1	1	1	1	0	0	0	0
Q	M2	1	0	1	0	0	0	0
U	M3	0	1	1	0	0	0	0
I	M4	0	0	0	1	1	0	1
N	M5	0	0	0	1	1	1	0
A	M6	0	0	0	0	1	1	1

Situação (a) : Grupos Mutuamente Exclusivos

A matriz de incidência MI consiste, portanto, de um conjunto de elementos “0” e “1”, distribuídos por suas linhas e colunas, que obedecem ao processo de fabricação de cada peça no chão de fábrica.

Uma matriz genérica MI, composta por m máquinas e n peças, será definida por m x n elementos. Cada peça do sistema de manufatura é definida por uma das n colunas de MI, enquanto cada linha de MI corresponde a uma máquina m.

Assim, quando se observa cada linha de MI, verifica-se pelo número de elementos “1”, quais as peças que sofrem operação na máquina que corresponde a esta linha. Analogamente, para cada coluna da matriz, representada pelo número de elementos “1” presentes, tem-se as máquinas que são necessárias para o processamento completo da peça correspondente à esta coluna.

2.2. Objetivos da Formulação Matricial

Uma vez obtida a MI representativa para a situação do chão de fábrica que se pretende analisar, o passo seguinte deve ser a identificação dos agrupamentos.

Os agrupamentos são definidos pelos conjuntos de peças e máquinas representados pelo aglomerado de elementos “1” em regiões determinadas da matriz. Procurar agrupar os elementos “1” da MI, é portanto, a tarefa fundamental dos algoritmos de agrupamentos baseados em formulação matricial – e seu objetivo principal.

As matrizes MI da figura 1. são apresentadas em duas situações distintas, para ilustrar a função destes algoritmos: na situação (a) é mostrada a MI original, sem alteração de posição de linhas e colunas, conforme sua obtenção. A situação (b) mostra a matriz MI reordenada de forma a permitir a visualização dos grupos de elementos “1”, que originam as células, pois representam a identificação dos agrupamentos.

		PEÇAS									
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
M	M1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
Á	M2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Q	M3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
U	M4	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
I	M5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
N	M6	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
A	M7	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

Situação (a) : MI original, sem aplicação de algoritmo de agrupamento

		PEÇAS									
		P3	P7	P10	P5	P4	P2	P1	P6	P9	P8
M	M3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Á	M5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Q	M6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
U	M1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
I	M7	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
N	M2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
A	M4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Situação (b) : MI reordenada, após a aplicação de algoritmo de agrupamento

Figura 1.: Matriz de Incidência MI, na situação original e após reordenamento

Outros autores (KUSIAK,1991), (BURBIDGE, 1992), utilizando o mesmo critério de classificação, separam os métodos existentes em :

- i) Métodos de classificação e codificação, associados às características das peças/componentes;
- ii) Métodos baseados em “análise de agrupamentos” (cluster analysis), associadas às características de produção.

O conjunto de métodos de análise de agrupamentos baseados em formulação matricial constitui o maior grupo de propostas para identificação de peças e máquinas, visando configuração de células.

Os métodos baseados em formulação matricial são os mais utilizados por reunirem uma série de vantagens:

- a) as informações necessárias para sua utilização são simples e obtidas com facilidade: restringem-se ao fluxo de peças/componentes pelas máquinas do sistema de manufatura;
- b) com o desenvolvimento dos microcomputadores, o tempo de processamento dos algoritmos usados diminuiu para frações de segundos, e a capacidade de memória permite que se trabalhe com volume muito grande de dados, eliminando-se as restrições que existiam anteriormente para aplicação destes métodos.

Este trabalho apresenta uma proposta para implantação de um algoritmo de agrupamento baseado em formulação matricial, denominado *Rank Order Clustering* (ROC). Por isso, o próximo item enfocará os métodos baseados em formulação matricial.

2. MÉTODOS BASEADOS EM FORMULAÇÃO MATRICIAL

Pesquisas mais recentes em manufatura celular indicam que a maioria das empresas que utilizam arranjos celulares preferem aplicar técnicas mais simples e mais baratas para formar agrupamentos. Segundo (VAKHARIA e WEMMERLOV, 1995), por volta de um terço das empresas americanas utilizam algoritmos de agrupamentos, e a maioria concilia o uso destes algoritmos com análise de dados.

Esta informação justifica o fato de que os métodos baseados em formulação matricial para identificação de agrupamentos são os mais difundidos atualmente.

Além do custo relativamente baixo de implantação, em comparação aos demais, a velocidade de resposta é extremamente alta. Assim, estes métodos apresentam resultados a curto prazo e não necessitam de grandes investimentos. Para explicar o funcionamento destes métodos, é necessário antes que os princípios da formulação matricial sejam conhecidos. Os próximos itens deste trabalho apresentam estes princípios.

2.1. Composição da Matriz de Incidência (MI)

Todos os algoritmos de agrupamento baseiam-se em informações que são obtidas das matrizes de incidência (MI). A regra de formação das MI é bastante simples.

Seja a_{ij} um elemento da MI. Seu valor será definido pela relação:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{quando a peça (i) sofre operação na máquina (j);} \\ 0, & \text{se a peça (i) não sofre operação na máquina (j).} \end{cases}$$

UMA APLICAÇÃO DO ALGORITMO ROC (*RANK ORDER CLUSTERING*) EM MANUFATURA CELULAR

Rosangela Aparecida Leal (*)

Antonio Nelson Correia Filho (*)

Nelson Carvalho Maestrelli (*)

Antonio Batocchio ()**

Universidade Metodista de Piracicaba, Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Rodovia S.Bárbara-Iracemápolis, Km1, Santa Bárbara Doeste/SP, Brasil,

Email: nmaestre@unimep.br

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Fabricação, Campinas/SP, Brasil.

Email: batocchi@fem.unicamp.br

Resumo

Os sistemas celulares de produção tem sido aplicados com frequência crescente nas empresas que procuram adotar os princípios da “*World Class Manufacturing*”, como forma de manutenção de sua competitividade e ampliação de seus mercados de atuação. ”. Os programas de implantação de Tecnologia de Grupo e Manufatura Celular visam basicamente a redução dos tempos improdutivos associados aos processos de fabricação, através de melhorias de fluxo, redução de *setup* e de inventários em processo. A primeira fase do projeto de células de manufatura é a fase de identificação de agrupamentos, baseada em critérios de similaridade e formação de famílias de peças. Um dos métodos mais simples e rápidos para identificação de agrupamentos (peças e máquinas que formarão as células de manufatura) é a aplicação de algoritmos para “*cluster analysis*” que utilizam formulação matricial. Este trabalho apresenta os principais resultados obtidos aplicando-se o algoritmo ROC (*Rank Order Clustering*) , para obtenção de agrupamentos em manufatura celular, através de um programa computacional de auxílio.

Palavras-chave: Manufatura Celular, Tecnologia de Grupo, Análise de Agrupamentos.

1. INTRODUÇÃO

O passo inicial no projeto de células de manufatura consiste na identificação das famílias de peças e grupos de máquinas que definem os agrupamentos (GUPTA, 1990).

Estes agrupamentos são os conjuntos iniciais a partir dos quais os estudos de dimensionamento serão feitos, até o estágio de configuração das células.

Existe um número significativo de métodos para proceder à identificação destes agrupamentos . Estes métodos estão classificados em dois grandes grupos (CHENG e CHEN,1995),(KAPARTHI e SURESH, 1992):

- a) métodos baseados em características das peças/ componentes fabricados;
- b) métodos baseados em características da produção (fluxo de produção) e roteiros de fabricação.